

Gestión Ambiental

Para la Sostenibilidad

Estrategia de economía circular y vanguardia en educación ambiental



Autores

Luz Dary Yepes Lobo
Sergio Antonio Rodríguez Arrieta
Negly García
Sandra Milena Cuadros Ballesteros
Ana Rosa Avila R.
Mabel Esther Romero Barba
David Gutiérrez Berrío
Juan Eduardo Fierro Yepes
Diego Cortés
Daniela Angarita Piedraita
Efrain Carvajal
Nelson Quiroga

Yepes L. Luz Dary*, Rodríguez A. Sergio A*, Torres A. Kelly C., Porras A. Oscar O*, García Negly Y., Cuadros B. Sandra M., Ávila Ana R., Romero Mabel E., Gutiérrez David A., Fierro Y. Peña B. Jennifer A. Juan E., Cortes L. Diego V. Angarita P. Daniela. Carvajal C. Efrain Y. Quiroga P. Nelson*

Especialización en Gestión Ambiental. Escuela de Ingeniería Ambiental y de Saneamiento.

*Grupos de Investigación CIPAZ, *Grupos de Investigación en Ingeniería Ambiental GIAS Grupo de Investigación SerLab, Grupo de Investigación BioCon, Grupos de Investigación GIADAI*, Grupo de investigación GREIP*. Cita obra completa: Gestión para la Sostenibilidad. Libro de divulgación. Instituto Universitario de la Paz - UNIPAZ.

Autoridades Académicas

Presidente / PhD. Oscar Orlando Porras Atencia. Rector/
Biol. MBA. Kelly Cristina Torres Angulo. Vicerrectora /
Ing. Esp. Ana Milena Salazar Beleño. Directora Escuela de Ingeniería Agroindustrial /
Ing. Mg. Sergio Antonio Rodríguez Arrieta. Director Escuela de Ingeniería Ambiental y de Saneamiento /
Biol. MBA. Kelly Cristina Torres Angulo. Directora (e) Escuela Ingeniería de Producción /
PhD. Norberto Villa Duque. Director Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia /
Ing. Esp. Rafael Calderón Silva. Director Escuela Ingeniería Agronómica /
Mg. Samuel Mancera. Director Escuela Ciencias /
Lic. Mg. Rodolfo Ríos Beltrán. / Director Escuela Ciencias Sociales.

GESTIÓN AMBIENTAL PARA LA SOSTENIBILIDAD

Estrategia de economía circular y vanguardia en educación ambiental

ISBN Obra Independiente: 978-628-7858-25-1

Ibook

Sello Editorial: Instituto Universitario de la Paz - UNIPAZ (978-628-7858)

Editorial: Instituto Universitario de la Paz - UNIPAZ

Barrancabermeja, Colombia

Año: octubre 2026

La presente obra, correspondiente al segundo volumen de la colección y desarrollada entre los años 2025 y 2026, constituye un logro significativo para la Escuela de Ingeniería Ambiental y de Saneamiento del Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ). Su materialización es el resultado del esfuerzo conjunto de los estudiantes del segundo semestre de la Especialización en Gestión Ambiental, quienes, bajo la orientación del cuerpo docente, culminaron con éxito sus procesos de investigación a través de esta propuesta editorial.

En reconocimiento a su dedicación y rigor académico, se hace mención especial a los siguientes autores:

Yinneth Zarith Carreño Mora
Yessica Tatiana Amado Angulo
James Michel Cano Claro
Elida Alvarino García
Carlos Mario Pumarejo Lerma
Eduard Orozco Pérez.
Juan Sebastián Gallardo Niño
Johan Albeiro Peralta Pérez Filiación segundo Autor
Karen Johanna Machuca Dita
Adelmaris Núñez Vásquez

Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del copyright.



PRÓLOGO

La ciencia aplicada como catalizador del futuro tropical: Una mirada desde la sostenibilidad y el territorio

En el complejo entramado del siglo XXI, la gestión ambiental ha dejado de ser un campo de estudio periférico para convertirse en el eje gravitacional sobre el cual se debe articular cualquier proyección de desarrollo humano, económico y tecnológico. Como académico y ferviente defensor de la sostenibilidad, he sostenido de manera persistente que el verdadero valor de la investigación científica no reside en la acumulación pasiva de conocimiento dentro de los anaqueles universitarios, sino en su capacidad disruptiva para transformar entornos, optimizar recursos y sanar los ecosistemas que sostienen la vida.

Bajo esta premisa fundamental, es para mí un honor y un profundo motivo de celebración presentar esta magnífica compilación de investigaciones auspiciada por el Instituto Universitario de la Paz –UNIPAZ. Este volumen no es simplemente una colección de artículos; es un manifiesto de resistencia científica y un faro de innovación nacido en una región tan neurálgica, rica y a la vez desafiada como lo es el Magdalena Medio colombiano.

Lo que el lector tiene entre sus manos es un testimonio de cómo la academia puede y debe responder con rigor y pertinencia a las urgencias de su propio territorio. Los autores de esta obra han sabido decodificar las problemáticas locales bajo el lente global de la sustentabilidad y la economía circular, ofreciendo respuestas de una factura técnica impecable y una viabilidad práctica sorprendente.

El libro transita con maestría por diferentes dimensiones de la gestión ambiental contemporánea. En sus páginas se evidencia cómo la naturaleza, en sus dinámicas más complejas, nos ofrece tanto los desafíos como las respuestas. El análisis del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), tradicionalmente visto como un flagelo biológico para las cuencas hídricas, es aquí magistralmente reconceptualizado. Los investigadores nos demuestran que, mediante los procesos biotécnicos adecuados, una especie invasora puede transformarse en el eslabón inicial de una cadena de valor energética limpia, cerrando ciclos biológicos y disminuyendo la presión sobre los combustibles fósiles.

Esta visión de circularidad se traslada con igual destreza al sector agroindustrial y urbano. La optimización del beneficio animal en Barrancabermeja o la gestión de los aceites y grasas del sector gastronómico de la ciudad, expuestas en este texto, encarnan el verdadero espíritu de la ingeniería ambiental aplicada: mitigar el impacto en el origen, diseñar estrategias de producción más limpia y devolver al entorno recursos valorizados en forma de biofertilizantes o energía, reduciendo a su mínima expresión los pasivos ambientales que históricamente han asfixiado a nuestras comunidades.

Sin embargo, considero que uno de los mayores aciertos de esta obra es su mirada hacia el futuro digital y social de la sostenibilidad. La inclusión de metodologías de vanguardia como los gemelos digitales para el monitoreo y la pedagogía de coberturas forestales tropicales demuestra que UNIPAZ está modelando la educación ambiental del mañana. Al fusionar la alta tecnología de simulación virtual con la realidad de los relictos boscosos locales, se crea un puente sin precedentes para la toma de decisiones y la apropiación social del conocimiento. Una apropiación que, de manera lógica y coherente, el libro culmina aterrizando en las aulas escolares a través de la reconfiguración de los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE) bajo la filosofía de "Basura Cero". La sostenibilidad, nos recuerda esta obra, es técnica, pero sobre todo es cultura y educación.

Como candidata de Doctorado en Administración para la Sostenibilidad, encuentro en este documento una dosis refrescante de optimismo científico. Es la demostración empírica de que el trópicocolombiano posee el talento humano y la infraestructura intelectual para liderar la transición socioambiental que el planeta entero exige.

Felicito estas iniciativas, al señor Rector de la Institución Doctor Oscar Orlando Porras Atencia, administrativos, sus docentes, a los comités editoriales y, de manera especial, a cada uno de los investigadores que han plasmado su esfuerzo en estos capítulos. A los lectoressean estudiantes, colegas científicos, empresarios o tomadoresde decisiones públicas los invito a abordar estas páginas no solo con curiosidad intelectual, sino con un sentido de urgencia y aplicabilidad. Las soluciones para el desarrollo sostenible del Magdalena Medio y de las regiones tropicales ya han sido diseñadas; este libro es la prueba de ello. Ahora, el desafío colectivo es convertirlas en nuestra realidad cotidiana.

KELLY CRISTINA TORRES ANGULO
Doctorado(c) Administración para la Sostenibilidad

INTRODUCCIÓN

Hacia la transición socioambiental: ciencia, tecnología y modelos de sostenibilidad en el Magdalena Medio

En los albores de un siglo marcado por la urgencia del cambio climático, la degradación de los ecosistemas y la imperiosa necesidad de transformar nuestras matrices energéticas y productivas, la academia se enfrenta a su mayor desafío histórico: dejar de ser una espectadora de la crisis para convertirse en el motor de las soluciones tangibles. La búsqueda de la sostenibilidad ya no admite respuestas meramente teóricas; exige un despliegue riguroso de ciencia, tecnología e innovación que dialogue de forma directa con los territorios y sus realidades ecológicas.

Esta obra nace, precisamente, en el corazón de una de las regiones con mayor sensibilidad y dinamismo ambiental de Colombia: el Magdalena Medio. A través de una compilación de investigaciones de vanguardia desarrolladas bajo el sello del Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ), este libro congrega aportes esenciales que demuestran cómo la adopción de modelos de economía circular, la biotecnología aplicada y la vanguardia digital pueden redefinir nuestra relación con el entorno natural.

El recorrido temático de este volumen se estructura bajo un enfoque holístico e interdisciplinar, abordando problemáticas críticas mediante metodologías rigurosas y propuestas de alta viabilidad técnica. En primer lugar, la obra sumerge al lector en la frontera de la valorización energética de la biomasa vegetal. Frente al reto global que supone la proliferación de especies invasoras en ecosistemas hídricos, se analiza con precisión el potencial del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). Lo que tradicionalmente se ha catalogado como un grave perjuicio ecológico para las fuentes de agua colombianas, aquí se resignifica mediante procesos de digestión anaerobia y gasificación como una valiosa materia prima para la generación de biogás, biocombustibles y bioabonos.

A la par de este aprovechamiento biológico, el libro aborda con igual contundencia la optimización de los sistemas agroindustriales del sector cárnico. A través del diseño de propuestas ambientales aplicadas en el contexto local (como el caso de la empresa FRIGOMAG), se devela la viabilidad operativa de transformar subproductos y residuos del beneficio animal en vectores de energía limpia, proyectando rendimientos estables de metano y biofertilizantes que mitigan el impacto de lixiviados y olores ofensivos en el distrito de Barrancabermeja. Asimismo, la gestión de residuos urbanos encuentra un espacio de discusión crítica al analizar el manejo de grasas y aceites usados (GAO) en el sector gastronómico, proponiendo planes de gestión ambiental sustentados en la corresponsabilidad y la mitigación del deterioro hídrico urbano.

Sin embargo, los esfuerzos de la ingeniería y la biotecnología quedarían trancos sin las herramientas de vanguardia para su monitoreo y la educación de las nuevas generaciones. Por ello, este volumen también abre una ventana hacia la transformación digital de la ecología mediante el diseño e implementación de gemelos digitales. Estas réplicas virtuales inmersivas, aplicadas a relictos de vegetación secundaria y coberturas forestales de UNIPAZ, se exponen como potentes recursos pedagógicos y técnicos que democratizan el acceso al conocimiento ambiental y optimizan la toma de decisiones en los planes de restauración ecológica. Finalmente, la obra cierra su ciclo de sostenibilidad aterrizando en las aulas escolares a través del fortalecimiento de los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE) bajo el enfoque de "Basura Cero", consolidando así una cultura ecológica desde la base social e institucional.

Cada página de este libro es una invitación a explorar la intersección exacta entre el rigor científico y el compromiso social. No nos encontramos ante un compendio pasivo de datos, sino ante una hoja de ruta conceptual y empírica adaptada al contexto tropical que demuestra que el desarrollo sostenible es posible cuando la técnica se pone al servicio de la vida y el territorio.

La Especialización en Gestión Ambiental, como programa académico, tiene la misión de formar profesionales capaces de comprender esas complejidades y de intervenirlas con rigor, sensibilidad y visión estratégica. Las investigaciones de este libro son un reflejo de ese propósito formativo. Son el resultado del trabajo comprometido de estudiantes y docentes que comprenden que la sostenibilidad no es una idea abstracta, sino una práctica cotidiana sustentada en decisiones técnicas, en procesos de aprendizaje permanente y en la construcción colectiva de conocimiento.

Invitamos a investigadores, estudiantes, tomadores de decisiones y ciudadanos conscientes a adentrarse en esta lectura interactiva y crítica. Los hallazgos y modelos aquí expuestos no solo pretenden enriquecer el debate académico, sino inspirar nuevas transformaciones y sembrar las bases de una transición ecológica ineludible. Bienvenidos a una ciencia viva y transformadora desde el Magdalena Medio.

LUZ DARY YEPES LOBO

Doctorado(c) Administración para la Sostenibilidad

RESUMEN

En este libro se reúne un conjunto de investigaciones que representan avances significativos en el campo de la gestión ambiental. A partir de estudios desarrollados en el territorio del Magdalena Medio colombiano y articulados con tendencias globales en sostenibilidad, bioeconomía, educación ambiental digital y tecnologías, donde se ofrece una visión integral y actualizada sobre los desafíos y oportunidades que enfrenta la gestión ambiental como disciplina y como práctica profesional.

Las investigaciones están soportadas en tres ejes transversales de alta relevancia: la valorización energética de biomasa, la gestión sostenible de residuos orgánicos en sistemas agroindustriales, y la innovación pedagógica mediante gemelos digitales para la comprensión de ecosistemas en regeneración. En cada caso, los autores presentan diagnósticos, metodologías experimentales, análisis comparativos y resultados que aportan conocimiento aplicable a la formulación de soluciones ambientales reales.

El capítulo dedicado al jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) demuestra cómo una especie invasora puede ser transformada, mediante procesos termobioquímicos y digestión anaerobia, en una fuente estratégica de bioenergía. Por su parte, la propuesta para el aprovechamiento de residuos orgánicos en frigoríficos mediante biodigestión aporta una evaluación técnica y ambiental que incluye caracterización fisicoquímica de sustratos, valoración de beneficios ambientales, análisis de normatividad y consideraciones operativas para plantas agroindustriales. Finalmente, el capítulo que introduce el gemelo digital como herramienta de aprendizaje ambiental constituye una innovación en la educación superior. A través de modelado 3D, sensores ambientales, SIG y simulaciones dinámicas, El estudio incorpora análisis de percepción estudiantil, validación pedagógica y reflexiones sobre la digitalización en la formación ambiental contemporánea.

En su conjunto, el libro ofrece una mirada crítica y propositiva sobre la gestión ambiental actual, integrando investigación aplicada, análisis técnico y perspectivas interdisciplinarias. Es un recurso valioso para especialistas, estudiantes de posgrado, investigadores y profesionales que buscan comprender la complejidad de los sistemas ambientales y explorar soluciones innovadoras que podrían configurar nuevos modelos de sostenibilidad para la región y el país.

PALABRAS CLAVE

Gestión Ambiental, sostenibilidad, Educación Ambiental, Innovación Tecnológica, Economía circular

CAPITULO I

POTENCIAL DE APROVECAMIENTO DEL JACINTO DE AGUA (EICHHORNIA CRASSIPES) PARA LA GENERACIÓN DE BIOENERGÍA

El aprovechamiento del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) como fuente de bioenergía constituye una alternativa sostenible para mitigar los impactos ambientales ocasionados por su proliferación. Su abundancia y rápida tasa de crecimiento permiten obtener biomasa útil para generar biogás o biocombustibles, contribuyendo a la diversificación energética, la economía circular y la reducción de la contaminación en ecosistemas acuáticos, al mismo tiempo que se promueven soluciones sostenibles y beneficios socioambientales.

POTENTIAL FOR USING WATER HYACINTH (EICHHORNIA CRASSIPES) FOR BIOENERGY GENERATION

Harnessing water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) as a source of bioenergy offers a sustainable alternative to mitigate the environmental impacts caused by its proliferation. Its abundance and rapid growth rate allow for the production of biomass suitable for generating biogas or biofuels, contributing to energy diversification, the circular economy, and pollution reduction in aquatic ecosystems, while simultaneously promoting sustainable solutions and socio-environmental benefits.

YINNETH ZARITH CARREÑO MORA, yinneth.carreño@unipaz.edu.co
YESSICA TATIANA AMADO ANGULO, yessica.amado@unipaz.edu.co

Resumen: El jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) es una de las especies acuáticas invasoras más problemáticas a nivel mundial, ya que su rápida proliferación genera graves impactos ecológicos, económicos y sociales en los ecosistemas acuáticos. En Colombia, su expansión afecta el flujo natural de los cuerpos de agua y disminuye la biodiversidad. Sin embargo, esta planta posee un alto potencial de aprovechamiento como biomasa para la generación de bioenergía, gracias a su composición rica en celulosa, hemicelulosa y lignina.

El presente trabajo tuvo como objetivo analizar el potencial de aprovechamiento del jacinto de agua para la producción de energía renovable mediante la revisión bibliográfica de artículos científicos, informes técnicos y documentos normativos. La metodología se basó en una revisión documental sistemática en bases de datos académicas, clasificando la información según las tecnologías de conversión aplicables y su viabilidad en el contexto colombiano.

Los resultados evidencian que el jacinto de agua puede ser transformado en biogás, biocombustibles o biobriquetas a través de procesos como la digestión anaerobia y la gasificación. Estos métodos permiten aprovechar una especie invasora reduciendo sus efectos negativos, al tiempo que se promueve la sostenibilidad energética y la economía circular. Se concluye que la valorización energética del *Eichhornia crassipes* constituye una alternativa viable para mitigar impactos ambientales, diversificar la matriz energética y generar beneficios socioeconómicos locales.

Palabras clave: bioenergía, biomasa, jacinto de agua, biogás, sostenibilidad, economía circular.

Abstract: Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) is one of the most problematic invasive aquatic species worldwide, as its rapid proliferation generates serious ecological, economic, and social impacts on aquatic ecosystems. In Colombia, its spread affects the natural flow of water bodies and reduces biodiversity. However, this plant has a high potential for use as biomass for bioenergy generation, thanks to its composition rich in cellulose, hemicellulose, and lignin.

This study aimed to analyze the potential of water hyacinth for renewable energy production through a literature review of scientific articles, technical reports, and regulatory documents. The methodology was based on a systematic review of academic databases, classifying the information according to applicable conversion technologies and their viability in the Colombian context.

The results show that water hyacinth can be transformed into biogas, biofuels, or biobriquettes through processes such as anaerobic digestion and gasification. These methods allow for the utilization of an invasive species while reducing its negative impacts, promoting energy sustainability and the circular economy. It is concluded that the energy valorization of *Eichhornia crassipes* constitutes a viable alternative for mitigating environmental impacts, diversifying the energy mix, and generating local socioeconomic benefits.

Keywords: bioenergy, biomass, water hyacinth, biogas, sustainability, circular economy.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional y el desarrollo industrial han incrementado la demanda de energía, generando una fuerte dependencia de combustibles fósiles que ocasionan graves impactos ambientales. Ante esta situación, surge la necesidad de promover fuentes alternativas de energía renovable que contribuyan a la sostenibilidad y reducción de emisiones contaminantes. Congreso de Colombia., (2014). La biomasa se ha consolidado como una opción viable para la generación de energía limpia, aprovechando Ecopetrol., (s.f.) materiales orgánicos provenientes de residuos agrícolas, forestales y urbanos (Bracmort 2020).

Dentro de este contexto, el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), una planta acuática invasora ampliamente distribuida en los cuerpos de agua tropicales se presenta como una alternativa prometedora para la producción de bioenergía. Su alta tasa de crecimiento, abundancia y composición lignocelulósica Nandiyanto et al., (2023) permiten su transformación en productos energéticos como biogás Biogás Colombia, (s.f.), bioetanol y biobriquetas. (EPCB Boiler, s.f.).

En Colombia, esta especie ha causado serios problemas ecológicos al afectar la dinámica de los ecosistemas acuáticos, obstruir canales, limitar el flujo de oxígeno y alterar la biodiversidad. Sin embargo, su aprovechamiento energético podría convertirse en una estrategia sostenible para mitigar su impacto y generar beneficios ambientales, sociales y económicos. Este trabajo analiza el potencial del jacinto de agua como fuente de biomasa para la generación de bioenergía, destacando su importancia en el desarrollo de modelos de economía circular y transición hacia energías limpias.

MÉTODOS

El estudio se basa en diseños experimentales de laboratorio donde el jacinto de agua y otros sustratos fueron sometidos a procesos de digestión anaeróbica a 37 °C, utilizando reactores discontinuos y semicontinuos. Se prepararon diferentes proporciones de mezcla (1:4 y 1:5) para evaluar el rendimiento de biogás y biol.

Se emplearon técnicas de medición volumétrica del biogás, con monitoreo constante de pH, sólidos totales, sólidos volátiles, caudal de gas y temperatura.

El gas producido se purificó mediante solución de NaOH para eliminar CO₂ y se recolectó el metano por desplazamiento.

Además, se realizaron procesos de compostaje y producción de biobriquetas, utilizando equipos como briquetadoras manuales, hornos de secado y mezcladoras para obtener biomasa procesada y evaluar su valor calorífico y eficiencia energética (EPCB Boiler, s.f.).

El análisis de datos se basó en la comparación de rendimientos energéticos (LN/kgVS), composición química (celulosa, lignina, hemicelulosa) y parámetros ambientales relacionados con la eficiencia de conversión y reducción de emisiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran que el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) presenta un alto potencial de aprovechamiento como biomasa para la producción de biogás, biol y compost, además de su uso en artesanías y elaboración de papel ecológico (Nandiyanto et al., 2023).

Durante los ensayos de digestión anaeróbica, se observó que el jacinto de agua genera buenas cantidades de metano Biogás Colombia, (s.f.), lo que lo convierte en una alternativa energética viable y sostenible. Se encontró que el rendimiento del biogás depende de la proporción de mezcla y del tiempo de digestión, siendo más eficiente en mezclas 1:4 (planta: agua).

El biol obtenido mostró un contenido rico en nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio), evidenciando su utilidad como fertilizante orgánico para la agricultura. Por otro lado, el compostaje del jacinto de agua demostró ser eficaz en la reducción de materia orgánica contaminante, contribuyendo a la recuperación de ecosistemas acuáticos afectados por la proliferación de esta planta.

En cuanto al uso artesanal, se evidenció que los tallos secos del jacinto pueden emplearse para la fabricación de papel artesanal, canastos y figuras decorativas, fomentando la economía circular y el aprovechamiento sostenible de residuos naturales.

Estos resultados confirman que el aprovechamiento del jacinto de agua no solo permite reducir su impacto ambiental negativo, sino que también genera beneficios energéticos, económicos y sociales, contribuyendo al cumplimiento de objetivos de desarrollo sostenible en la gestión de residuos y energías renovables (Congreso de Colombia, 2014).

CONCLUSIONES

El jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), pese a ser considerado una planta invasora, representa una valiosa fuente de biomasa con múltiples aplicaciones sostenibles. Su aprovechamiento permite transformar un problema ambiental en una oportunidad de desarrollo económico y ecológico.

Los resultados evidencian que el jacinto puede emplearse de manera eficiente en la producción de biogás, biol y compost, contribuyendo a la generación de energías limpias y fertilizantes orgánicos de bajo costo. Asimismo, su uso en la elaboración de artesanías y papel ecológico ofrece alternativas de aprovechamiento productivo para comunidades locales.

El estudio demuestra que la gestión adecuada del jacinto de agua no solo reduce la contaminación y mejora los ecosistemas acuáticos, sino que también fortalece prácticas sostenibles en el ámbito ambiental, energético y social.

REFERENCIAS

- Biogás Colombia. (s.f.). Biogás como fuente de energía. <https://www.biogas.com.co/index.php/biogas/>
- Bracmort, K. (2020). Biomass: Comparison of definitions in legislation (Informe núm. R40529). Congressional Research Service. <https://www.congress.gov/crs-product/R40529>
- Congreso de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>
- Ecopetrol. (s.f.). EDF Colombia y Refocosta construirán planta de biomasa. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/edf-colombia-y-refocosta-construiran-planta-de-biomasa>
- EPCB Boiler. (s.f.). Combustible de briquetas de biomasa y tipos de calderas. <https://www.epcbboiler.com/biomass-briquette-fuel-and-boiler-types.html>
- Nandiyanto, A. B. D., Ragadhita, R., Hofifah, S. N., Al Husaeni, D. F., Al Husaeni, D. N., Fiandini, M., Luckiardi, S., Soegoto, E. S., Darmawan, A., & Aziz, M. (2023). Progress in the utilization of water hyacinth as effective biomass material. Environment, Development and Sustainability, 26, 24521–24568. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03655-6>

CAPITULO II

DISEÑO DE UNA PROPUESTA AMBIENTAL PARA LA TRANSFORMACIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN FRIGOMAG MEDIANTE PROCESOS DE BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA

DESIGN OF AN ENVIRONMENTAL PROPOSAL FOR THE TRANSFORMATION OF ORGANIC WASTE GENERATED AT FRIGOMAG VIA ANAEROBIC BIODIGESTION PROCESSES

JAMES MICHEL CANO CLARO.

james.cano@unipaz.edu.co

Resumen: El presente artículo expone los resultados del trabajo de grado titulado “Diseño de una propuesta ambiental para la transformación de los residuos orgánicos generados en FRIGOMAG mediante procesos de biodigestión anaeróbica”. El propósito central consistió en evaluar la viabilidad técnica, ambiental y operativa para implementar un sistema de transformación de subproductos cárnicos y residuos orgánicos provenientes de las actividades de sacrificio bovino y bufalino en la empresa FRIGOMAG, ubicada en el distrito de Barrancabermeja (Santander, Colombia).

La metodología adoptó un enfoque cuantitativo y descriptivo, que incluyó la caracterización físicoquímica de los residuos, el análisis del potencial de producción de biogás y bioabono, la revisión normativa y la evaluación preliminar del diseño del biodigestor. Se aplicaron visitas técnicas, mediciones de campo, revisión documental y herramientas de estimación de potencial energético.

Los resultados evidenciaron que FRIGOMAG genera diariamente una cantidad significativa de residuos orgánicos biodegradables, con un alto poder metanogénico, lo que permite proyectar una producción aproximada de 700 m³/día de biogás y un volumen estable de digestato apto como biofertilizante. Se concluye que el aprovechamiento de estos residuos mediante biodigestión anaeróbica es técnica y ambientalmente viable, y representa una oportunidad para reducir impactos ambientales, disminuir costos operativos y generar energía renovable para procesos internos del frigorífico.

Palabras clave: biodigestión anaeróbica, residuos orgánicos, biogás, bioabono, sostenibilidad, economía circular, FRIGOMAG

Abstract: This article presents the results of the research titled “Environmental Proposal for the Transformation of Organic Waste Generated at FRIGOMAG through Anaerobic Biodigestion Processes.” The main objective was to evaluate the technical and environmental feasibility of implementing a system for transforming organic and meat-processing residues generated by the slaughter operations of cattle and buffalo at FRIGOMAG, located in Barrancabermeja (Santander, Colombia).

A quantitative descriptive methodology was used, including the physicochemical characterization of residues, the analysis of methane-generation potential, and a preliminary design of an anaerobic biodigester. Field measurements, technical visits, documentary analysis, and bioenergy estimation tools were applied.

Results show that FRIGOMAG generates a high amount of biodegradable organic waste daily, with high methanogenic potential, enabling an estimated production of around 700 m³ of biogas per day and a significant volume of nutrient-rich digestate suitable for agricultural use. It is concluded that waste valorization through anaerobic digestion is feasible and represents an opportunity to reduce environmental impacts, lower operational costs, and generate renewable energy.

Keywords: anaerobic digestion, biogas, organic waste, circular economy, sustainability, slaughterhouse waste.

INTRODUCCIÓN

Los frigoríficos del sector cárnico generan diariamente grandes volúmenes de residuos orgánicos resultantes del proceso de beneficio animal, tales como contenido ruminal, grasas, sangre, vísceras y tejidos blandos. Estos residuos, cuando no son gestionados de manera adecuada, representan un riesgo ambiental significativo debido a su alta carga orgánica, su potencial de generación de olores y lixiviados, y la posibilidad de contaminación de suelos y cuerpos hídricos.(ANLA, 2023).

En Colombia, la transición hacia modelos de economía circular Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, (2019) y la implementación de soluciones basadas en la naturaleza han impulsado alternativas de aprovechamiento energético de este tipo de residuos. La biodigestión anaeróbica se presenta como una tecnología limpia y eficiente que permite transformar desechos orgánicos en biogás y bioabono, contribuyendo a la mitigación del cambio climático y al cumplimiento de las regulaciones ambientales vigentes.

FRIGOMAG, como referente regional en el sector agroindustrial del Magdalena Medio, genera residuos que poseen alto potencial energético, pero actualmente son manejados bajo esquemas convencionales que no maximizan su valor. De allí surge la necesidad de diseñar una propuesta ambiental que permita transformar los residuos orgánicos mediante un sistema de biodigestión que sea técnica, económica y ambientalmente viable.

Este artículo presenta el diseño preliminar de dicho sistema, sustentado en mediciones, caracterizaciones y criterios de ingeniería ambiental aplicados al contexto operativo de un frigorífico con una capacidad aproximada de sacrificio de 230 bovinos y búfalos diarios.

MÉTODOS Y MATERIALES

Área de estudio

El estudio se desarrolló en la empresa FRIGOMAG, ubicada en el distrito de Barrancabermeja. El área evaluada comprende el patio de corraleo, el área de degüello, las salas de evisceración, la zona de subproductos y el área de desposte. Desde estas líneas de proceso se recolectaron las muestras de residuos orgánicos para su caracterización.

Población y muestra.

La población de estudio corresponde a la totalidad de residuos orgánicos generados por la operación diaria del frigorífico. La muestra se seleccionó mediante muestreo compuesto en puntos críticos del proceso.

Herramientas técnicas.

Para el desarrollo del estudio se emplearon equipos de medición volumétrica, termómetro digital y pH-metro, así como software para la estimación de biogás y tablas estándar BMP (Biochemical Methane Potential). Adicionalmente, se tuvo en cuenta la normatividad vigente, incluyendo el Decreto 1076 de 2015, el Decreto 0670 de 2025 (en estado de trámite), y los lineamientos del ICA y del Ministerio de Agricultura : (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)., (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. 2025).

Procedimiento

El procedimiento metodológico contempló:

Caracterización del tipo y volumen de residuos

La estimación del potencial metanogénico

La selección del tipo de biodigestor (preferiblemente de tipo continuo: tubular o CSTR).

El dimensionamiento preliminar del sistema,

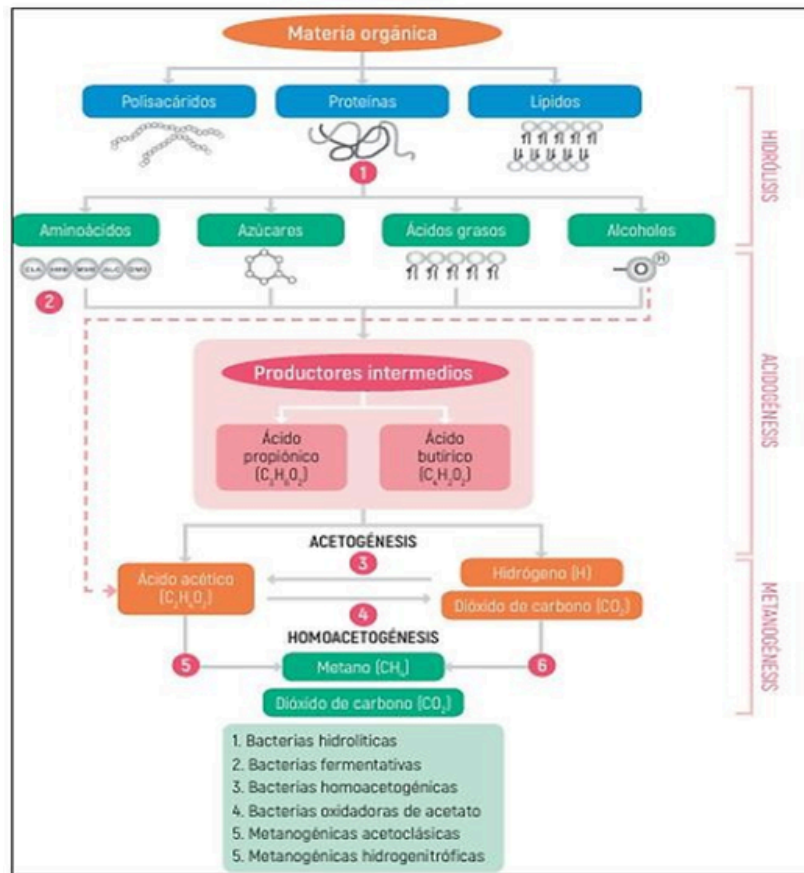
La evaluación de los impactos ambientales positivos derivados de su implementación

El cálculo del potencial de aprovechamiento del biogás generado.

Análisis de la información

Los datos se procesaron mediante estadística descriptiva con el fin de determinar la producción diaria de residuos, la proyección de biogás, el costo estimado del sistema y los beneficios ambientales asociados.

Figura.1 Esquema de reacciones de la digestión anaerobia.



Nota: Corrales, 2015.

El tipo de materia orgánica o sustrato a utilizar se relaciona no sólo con la cantidad de metano que se obtendrá al final del proceso de biodigestión, sino con la calidad del biogás que se produce, el control de variables como temperatura, pH, tiempo de retención hidráulica y relación C/N es determinante para garantizar una producción estable de biogás y evitar fallas en el sistema. MADS y Porkcolombia- FNP, (2020). Tecnologías bien diseñadas pueden alcanzar eficiencias de conversión energética superiores al 70 % en comparación con otras formas de aprovechamiento de biomasa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Generación de residuos orgánicos en FRIGOMAG

La empresa procesa aproximadamente 230 bovinos y búfalos diarios, lo que genera:

- Contenido ruminal
- Grasa
- Sangre
- Residuos blandos
- Restos alimenticios del corrales.

El análisis arrojó un potencial de producción de más de 700 m³ de biogás por día, cifra que se ubica dentro de los promedios industriales para plantas con carga similar.

Potencial de uso del biogás

- El biogás puede emplearse en:
- Calderas
- Iluminación interna
- Generación de energía eléctrica
- Calentamiento de agua industrial
- Sustitución parcial del GLP

Producción de bioabono

El digestato cumple con las condiciones para ser utilizado como:

- Acondicionador de suelos
- Fertilizante orgánico
- Enmienda para cultivos del sector agropecuario de Barrancabermeja

Beneficios ambientales

- Reducción significativa de olores ofensivos
- Disminución de emisiones de GEI
- Eliminación de vectores
- Manejo adecuado de residuos patógenos
- Aprovechamiento de residuos que anteriormente se descartaban

Tabla 1. Características de los sustratos comunes utilizados en proyectos de biogás

Sustrato	Sólidos Totales (ST)	Sólidos Volátiles (SV)	Rendimiento de biogás		Fracción de metano
	%	%ST	m ³ /t MF*	m ³ /t SV	%
Purín vacuno	8-11	75-82	20-30	200-500	60
Purín porcino	Aprox. 7	75-86	20-35	300-700	50-70
Estiércol vacuno	Aprox. 25	68-76	40-50	210-300	60
Estiércol porcino	25	75-80	55-65	720-450	60
Guano de Ave	Aprox. 32	63-80	70-90	250-550	60

*Materia Fresca

Nota: Adaptado de Guía de planificación para proyectos de biogás en Chile, por Ministerio de Energía de Chile y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2012.

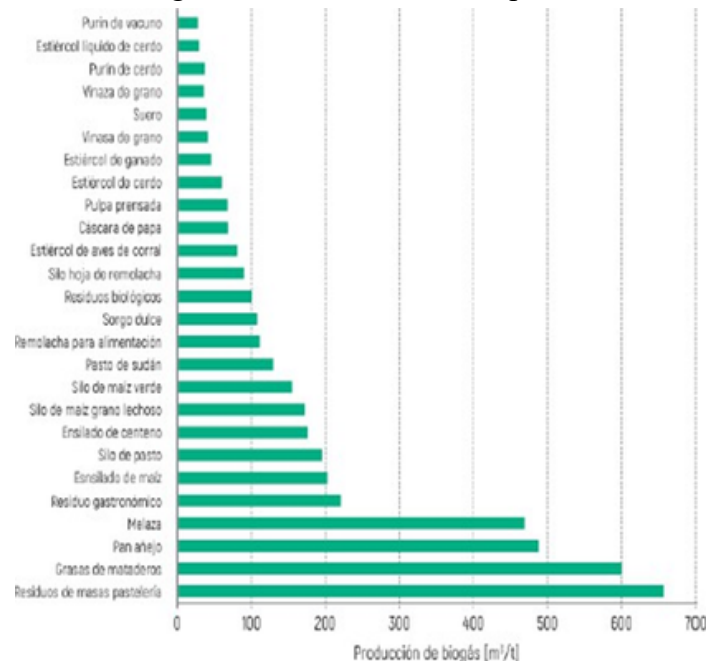
POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS GENERADOS MEDIANTE LA BIODIGESTIÓN ANAEROBIA.

La caracterización de los residuos orgánicos y su composición fisicoquímica es clave para definir estrategias de aprovechamiento frente a procesos biotecnológicos, Bermúdez et al. (2021) muestran En sus investigaciones que la mezcla de sustratos mejora el equilibrio nutricional,estabiliza la fermentación y aumenta la producción de biogás, lo que permite seleccionar tecnologías más eficientes.

Así mismo se ha estimado que el estiércol sólido de cerdo es el residuo porcícola con mayor potencial, capaz de producir hasta 60 m³ de biogás por tonelada. En contraste, el purín genera considerablemente menos, unos 36 m³ por tonelada, y el estiércol líquido (orina) es el que menos produce, con solo 25 m³ por tonelada³⁰. Por tanto, cada materia prima tiene un potencial distinto en el proceso de digestión anaerobia.

La siguiente figura ofrece una comparación visual de la energía potencial de varias biomásas agropecuarias, destacándose el estiércol porcino.

Figura 2. Rendimiento medio en biogás de diferentes materias primas



Nota: (Erler,2009), (Kaiser, 2017)

El potencial de aprovechamiento de los residuos generados mediante digestión anaerobia es variable debido a sus características de lossólidos totales (%ST),solidos volátiles (SV), pH, la relación carbono/nitrógeno de algunos residuos animales, así mismo se ha demostrado una relación directa entre la cantidad de sustrato alimentado y el volumen de biogás producido.

Como es el caso de estudio de Roldán et al en Ecuador donde se construyó un biodigestor con capacidad para transformar residuos orgánicos principalmente estiércol, vísceras y aguas residuales en biogás y biofertilizante, durante el proceso experimental, se registró una relación directa entre la cantidad de sustratoalimentado y el volumen de biogás generado, alcanzando valores superiores cuando se utilizaron mezclas de estiércol, vísceras y aguas residuales en proporciones aproximadas de 3:1:2. Esta combinación permitió mantener una relación carbono-nitrógeno balanceada y evitar inhibiciones por sobrecarga, lograndouna producción promediode 0,72 m³ de biogás por cada kilogramo de sustrato fresco. En comparación con el tratamiento de estiércol solo, el rendimiento se incrementó de manera significativa, demostrando que la co-digestión es una estrategia eficaz para potenciar la generación de biogás en instalaciones de faenamiento animal.

En el estudio se utilizó un biodigestor tubular tipo plástico de flujo continuo. Este diseño se seleccionó por su bajo costo, facilidad de instalación y operación sencilla, características que lo hacen adecuado para zonas rurales o de infraestructura limitada, demostrando que la cantidad de sustrato influye en el volumen de biogás producido.

PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES IDENTIFICADAS

Entre los principales impactos ambientales asociados a estas actividades se encuentran:

- **Altacarga orgánica en vertimientos líquidos:** La sangre y los fluidos orgánicos aportan concentraciones elevadas de DBO y DQO, excediendofrecuentemente los límites establecidos por la Resolución 0631 de 2015, (ANLA, 2023).
- **Generación de olores ofensivos y proliferación de vectores:** El manejo inadecuado de vísceras y estiércol puede generar problemas sanitarios y de aceptación social, afectando comunidades aledañas.
- **Aprovechamiento ineficiente de residuos orgánicos:** En la mayoría de las plantas medianas y pequeñas no existen sistemas integrales de valorización, lo que implica costos adicionales de disposición y pérdida de oportunidades energéticas.

Como señalan Franco y Méndez, “la ausencia de estrategias de aprovechamiento de biomasa en el sector cárnico representa no solo un problema ambiental sino también una pérdida económica significativa”.

OPORTUNIDADES PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE

La situación actual evidencia que FRIGOMAG S.A.S., al igual que muchas plantas de beneficio intermedias en Colombia, enfrenta desafíos en materia de gestión ambiental. Sin embargo, estos desafíos pueden convertirse en oportunidades estratégicas:

- Implementar biodigestores para valorizar residuos orgánicos y reducir cargascontaminantes.
- Generar biogás como fuente de energía térmica o eléctrica para autoconsumo.
- Disminuir costos de disposición final y cumplir con la legislación ambiental.
- Acceder a programas de financiamiento y beneficios tributarios.

Como afirman Patiño y Sierra³⁸, “las plantas de beneficio que integran tecnologías limpias no solo mitigan sus impactos, sino que logran mejorar su competitividad y sostenibilidad en el mercado cárnico nacional”.

La transformación de los residuos orgánicos representa hoy en día un reto prioritario en la política nacional de desarrollo sostenible. En zonas intermedias y rurales, donde convergen actividades productivas y comunidades locales, se requieren alternativas que reduzcan los impactos ambientales y generen valor agregado.

OPORTUNIDADES PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE

La situación actual evidencia que FRIGOMAG S.A.S., al igual que muchas plantas de beneficio intermedias en Colombia, enfrenta desafíos en materia de gestión ambiental. Sin embargo, estos desafíos pueden convertirse en oportunidades estratégicas:

- Implementar biodigestores para valorizar residuos orgánicos y reducir cargas contaminantes.
- Generar biogás como fuente de energía térmica o eléctrica para autoconsumo.
- Disminuir costos de disposición final y cumplir con la legislación ambiental.
- Acceder a programas de financiamiento y beneficios tributarios.

Como afirman Patiño y Sierra³⁸, “las plantas de beneficio que integran tecnologías limpias no solo mitigan sus impactos, sino que logran mejorar su competitividad y sostenibilidad en el mercado cárnico nacional”.

La transformación de los residuos orgánicos representa hoy en día un reto prioritario en la política nacional de desarrollo sostenible. En zonas intermedias y rurales, donde convergen actividades productivas y comunidades locales, se requieren alternativas que reduzcan los impactos ambientales y generen valor agregado.

En este apartado se analizarán los sistemas más representativos descritos en la literatura técnica biodigestor tipo chino, hindú, Taiwán y el biorreactor estricto anaerobio controlado (BEAC), con el propósito de determinar su aplicabilidad en plantas de faenamiento animal. Como señalan la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la selección de la tecnología más adecuada debe considerar las condiciones locales, la disponibilidad de residuos y la capacidad de operación, para garantizar la sostenibilidad del proceso, cabe resaltar que la temperatura media anual de Barrancabermeja favorecen los procesos de biodigestión anaerobia dado que facilitan la operación en rangos mesofílicos sin requerir calefacción externa ya que la temperatura promedio del proceso de biodigestión son 35°C.

FUNDAMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

La propuesta se fundamenta en las políticas nacionales que orientan esfuerzos hacia la implementación de tecnologías limpias y de economía circular. Instrumentos como el Documento CONPES 3934 (2020) sobre transición energética, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible a través de su Guía de biogás para el sector porcicultor y políticas que reconocen al biogás como una energía estratégica para pequeños y medianos productores, al permitir la generación distribuida y la reducción de emisiones, así como líneas de financiación para promover la instalación de los mismos.

TIPOS DE BIODIGESTORES Y ANALISIS DE SU APLICABILIDAD

El desarrollo tecnológico en sistemas de biodigestión anaerobia ha permitido la creación de diferentes modelos que responden a las necesidades de escala, tipo de sustrato, clima la operación optima de los biodigestores se da a una temperatura de 35°C y recursos disponibles. Estos sistemas, en esencia, buscan convertir la materia orgánica biodegradable en biogás y en un digestato aprovechable como biofertilizante. Según la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), los biodigestores pueden clasificarse principalmente en discontinuos (batch), continuos y de flujo mixto, con variaciones en su diseño y nivel de automatización.

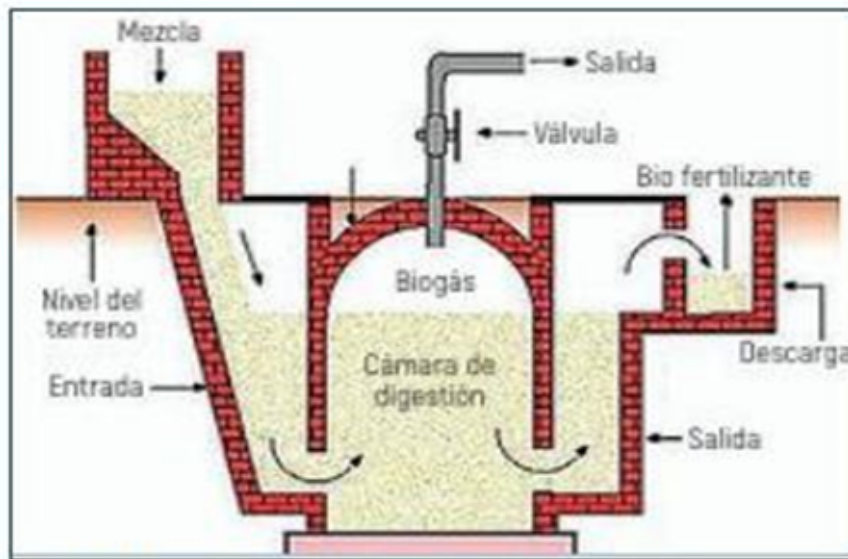
Entre los modelos más difundidos a nivel latinoamericano se encuentran los biodigestores Semi continuos tipo chino, tipo hindú y continuo tipo Taiwán, Se componen principalmente de una cámara de fermentación, donde ocurre el proceso de digestión anaerobia, de un espacio (domo o campana) en la parte superior para el almacenamiento del gas, y de un par de cajas, de entrada y salida, para alimentar el biodigestor y sacar el bio abono, estas representan tecnologías de bajo costo, adaptables a contextos rurales o agroindustriales con disponibilidad de mano de obra local y materiales convencionales, a continuación se presentan algunos modelos tipo.

Figura 3. Biodigestor tipo chino



Nota: Marti Herrero, J.2019.

Biodigestor tipo hindú

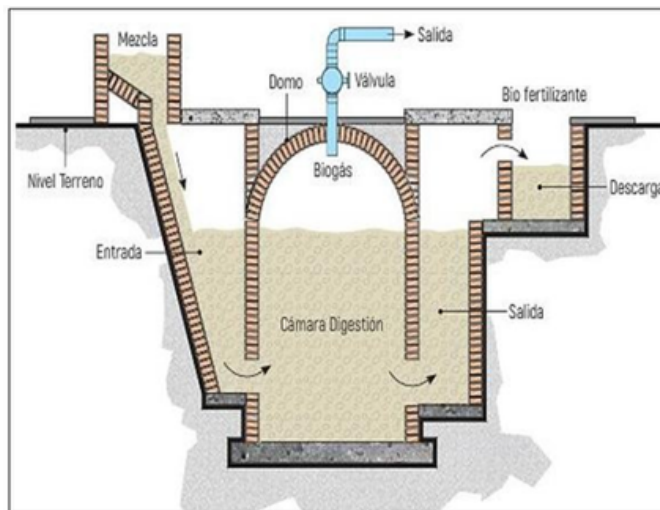


Nota: Cursos CPT, s.f.

Biodigestor tipo chino

Se caracteriza por su estructura fija en ladrillo o concreto, con una cámara de fermentación subterránea y una cúpula rígida en forma de domo para la acumulación de gas. Este sistema ha mostrado eficiencia en climas cálidos y templados, aunque su mantenimiento puede ser complejo debido a la acumulación de sedimentos y la dificultad para limpiar el domo de gas. De acuerdo a la investigación con Kaiser este tipo de tecnología presenta ventajas en durabilidad y resistencia estructural, pero carece de flexibilidad para controlar parámetros de presión y temperatura.

Figura 5. Biodigestor tipo chino.



Nota: tomado de MADS, Guía de biogás para el sector porcícola en Colombia.

CONCLUSIONES

La propuesta ambiental diseñada demuestra que la implementación de un sistema de biodigestión anaeróbica en FRIGOMAG es:

- Técnicamente viable, por la composición de los residuos.
- Ambientalmente positiva, al reducir impactos y emisiones.
- Operativamente adecuada, ya que se integra al proceso productivo.
- Económicamente conveniente, debido al ahorro energético.

Se recomienda avanzar hacia la fase de diseño detallado, análisis económico completo y construcción del sistema.

REFERENCIAS

Bermúdez, A., et al. (2021). Optimización de la digestión anaerobia mediante mezcla de sustratos con alto contenido proteico y carbohidratos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 23(3), 62–74.

Centro de Produções Técnicas. (s. f.). Construção e operação de biodigestores: Biodigestor modelo indiano. <https://www.cpt.com.br/tv-video-cursos-cpt/urbana/energia-alternativa/filme-curso-construcao-e-operacao-de-biodigestores-biodigestor-modelo-indiano>

Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2020). Documento CONPES 3984: Política nacional para el desarrollo comercial. Departamento Nacional de Planeación.

COLOMBIA. AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES. Informe sobre gestión de vertimientos en plantas de beneficio animal. Bogotá D.C.: ANLA, 2023.

Erlor, R. (2009). Biogás utilization chains, Work package WP09, Deliverable D35.

Kaiser, F. (2017). Tecnología de biogás en porcicultura.

Martí Herrero, J. (2019). Biodigestores tubulares: Guía de diseño y manual de instalación. RedBiolac. https://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD_IKIAM/351

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015, 26 de mayo). Decreto 1076 de 2015: Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Diario Oficial No. 49.523. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2019). Estrategia nacional de economía circular: Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio. Presidencia de la República de Colombia. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/col204148.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Porkcolombia-Fondo Nacional de la Porcicultura. (2020). Guía de biogás para el sector porcícola en Colombia. <https://economiacircular.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/09/guia-biogas-sector-porcicola-ministerio-de-ambiente-desarrollo-sostenible.pdf>

Ministerio de Energía de Chile, & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. (2012). Guía de planificación para proyectos de biogás en Chile. Proyecto Energías Renovables No Convencionales.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2025, 17 de junio). Decreto 670 de 2025: Por el cual se adiciona el Capítulo 8 del Título 2, de la Parte 3, del Libro 2, del Decreto 1077 de 2015, se reglamenta el artículo 227 de la Ley 2294 de 2023 referente al Programa Basura Cero, y por el cual se efectúan adiciones a los artículos 2.2.2.3.2.3 y 2.2.2.3.7.1 del Capítulo 3, Título 2, Parte 2, Libro 2 del Decreto 1076 de 2015 y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 53.153. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=260496

Roa, Z. S., Mendoza Corba, J. C., González Muñoz, S. S., Kaiser Caldera, F. L., & Gebauer, A. (2020). Guía de biogás para el sector porcícola en Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Porkcolombia-Fondo Nacional de la Porcicultura. <https://economiacircular.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/09/guia-biogas-sector-porcicola-ministerio-de-ambiente-desarrollo-sostenible.pdf>

Roldán Reascos, G. M., Guerrero Álvarez, W. F., Casanova Villarroel, É. J., & Salazar Coyago, R. F. (2022). Construcción de un biodigestor para generar energía renovable a partir de desechos orgánicos en el camal de Pacto-Ecuador. Esferas, 3. <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/esferas/article/view/2426>

CAPITULO III

DISEÑO DE GEMELO DIGITAL COMO ESTRATEGIA DE APRENDIZAJE EN UNA COBERTURA DE VEGETACIÓN SECUNDARIA EN EL INSTITUTO UNIVERSITARIO DE LA PAZ

DIGITAL TWIN AS A LEARNING STRATEGY IN SECONDARY VEGETATION COVERAGE AT THE UNIVERSIDAD DE LA PAZ INSTITUTE (UNIPAZ)

ELIDA ALVARINO GARCÍA.

Elida.alvarino@unipaz.edu.co

CARLOS MARIO PUMAREJOLERMA.

Carlos.pumarejo@unipaz.edu.co

Resumen: El presente artículo presenta los resultados de la investigación titulada “Gemelo Digital como estrategia de aprendizaje en una cobertura de vegetación secundaria en el Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ)”. El propósito central fue implementar un gemelo digital como herramienta de aprendizaje activo y de análisis ambiental, que permitiera fortalecer las competencias conceptuales, procedimentales y actitudinales de los estudiantes del programa de Ingeniería Ambiental, mediante la integración de tecnología y ecología aplicada. La metodología adoptó un enfoque mixto, combinando análisis cuantitativos y cualitativos. Se realizaron observaciones de campo, levantamientos fotográficos, caracterización de coberturas vegetales secundarias y simulaciones digitales en un entorno virtual interactivo. Además, se aplicaron encuestas de valoración a los estudiantes participantes, para conocer la percepción sobre la utilidad del gemelo digital como recurso didáctico y su impacto en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Los resultados evidencian una alta aceptación de la herramienta tecnológica, destacando mejoras en la comprensión de conceptos de sucesión ecológica, restauración ambiental y dinámica de vegetación secundaria. El gemelo digital facilitó la visualización de procesos ecológicos complejos y fortaleció el aprendizaje significativo, promoviendo la interdisciplinariedad entre la ingeniería ambiental, la biología y las tecnologías emergentes.

Palabras clave: Gemelo digital, aprendizaje activo, cobertura vegetal, restauración ecológica, educación ambiental, innovación pedagógica.

Abstract: This article presents the results of the research titled “Digital Twin as a Learning Strategy in Secondary Vegetation Coverage at the Universidad de la Paz Institute (UNIPAZ)”. The main purpose was to implement a digital twin as an active learning and environmental analysis tool, aimed at strengthening the conceptual, procedural, and attitudinal competencies of Environmental Engineering students through the integration of technology and applied ecology.

The methodology adopted a mixed approach, combining quantitative and qualitative analyses. Field observations, photographic surveys, characterization of secondary vegetation cover, and digital simulations in an interactive virtual environment were conducted. In addition, evaluation surveys were applied to participating students to determine the perceived usefulness of the digital twin as a didactic resource and its impact on the teaching-learning process.

The results show a high level of acceptance of the technological tool, highlighting improvements in the understanding of ecological succession, environmental restoration, and secondary vegetation dynamics. The digital twin facilitated the visualization of complex ecological processes and enhanced meaningful learning, promoting interdisciplinarity among environmental engineering, biology, and emerging technologies.

Keywords: Digital twin, active learning, vegetation cover, ecological restoration, environmental education, pedagogical innovation.

.INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los procesos de enseñanza-aprendizaje en la educación superior enfrentan el desafío de integrar tecnologías emergentes que promuevan la participación activa del estudiante, la comprensión sistémica del entorno y la aplicación práctica del conocimiento. En el campo de la ingeniería ambiental, esta necesidad se hace aún más evidente debido a la complejidad de los fenómenos ecológicos y la urgencia de diseñar estrategias pedagógicas que fomenten la conciencia y responsabilidad ambiental desde una perspectiva interdisciplinaria.

En este contexto, el uso de gemelos digitales réplicas virtuales de sistemas físicos, naturales o contruados se ha consolidado como una herramienta de innovación educativa y de análisis ambiental. Estas representaciones digitales permiten simular condiciones reales, realizar mediciones, observar procesos dinámicos y predecir comportamientos, facilitando la comprensión de fenómenos ecológicos sin alterar el entorno natural.

El Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ), comprometido con la formación integral de profesionales capaces de responder a los desafíos ambientales del país, desarrolló el proyecto “Gemelo Digital como estrategia de aprendizaje en una cobertura de vegetación secundaria”, con el fin de fortalecer el vínculo entre la teoría ecológica, la experimentación digital y la práctica ambiental. Este proyecto surge como una respuesta al déficit de herramientas didácticas que permitan a los estudiantes comprender, de manera interactiva y visual, la dinámica de los ecosistemas degradados y su recuperación mediante procesos de restauración ecológica.

La cobertura de vegetación secundaria representa un escenario idóneo para la aplicación del gemelo digital, dado que se trata de un tipo de ecosistema en constante transformación, resultado de la regeneración natural tras disturbios antrópicos. Su estudio ofrece múltiples oportunidades de aprendizaje sobre sucesión ecológica, biodiversidad, servicios ecosistémicos y estrategias de manejo sostenible. Mediante la recreación virtual de este entorno, los estudiantes pudieron observar y analizar los procesos de crecimiento, competencia y adaptación vegetal, así como la relación entre las variables ambientales y biológicas que determinan la estructura y función del ecosistema.

Asimismo, el uso del gemelo digital permitió a los docentes y estudiantes trabajar de manera colaborativa en un entorno digital inmersivo, que facilitó la experimentación sin afectar los ecosistemas reales. La herramienta digital fue diseñada para replicar condiciones ambientales específicas del área de estudio, permitiendo la manipulación de variables, el registro de datos y la comparación de escenarios hipotéticos.

Este artículo busca presentar los resultados del proceso de implementación del gemelo digital en el contexto académico de UNIPAZ, así como analizar su impacto en la enseñanza de la ecología y la gestión ambiental. Además, se pretende discutir su potencial como modelo replicable en otras instituciones educativas y contextos ambientales, en el marco de la transformación digital de la educación superior.

En consecuencia, se planteó como objetivo general evaluar la efectividad del gemelo digital como estrategia pedagógica y de análisis ambiental en el

1. Diseñar e implementar un entorno virtual que represente fielmente las condiciones ecológicas del área de estudio.
2. Desarrollar actividades académicas orientadas al uso del gemelo digital en la comprensión de procesos ecológicos.
3. Analizar la percepción y el aprendizaje de los estudiantes mediante encuestas de valoración y discusión grupal.
4. Evaluar la pertinencia del gemelo digital como recurso de apoyo para la educación ambiental y la restauración ecológica.

En conjunto, este trabajo aporta a la consolidación de nuevas estrategias didácticas que integran la ciencia, la tecnología y la sostenibilidad, fortaleciendo las competencias investigativas y el compromiso ambiental de los futuros profesionales de UNIPAZ.

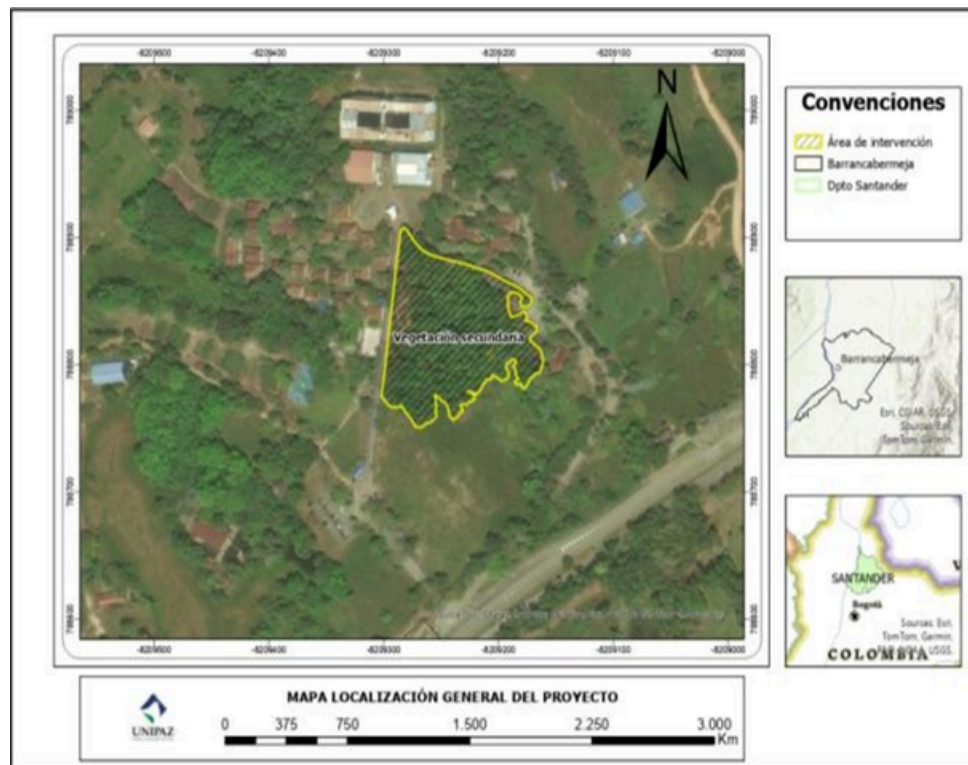
MÉTODOS Y MATERIALES

Área de estudio

La investigación se desarrolló en las instalaciones del Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ), ubicado en el municipio de Barrancabermeja, departamento de Santander, Colombia. El área de estudio corresponde a una cobertura de vegetación secundaria localizada dentro del campus universitario, caracterizada por procesos de regeneración natural tras intervenciones antrópicas previas. Esta zona presenta una composición florística dominada por especies pioneras, con distintos niveles de sucesión ecológica y regeneración del suelo.

Su selección respondió a la posibilidad de observar procesos ecológicos como la competencia vegetal, la colonización de especies y la recuperación del ecosistema, los cuales podían ser representados digitalmente mediante un modelo tridimensional (gemelo digital) para fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Figura.1 Localización general del Proyecto.



Fuente: ArcGISPro.

En la Figura.1 muestra la localización geográfica del área de intervención con el polígono achurado de color amarillo con negro, donde se desarrolla el proyecto de Gemelos Digitales, asociado al relicto de vegetación secundaria existente en el Instituto Universitario de la Paz que representa la zona de estudio. El ecosistema presente registra un área aproximadamente de 1.29 Hectáreas (Ha) y un perímetro de 662 metros (m), Cabe resaltar que es un ecosistema estratégico en el campus y en la región del Magdalena Medio, ya que es regulador de la temperatura del sector capturando Dióxido de Carbono (CO₂) y transformándolo en oxígeno (O₂). Además, de brindar diferentes tipos de servicios ecosistémicos que contribuyen con el desarrollo un entorno más integral. Asimismo, esta vegetación ha sido fragmentada o antropizada por actividades humanas, por lo que en la actualidad se encuentra en un proceso de regeneración natural.

Población y muestra

La población de estudio estuvo conformada por estudiantes del instituto universitario de la paz. De esta población participaron de manera voluntaria algunos estudiantes en el proceso experimental. Los criterios de inclusión consideraron la disponibilidad para asistir a las sesiones, el interés por la temática y el conocimiento básico sobre ecosistemas terrestres.

El grupo de estudiantes participó en actividades guiadas que involucraron la observación, manipulación y análisis de datos dentro del entorno digital, con el fin de evaluar la percepción, utilidad y pertinencia del gemelo digital como estrategia pedagógica y herramienta de simulación ambiental.

Herramientas técnicas y materiales

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron software y herramientas de simulación digital que permitieron crear un entorno virtual representativo del área de estudio. Entre las herramientas se destacan programas de modelado 3D, sistemas de información geográfica (SIG) y plataformas de simulación ambiental, que posibilitaron la reconstrucción digital del ecosistema y su análisis en tiempo real. Se emplearon además equipos de campo como cámaras fotográficas digitales, sensores de temperatura y humedad, y GPS portátil para la georreferenciación del área y la toma de datos ambientales.

El conjunto de estos recursos permitió recopilar la información necesaria para construir la réplica digital del ecosistema, simulando sus condiciones ecológicas y procesos de regeneración.

Tabla 1 Dispositivos empleados.

EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y PLATAFORMAS	FOTOGRAFIA	DESCRIPCIÓN
Trípode Manfrotto		Soporte de 3 secciones con un cabezal panorámico/inclinable de 3 vías. Tiene una capacidad de carga de 33,1 libras y se extiende de 3,5 a 72,1". ¹⁹
Cámara omnidireccional Insta360 X5		Es una cámara omnidireccional 360° avanzada que graba video en hasta 8K, toma fotos de 72 MP y ofrece una estabilización de imagen superior gracias a su tecnología FlowState. ²⁰
iPhone 16 pro-MAX		Teléfono inteligente con Cámara Fusion de 48 MP: 24 mm, apertura de f/1.78, estabilización óptica de imagen por desplazamiento de sensor de segunda generación, 100% Focus Pixels, admite fotos en superalta resolución (24 MP y 48 MP). ²¹
MATTERPORT AXIS		Diseñado para realizar recorridos virtuales con tu móvil de la forma más sencilla y precisa posible. ²⁴
Software Matterport		Matterport facilita la creación de gemelos digitales de sus propiedades. Desde la captura con teléfonos inteligentes hasta nuestra cámara LIDAR Pro3 de nivel profesional y nuestro equipo global de Capture Services. ²²
Power Bank		Batería externa portátil que almacena energía eléctrica para cargar dispositivos electrónicos como celulares, tabletas o auriculares cuando no hay acceso a una toma de corriente.
DRON DJI Air 3S		Equipado con un sensor LiDAR frontal, que detecta obstáculos independientemente de la iluminación y las texturas y colores del entorno. ²³
SENSOR RGB		

Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento metodológico Enfoque metodológico

Para el presente trabajo de grado se contempló la consulta a través de geo pórtales ambientales y bases de datos académicas asociadas a la plataforma AVAPAZ, en la biblioteca SCOPUS que permitieron segregar los datos relacionada con artículos científicos, con el fin de obtener y validar información para el caso de estudio.

Tabla 2. Referencias de artículos base de datos

No.	TITULO DEL DOCUMENTO	FECHA DOCUMENTO	ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA	IMPORTANCIA DE LAS VARIABLES IDENTIFICADAS EN LA INVESTIGACIÓN	Relevancia del artículo con la
1	Insurmountable limitations of city-scale digital twins? On urban knowledge and planning	Publication date: December 2025 Source title: Computational Urban Science versión impresa ISSN 27306852 DOI:10.1007/s43762-025-00174-0	AVAPAZ SCOPUS-DOCUMENT	Los gemelos digitales gozan de un éxito generalizado y creciente tanto en aplicaciones teóricas como prácticas. Un desarrollo reciente que está ganando cada vez más fuerza es su	enfoques "técnicos". La investigación crítica de los gemelos digitales
2	A systematic review of digital twins' potential for citizen participation and influence in land use agenda-setting	Publication date: December 2025 Source title: Discover Sustainability versión impresa : ISSN 26629984 DOI 10.1007/s43621-025-01204-x	AVAPAZ SCOPUS-DOCUMENT	los gemelos digitales podrían garantizar una planificación territorial sostenible y responsable donde la influencia ciudadana sea significativa. 1- proporcionar datos para el desarrollo de	planificación territorial sostenible y responsable.

3	Digital twin comprehensive models: a study of ancient tree ecological environment quality assessment based on a cyber-physical system	Publication date: April 2025 Source title: Environmental Monitoring and Assessment versión impresa ISSN 01676369 DOI: 10.1007/s10661-025-13923-9	AVAPAZ SCOPUS-DOCUMENT	Este estudio aprovecha la tecnología de sistemas ciberfísicos (CPS) para crear un modelo gemelo digital que evalúa la calidad ecológica de árboles antiguos. Los hallazgos clave demuestran la precisión del	estrategias de conservación
4	Inteligencia artificial en el contexto del fotorrealismo en la visualización arquitectónica	Publication date: Enero 2025 Source title: Facultad De Arquitectura De La Universidad Autónoma versión impresa : DOI:10.29105/contexto19.29-487	AVAPAZ SCOPUS-DOCUMENT	Este artículo analiza la integración de la tecnología de inteligencia artificial con la visualización arquitectónica. Esta investigación busca comprobar la afirmación de que, en 2024, la integración de la visualización	
5	Los paseos por la naturaleza: Cartografías especulativas e inteligencia artificial para diseñar futuros experienciales	Publication date: Diciembre 2024 Source title: IE University, Escuela de Arquitectura y Diseño, España versión impresa : DOIhttps://doi.org/10.32995/rev180.Num-54.(2024).art-1325	AVAPAZ SCOPUS-DOCUMENT	A través del acto de caminar, el taller pretendía promover una intervención especulativa en la zona del Parque de Collserola para reflexionar sobre la memoria de un bosque en la ciudad y visualizar qué se puede imaginar en el territorio dentro de 100 años. Como	

6	APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL A LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE INNOVACIÓN	Publication date: 2022 Source title: IE University, Escuela de Arquitectura y Diseño, España versión impresa : DOI https://doi.org/10.32995/rev180.Num-54.(2024).art-1325	AVAPAZ SCOPUS-DOCUMENT	Debido a sus características específicas, los proyectos de innovación se desarrollan en contextos de gran volatilidad, incertidumbre, complejidad e incluso ambigüedad. La gestión de proyectos ha tenido que adoptar cambios para asegurar el éxito en este tipo de	
---	---	--	------------------------	--	--

Fuente: Elaboración propia.

La investigación se desarrolló en tres fases principales:

1. Fase diagnóstica: se realizó un reconocimiento del área de estudio, identificando las principales características de la cobertura vegetal secundaria, como tipo de especies, densidad, estratificación y condiciones ambientales. Se efectuaron registros fotográficos y observaciones directas, los cuales sirvieron como base para el modelado digital.

Visita de reconocimiento e inspección del área del proyecto

Para el desarrollo de la primera etapa, se tiene en cuenta la identificación preliminar del área de intervención del proyecto, asociado a la cobertura vegetal adyacente al sendero peatonal del Instituto Universitario de la Paz. En la cual se realiza un recorrido de reconocimiento en la zona, verificando puntos estratégicos para la caracterización del entorno natural y toma de puntos con los equipos GPS en la zona.

Cabe resaltar que esta visita se realizó en acompañamiento de los docentes y estudiantes de la ingeniería informática y especialización en gestión ambiental un equipo interdisciplinario para el desarrollo y ejecución de este como se evidencia en las siguientes figuras.

Figura 2 Reconocimiento del área de intervención.



Fuente: Elaboración propia.

1. Fase de diseño y simulación: se elaboró el gemelo digital del ecosistema mediante herramientas de modelado y simulación, integrando información topográfica, fotográfica y ecológica. En esta etapa se reprodujeron variables como relieve, cobertura vegetal, iluminación natural y patrones de crecimiento, con el fin de generar un entorno virtual inmersivo que representara fielmente la dinámica ecológica del área.

Plan Piloto de Captura de Datos

Este plan piloto orientado a explorar la viabilidad técnica del levantamiento de información con diferentes dispositivos de captura digital se llevó a cabo en primera instancia, empleando la aplicación Matterport instalada en un dispositivo móvil. Para esta prueba se definieron 15 puntos de captura, ubicados a distancias variables entre 1 y 5 metros, con el fin de evaluar la capacidad de la aplicación para generar un modelo tridimensional continuo. Durante el proceso se identificaron fallas técnicas recurrentes en la app, relacionadas con interrupciones en el escaneo y dificultades en la fusión de las imágenes, lo cual afectó la coherencia del modelo preliminar.

De manera complementaria, se utilizó una cámara 3D, bajo el criterio de realizar tomas aproximadamente cada 1 metro de distancia. Sin embargo, este procedimiento resultó menos eficiente, ya que el número de capturas necesarias fue elevado y la cobertura del área se volvió dispendiosa en términos de tiempo y precisión.

El desarrollo de este plan piloto permitió evidenciar las limitaciones y ventajas de cada herramienta: mientras Matterport ofreció rapidez en la captura, pero con problemas de estabilidad, la cámara 3D aseguró mayor detalle local, aunque con una baja eficiencia operativa. Estos hallazgos constituyen la base para ajustar la estrategia de levantamiento de información en fases posteriores del proyecto

Figura 3 Prueba piloto Matterport



Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, en la siguiente figura se evidencia la observación del error de alineación del escaneo durante la puesta en marcha del plan piloto con la aplicación Matterport. Por tal motivo se procede a experimentar con otros métodos con el fin de optimizar el proceso y darle continuidad al proyecto de los gemelos digitales.

Figura 4 Error APP Matterport.



Fuente: Elaboración propia.

Caracterización y registro de puntos

Para el desarrollo de esta fase se tiene en cuenta el área de intervención definida y los equipos y dispositivos a utilizar para la toma de los puntos como cámaras 3D, trípode, iPhone 14 y la App Matterport. Asimismo, la medición dendrometría de las especies existente y la instalación cámaras foto trampa y trampas como Sherman y Tomahawk para la captura y registro de especie como parte de la caracterización de la zona y método de investigación durante la ejecución del proyecto.

Por consiguiente, se muestra la instalación de los equipos y dispositivos en campo para la captura de los puntos estratégico, de acuerdo con la ruta definida dentro del sendero en el entorno natural como base de la caracterización para el modelamiento en 3D del gemelo digital como se muestra a continuación en las Figura 5 y 6.

Figura 5 Toma de puntos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6 Instalación trampasy cámaras foto trampa.



Fuente: Elaboración propia.

Fase de aplicación y evaluación: el gemelo digital se implementó como recurso didáctico en actividades de aula y laboratorio. Los estudiantes interactuaron con el entorno simulado, analizaron los procesos ecológicos y respondieron una encuesta estructurada sobre la percepción, utilidad e impacto del recurso digital en su aprendizaje.

Procesamiento y análisis de la información

La información recolectada mediante las encuestas fue organizada y tabulada en hojas de cálculo digitales, aplicando estadística descriptiva para determinar las tendencias de respuesta. Se calcularon frecuencias, porcentajes y promedios para las variables evaluadas, y los resultados se representaron mediante gráficas de barras y sectores para facilitar su interpretación. De igual forma, se realizó un análisis cualitativo de las respuestas abiertas y observaciones de los estudiantes, a fin de identificar percepciones, ventajas y sugerencias respecto al uso del gemelo digital como herramienta educativa. La triangulación de los datos permitió obtener una visión integral del impacto pedagógico y ambiental del proyecto, integrando los hallazgos numéricos con las experiencias observadas durante las sesiones.

Cronograma

Se incluye el cronograma de actividades propuesto para la ejecución del proyecto, que se organiza en siete etapas principales ponderadas en un período de tres meses de ejecución. Cada etapa se integra con unas actividades concretas, las cuales van sirviendo para ir avanzando de manera secuencial en la metodología, desde la recogida de datos hasta la evaluación del modelo digital final.

Tabla 3 Cronograma de Actividades.

ETAPAS	ACTIVIDAD	MES 1	MES 2	MES 3
1. Identificación de Equipos, Herramientas y Plataformas	Selección de Dispositivos Idóneos	X		
2. Recopilación y Caracterización	Revisión y verificación de la información secundaria	X		
3. Captura de datos	Captura de imágenes aéreas con dron y entorno natural con Cámara 3D	X		
4. Procesamiento	Registro de datos en el software Matterport		X	
	Modelado 3D de vegetación y sendero		X	
5. Post procesamiento y análisis	Integración de atributos ecológicos en el modelo		X	
6. Diseño de espacio de aprendizaje	Socialización del prototipo en jornada de emprendimiento UNIPAZ			X
7. Evaluación y actualización.	Evaluación del impacto del modelo digital			X

Fuente: Elaboración propia.

Por consiguiente, a las actividades que se desarrollaran durante cada una de las fases o etapas del proyecto, se considera un cronograma estructurado para definir los alcances mensuales de las mismas y así poder obtener una trazabilidad consecuente de las actividades ejecutadas y por efectuar, por la cual en la siguiente tabla se muestra cada Ítem.

Presupuesto

Este presupuesto se elaboró teniendo como referencia los insumos, equipos y dispositivos empleados antes y durante del desarrollo del proyecto, en la cual se establece el valor unitario del alquiler por horas de trabajo de cada herramienta utilizada como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4 Presupuesto de equipos, herramientas y plataformas.

Categoría	Descripción	Valor estimado	Valor Alquiler X Día	Subtotal X Mes
Trípode Manfrotto	trípode de aluminio con cabeza 3 vías	\$ 1.999.900	\$ 30.000	\$ 900.000
cámara omnidireccional Insta360 X5	Cámara 360 de gama alta	\$ 2.260.000	\$ 120.000	\$ 3.600.000
iPhone 16 pro-MAX	Celular inteligente	\$ 4.800.000	\$ 150.000	\$ 4.500.000
Software Matterport	Plataforma que crea gemelos digitales en 3D	\$ 50.605	\$ 50.605	\$ 50.605
Power Bank	Cargador móvil	\$ 300.000	\$ 10.000	\$ 300.000
DRON DJI Air 3S	Aeronave no tripulada	\$ 8.561.900	\$ 350.000	\$ 10.500.000
Cámara Sensor RGB	Cámara 360°	\$ 10.970.000	\$ 500.000	\$ 15.000.000
MATTERPORT AXIS	Soporte con Sensor 360°	\$ 343.054	\$ 25.000	\$ 750.000
Total		\$ 29.285.459	\$ 1.235.605	\$ 37.068.150

Fuente: Elaboración propia.

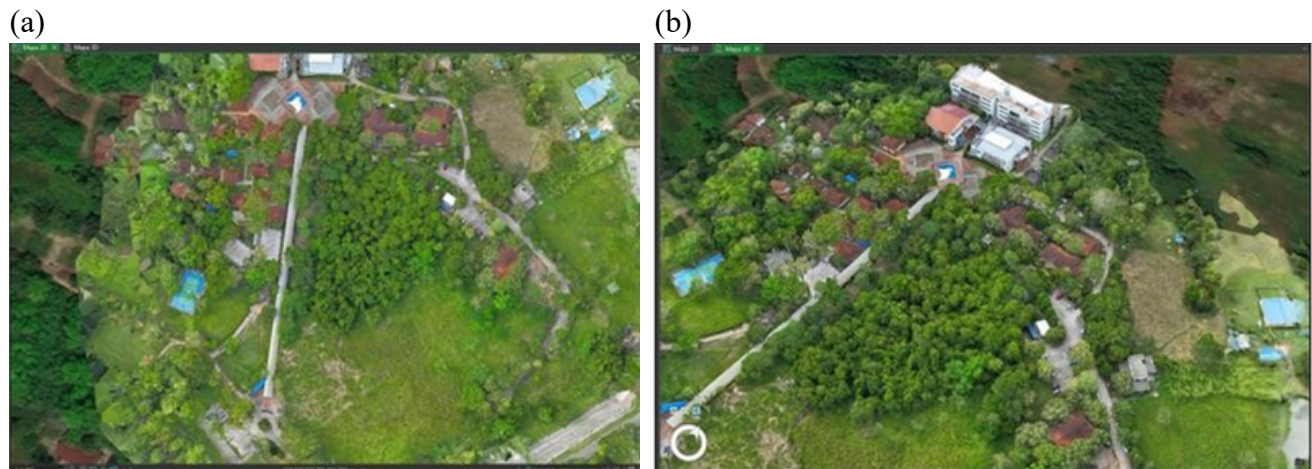
La Tabla tiene como propósito la adquisición de los recursos técnicos necesarios, teniendo en cuenta el valor económico del alquiler diario y mensual durante la ejecución del proyecto. Esto con el fin de realizar una acorde planificación del uso de la infraestructura tecnológica para la captura, procesamiento y análisis de la información del ecosistema como zona de estudio.

Por lo que el presupuesto consta de ocho categorías principales de equipos y herramientas, y cada categoría viene acompañada de una descripción técnica, con su valor estimado en pesos colombianos; del valor del alquiler por un día (en caso que se opte por usar el equipo durante un corto periodo); y finalmente un subtotal que indica el costo total por mes si todos los equipos se llegasen a utilizar al mismo tiempo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado inicial del Diseño de un espacio de aprendizaje mediante el desarrollo de un gemelo digital interactivo aplicado a la cobertura de vegetación secundaria adyacente al sendero peatonal del Instituto Universitario de la Paz, se realizó la fotogrametría del área de influencia del proyecto mediante vuelo de dron para la obtención de productos de imágenes en 3D Y 2D como se muestra a continuación

Figura 8. Imágenes en (a) 3D y (b) 2D tomadas a partir de vuelo dae Dron.

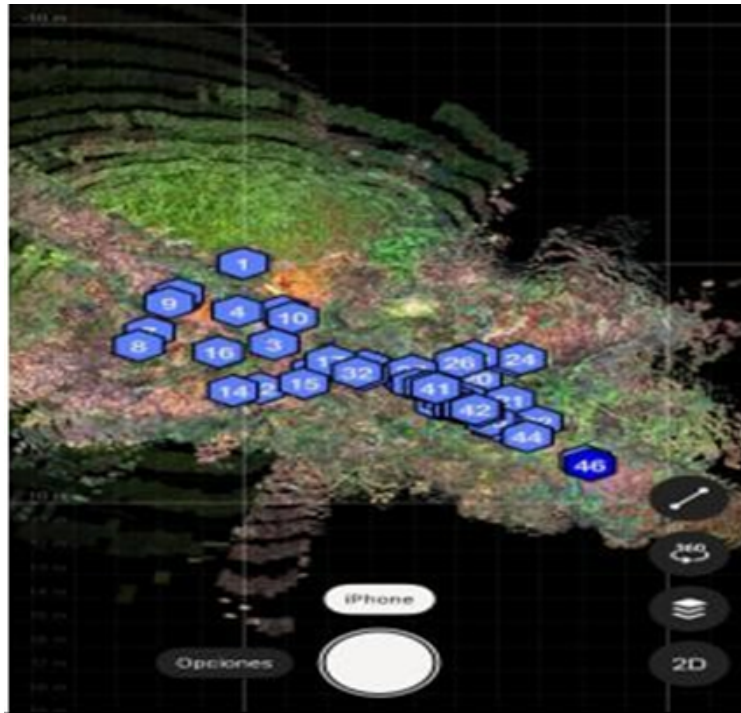


Fuente: Elaboración propia.

Esto con el fin de tener como referencia el área donde se va a desarrollar el proyecto en otras dimensiones y de esta manera mapear y visualizar coberturas, senderos etc. Asimismo, la forma en la que se va a intervenir la zona para la ejecución de este.

Por consiguiente, para la toma de los puntos en la vegetación secundaria adyacente al sendero peatonal, se realizaron cada 2,50 m esto con el fin de abarcar en su totalidad la cobertura vegetal y obtener mayor rendimiento con respecto a la distancia entre los puntos, escaneo y registro de estos en el Software Matterport. Cabe resaltar que para esta área se efectuaron alrededor de 46 puntos como se puede observar en la Figura 9.

Figura 9. Puntos registrados en Matterport.



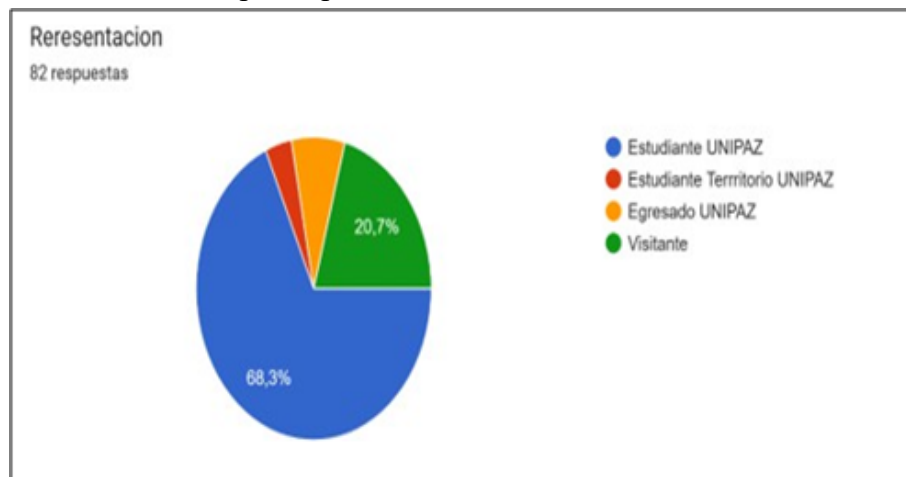
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los insumos obtenidos durante la captura de datos para el diseño del gemelo digital, se procede a desarrollar el modelo en 3D procesándolo en el software Matterport y posteriormente adicionando o agregando las etiquetas relacionadas con la taxonomía de las especies caracterizadas, datos meteorológicos como temperatura, Humedad, calidad de aire entre otros. Estos datos se procesan mediante inteligencia artificial y algoritmos para crear una réplica virtual dinámica del entorno, que permite supervisar en tiempo real, predecir escenarios, optimizar procesos y tomar decisiones informadas para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad ambiental.

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de las encuestas de valoración y la observación directa permitieron analizar la percepción, aceptación y efectividad del gemelo digital como estrategia de aprendizaje y herramienta de simulación ambiental en los estudiantes del programa de Ingeniería Ambiental del Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ).

De manera general, los participantes manifestaron una valoración positiva frente al uso de esta herramienta tecnológica, destacando su potencial para mejorar la comprensión de los procesos ecológicos y fortalecer la relación entre teoría y práctica. Los resultados también evidenciaron un aumento en la motivación estudiantil y un aprendizaje más dinámico, gracias a la posibilidad de interactuar con entornos digitales que simulan fenómenos reales.

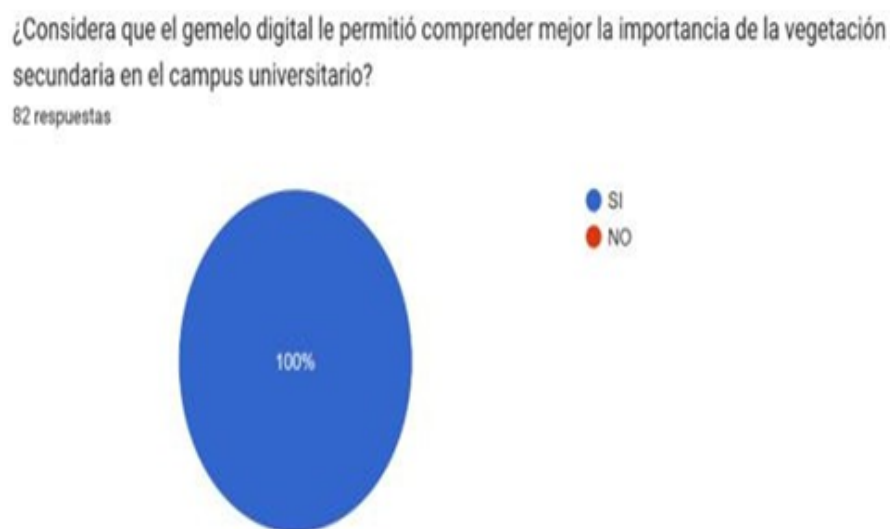
Figura 10. Representación de los participantes del estudio.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 10 muestra la representación de los participantes del estudio, en la que se evidencia que el 68,3 % corresponde a estudiantes de UNIPAZ, seguidos por un 20,7 % de egresados y un pequeño porcentaje de visitantes. Esta distribución revela que la población universitaria fue la principal beneficiaria del proyecto, lo que refuerza el propósito institucional de fortalecer el aprendizaje mediante experiencias innovadoras en el ámbito ambiental. En la Figura 11 se describe la comprensión ambiental mediante el gemelo digital, la cual permite experiencias inmersivas y accesibles, coherentes con los principios de sostenibilidad y educación inclusiva propuestos por UNESCO (2021).

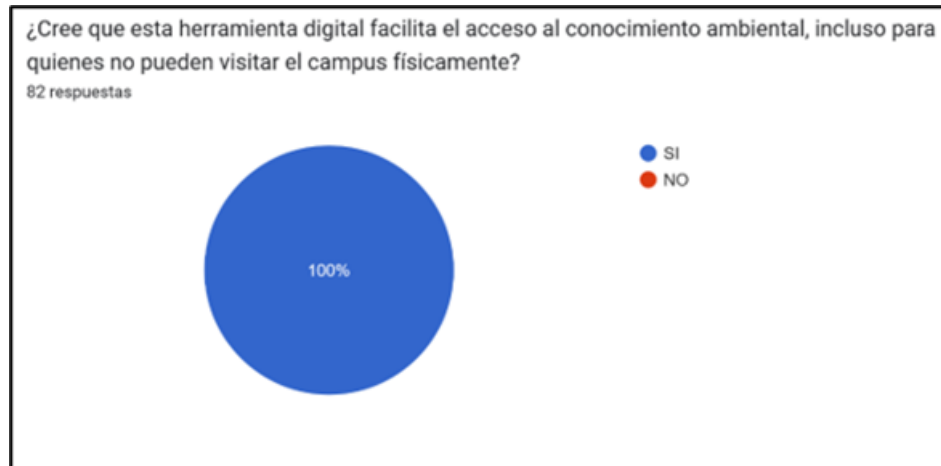
Figura 11. Comprensión ambiental mediante el gemelo digital.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 11, el 100 % de los encuestados afirmó que el uso del gemelo digital les permitió comprender mejor la importancia de la vegetación secundaria dentro del campus universitario. Este resultado demuestra la efectividad del modelo como herramienta didáctica, ya que posibilitó la visualización de la estructura del ecosistema, la identificación de especies y la observación de los procesos de sucesión ecológica en un entorno controlado.

Figura 12. Facilidad de acceso al conocimiento ambiental.



Fuente: Elaboración propia.

La figura 12 refleja que la totalidad de los participantes consideró que esta herramienta facilita el acceso al conocimiento ambiental, incluso para quienes no pueden visitar el campus físicamente.

Esto demuestra que el gemelo digital favorece la democratización del aprendizaje ambiental, al permitir experiencias inmersivas y accesibles, coherentes con los principios de sostenibilidad y educación inclusiva propuestos por UNESCO (2021).

Como se observa en la Figura 13, el 100 % de los estudiantes coincidió en que el gemelo digital resulta atractivo e innovador como espacio de aprendizaje en ecosistemas. La interacción con simulaciones tridimensionales permitió reforzar conceptos de ecología, vegetación y sostenibilidad de forma dinámica, integrando la teoría con la práctica. Estos resultados concuerdan con estudios como los de Liu et al. (2021) y Nguyen & Choi (2022), quienes destacan el valor de las tecnologías inmersivas para generar aprendizajes significativos en educación ambiental.

Figura 13. Atractivo e innovación pedagógica del gemelo digital.

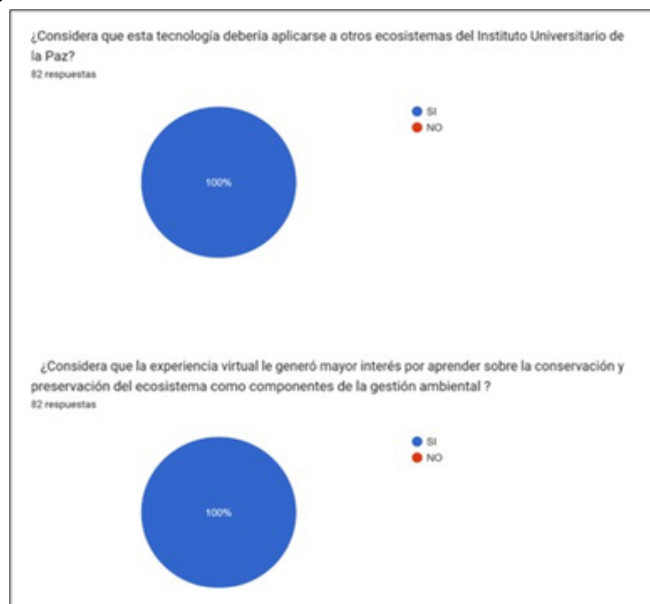


Fuente: Elaboración propia.

La Figura 14, muestra que el 100 % de los estudiantes considera que esta tecnología debería aplicarse a otros ecosistemas del Instituto Universitario de la Paz, y que la experiencia virtual generó mayor interés por la conservación ambiental.

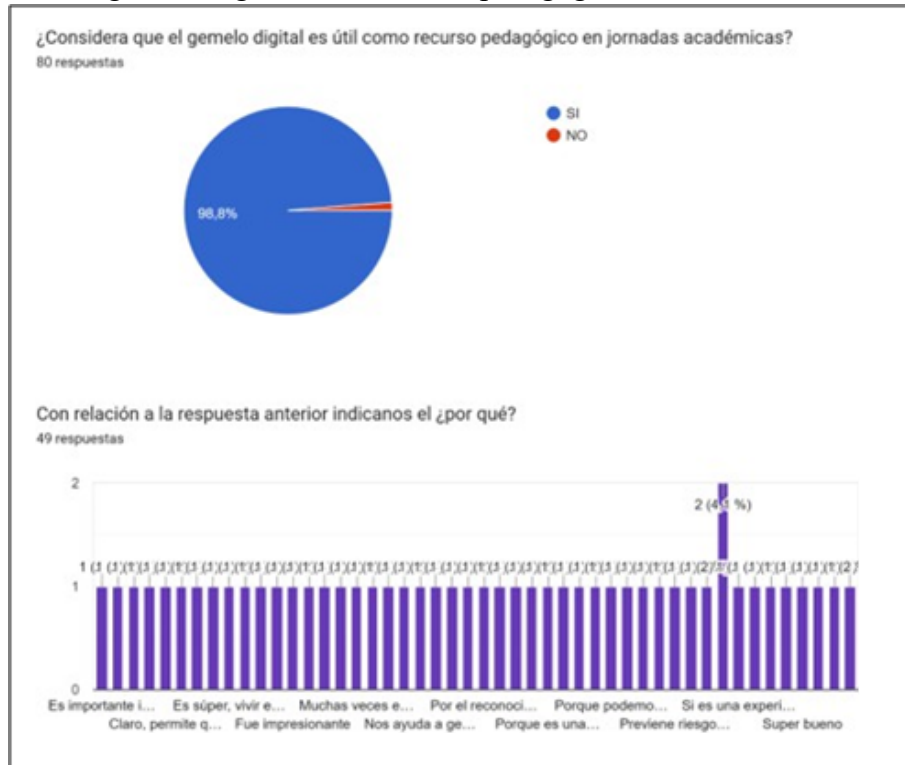
Esto evidencia que el gemelo digital no solo promueve el aprendizaje, sino también la conciencia ecológica y la participación activa en la gestión ambiental, al permitir visualizar de forma concreta la importancia de la preservación de los ecosistemas.

Figura 14 Aplicabilidad y motivación ambiental.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Utilidad del gemelo digital como recurso pedagógico.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 15, evidencia que el 98,8 % de los participantes considera el gemelo digital útil como recurso pedagógico en jornadas académicas. Los comentarios cualitativos refuerzan este hallazgo, destacando frases como “permite vivir la ecología de manera interactiva”, “facilita la comprensión de procesos complejos” y “favorece el trabajo colaborativo”.

Estos resultados coinciden con investigaciones de Soto et al. (2022), quienes señalan que las herramientas digitales inmersivas fortalecen la motivación y el aprendizaje autónomo en contextos universitarios.

Los resultados demuestran que el gemelo digital constituye una estrategia pedagógica efectiva que combina la enseñanza teórica con la práctica virtual, logrando un alto nivel de aceptación entre los estudiantes.

Su uso favorece la comprensión de los procesos ecológicos, el desarrollo de competencias tecnológicas y el fortalecimiento del pensamiento ambiental crítico.

En términos institucionales, el proyecto aporta una metodología replicable en otros escenarios de aprendizaje, especialmente en programas relacionados con el medio ambiente, la ingeniería y la sostenibilidad.

El enfoque experiencial, sustentado en la teoría del aprendizaje activo (Kolb, 1984), permitió a los estudiantes construir conocimiento a partir de la observación, experimentación y reflexión, integrando los contenidos académicos con la conciencia ecológica.

CONCLUSIONES

El desarrollo del proyecto “Gemelo Digital como estrategia de aprendizaje en una cobertura de vegetación secundaria en el Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ)” permitió comprobar que la incorporación de herramientas tecnológicas de simulación constituye un recurso pedagógico altamente efectivo para la enseñanza de la ecología y la gestión ambiental.

La implementación del gemelo digital facilitó la visualización de procesos ecológicos complejos, fortaleciendo la comprensión de los conceptos de sucesión vegetal, restauración ecológica y dinámica de los ecosistemas. Los estudiantes manifestaron un alto grado de satisfacción y motivación frente a la estrategia, destacando su potencial para relacionar la teoría con la práctica y fomentar el pensamiento crítico frente a los desafíos ambientales contemporáneos.

Desde una perspectiva pedagógica, el gemelo digital demostró ser una herramienta que promueve el aprendizaje activo, la autonomía estudiantil y el trabajo colaborativo, elementos fundamentales en los modelos educativos basados en competencias. Su utilización favoreció además el desarrollo de habilidades tecnológicas aplicadas a la sostenibilidad y a la comprensión integral de los sistemas naturales.

En el ámbito ambiental, la experiencia evidenció que el modelado digital de una cobertura vegetal secundaria puede contribuir al diseño de estrategias de gestión y restauración ecológica, al permitir el análisis de escenarios virtuales antes de ejecutar acciones reales.

Finalmente, se recomienda continuar con el uso y perfeccionamiento de esta herramienta en otros contextos académicos, ampliar su alcance a diferentes programas de formación y fortalecer su integración con otras tecnologías emergentes, como la realidad aumentada y la inteligencia artificial, para optimizar los procesos de enseñanza-aprendizaje en educación ambiental.

REFERENCIA

Esri. (2024). ArcGIS Pro (Versión 3.3) [Software]. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>

Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice-Hall.

Liu, H., Zhang, Y., y Chen, P. (2021). Aplicaciones de gemelos digitales en la educación ambiental y el aprendizaje sostenible. *International Journal of Educational Technology*, 18(2), 115–128. <https://doi.org/10.1016/ijet.2021.18.2>

Nguyen, V., y Choi, J. (2022). Herramientas de simulación digital para el aprendizaje de la sostenibilidad en la educación superior. *Environmental Education Research*, 28(5), 663–678. <https://doi.org/10.1080/13504622.2022.28.5>

Soto, A., Benítez, P., y Herrera, J. (2022). Tecnologías inmersivas y aprendizaje ecológico: Una revisión aplicada. *Revista de Innovación Educativa y Ambiental*, 7(1), 22–38.

UNESCO. (2021). *Reimaginar juntos nuestros futuros: Un nuevo contrato social para la educación*. UNESCO.

CAPITULO IV

DISEÑO DE UN ENTORNO DIGITAL DE APRENDIZAJE INTERACTIVO BASADO EN GEMELOS DIGITALES DE ECOSISTEMAS FORESTALES DEL INSTITUTO UNIVERSITARIO DE LA PAZ.

DESIGN OF AN INTERACTIVE DIGITAL LEARNING ENVIRONMENT BASED ON DIGITAL TWINS OF FOREST ECOSYSTEMS AT THE INSTITUTO UNIVERSITARIO DE LA PAZ

EDUARD OROZCOPÉREZ

eduard.perez@unipaz.edu.co

JUAN SEBASTIAN GALLARDO NIÑO

juan.gallardo@unipaz.edu.co

Resumen El proyecto titulado “Diseño de un entorno digital de aprendizaje interactivo basado en gemelos digitales de ecosistemas forestales del Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ)” propone la creación de un espacio virtual educativo sustentado en tecnologías inmersivas y de modelado 3D. Su objetivo principales diseñar un gemelo digital que represente los ecosistemas naturales del campus Santa Lucía, permitiendo fortalecer la educación ambiental y las competencias digitales de los estudiantes. La investigación, de enfoque mixto, integró técnicas de teledetección con sensores LiDAR, cámaras 3D y UAVs para capturar y procesar información ecológica, posteriormente modelada mediante el software Matterport v5.1.10. El resultado fue un entorno digital interactivo que permitiera recorridos virtuales, acceso a metadatos ecológicos y simulaciones educativas. Los resultados evidenciaron una alta aceptación institucional (100 % de los participantes valoraron positivamente su utilidad pedagógica), destacando su potencial para mejorar la comprensión ecológica y facilitar el acceso al conocimiento ambiental. El proyecto posiciona a UNIPAZ como referente en innovación tecnológica aplicada a la gestión ambiental, con posibilidades de expansión hacia otros ecosistemas del campus.

Palabras claves: Gemelos digitales, educación ambiental, realidad mixta, ecosistemas forestales, gestión ambiental, UNIPAZ.

Abstract: The project, titled “Design of an Interactive Digital Learning Environment Based on Digital Twins of Forest Ecosystems at the University Institute for Peace (UNIPAZ),” proposes the creation of a virtual learning space supported by immersive technologies and 3D modeling. Its main objective is to design a digital twin that represents the natural ecosystems of the Santa Lucía campus, thereby strengthening environmental education and students' digital skills.

The mixed-methods research integrated remote sensing techniques with LiDAR sensors, 3D cameras, and UAVs to capture and process ecological information, which was subsequently modeled using Matterport v5.1.10 software. The result was an interactive digital environment that allows for virtual tours, access to ecological metadata, and educational simulations. The results demonstrated high institutional acceptance (100% of participants positively valued its pedagogical usefulness), highlighting its potential to improve ecological understanding and democratize access to environmental knowledge.

The project positions UNIPAZ as a benchmark in technological innovation applied to environmental management, with possibilities of expansion to other ecosystems on campus.

Key words: Digital twins, environmental education, mixed reality, forest ecosystems, environmental management, UNIPAZ.

INTRODUCCIÓN

Las nuevas herramientas digitales han transformado la educación ambiental, ampliando las posibilidades pedagógicas para representar, analizar y gestionar ecosistemas de manera más eficiente e interactiva (Arango et al., 2022; González et al., 2022). En este contexto, los gemelos digitales se han posicionado como una innovación tecnológica clave, al constituir representaciones virtuales dinámicas de sistemas físicos que integran datos en tiempo real, modelos predictivos y herramientas de simulación para el seguimiento ambiental (Arias Rodríguez, 2021; Fuller et al., 2020; Liu et al., 2024; Potapov et al., 2023; Tao et al., 2019). Estas tecnologías permiten no solo la observación remota de los ecosistemas, sino también la evaluación de escenarios de cambio y la toma de decisiones informadas en procesos de gestión ambiental sostenible (Ahn et al., 2020; Quiroz Parra, 2024; Zhou et al., 2023).

En regiones de alta sensibilidad ecológica, como el Magdalena Medio colombiano, los ecosistemas forestales experimentan procesos de fragmentación, degradación y presión antrópica. En este contexto, el Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ) cuenta con relictos de bosque primario, secundario y áreas de cultivo forestal de caucho, que representan espacios estratégicos para la docencia, la investigación y la conservación. Sin embargo, su fragilidad ecológica y las limitaciones logísticas de acceso restringen su uso directo en los procesos formativos.

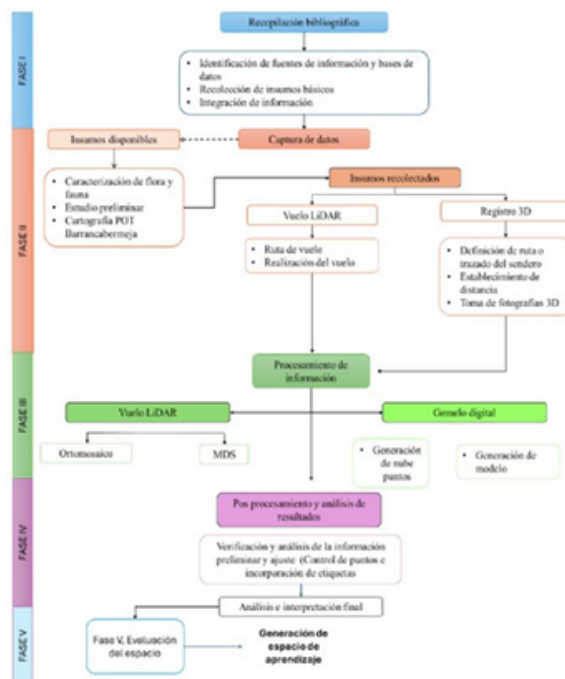
Ante este panorama, la aplicación de gemelos digitales y tecnologías inmersivas se presenta como una herramienta de gestión ambiental educativa, capaz de integrar simulación, monitoreo y aprendizaje en entornos virtuales controlados (Ribeiro et al., 2023; Siemens et al., 2020). Estas tecnologías facilitan la comprensión de las dinámicas ecológicas y de los procesos de toma de decisiones ambientales, fortaleciendo las competencias en sostenibilidad, manejo de recursos naturales y planeación ambiental (Tao et al., 2023).

Por esto, la integración de herramientas como la realidad mixta y los gemelos digitales se plantea como una alternativa estratégica para potenciar la comprensión de estos ecosistemas (Castro et al., 2021; González-González et al., 2021). Este proyecto propone el diseño de un espacio de aprendizaje interactivo que permita modelar digitalmente dichos ambientes naturales, con el fin de fortalecer las competencias de los estudiantes en temas relacionados con la gestión ambiental, los recursos forestales y la sostenibilidad.

MÉTODOS

En coherencia con lo planteado por Liu et al. (2024) y Zhou et al. (2023), el proyecto combina la recopilación sistemática de datos empíricos con la modelación digital basada en gemelos digitales (Hernández et al., 2014), integrando ciencia de datos, gestión ambiental y pedagogía digital para generar una solución innovadora y sostenible en el ámbito educativo de UNIPAZ.

Figura 1 Esquema metodológico general

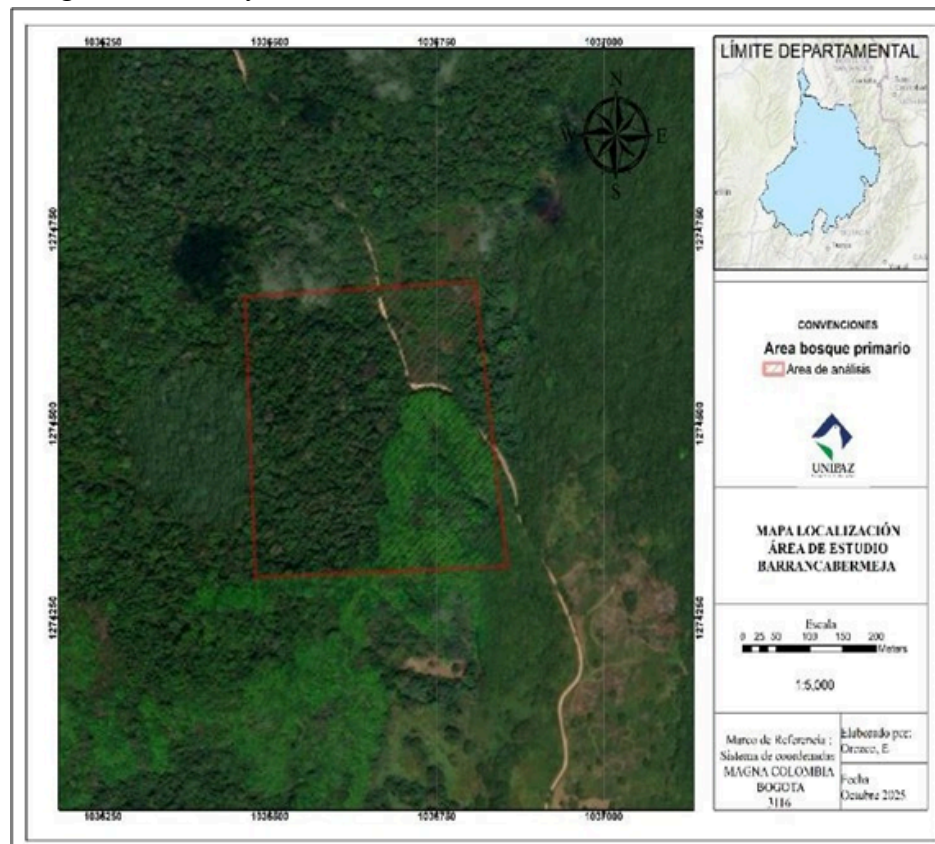


Fuente: Elaboración propia..

Definición Área de estudio

El área piloto seleccionada para el desarrollo de la investigación se localiza dentro del Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ), en el municipio de Barrancabermeja, departamento de Santander, Colombia. Este lugar de estudio corresponde a una cobertura de vegetación primaria adyacente a una plantación forestal, lo que permite realizar comparaciones y análisis sobre los cambios y diferencias en las coberturas. Adicionalmente, en esta zona se encuentra una especie endémica de Barrancabermeja, la cual constituye un objeto principal de estudio y un recurso de alto valor para procesos académicos y de enseñanza. Ver Figura 2

Figura.2 Localización general del Proyecto



Fuente: Autores

La metodología desarrollada para la investigación comprendió 5 etapas articuladas entre sí. En etapa 1, se realizó una revisión bibliográfica y documental con el fin de identificar antecedentes, enfoques teóricos, herramientas tecnológicas y estudios similares que permitieran fundamentar el proyecto. En etapa 2, se llevó a cabo la captura de datos en campo y mediante fuentes secundarias, recolectando información relevante del área de estudio.

Por esto, la integración de herramientas como la realidad mixta y los gemelos digitales se plantea como una alternativa estratégica para potenciar la comprensión de estos ecosistemas. Este proyecto propone el diseño de un espacio de aprendizaje interactivo que permita modelar digitalmente dichos ambientes naturales, con el fin de fortalecer las competencias de los estudiantes en temas relacionados con la gestión ambiental, los recursos forestales y la sostenibilidad.

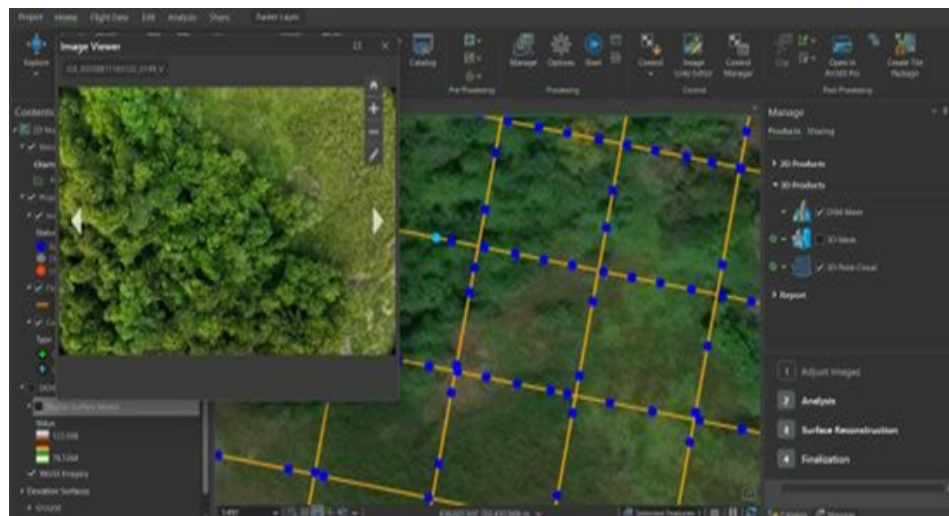
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del levantamiento de información

El proceso de captura de datos se ejecutó mediante UAVs equipados con sensores LiDAR y cámaras 3D (Applied Remote Sensing Training Program, s. f.; Hollenbeck y Chen, 2022; Pacheco Prado, 2017; Zamora-Martínez, 2017), complementado con un levantamiento terrestre de alta precisión.

Este procedimiento permitió generar una base de datos geoespacial robusta, con información morfométrica, estructural y ecológica de los elementos naturales presentes en el área (De Sevilla et al., 2008; Tomé Morán et al., 2013). La metodología aplicada aseguró la integridad y fiabilidad de los datos, permitiendo posteriormente su integración en el entorno digital Matterport v5.1.10, herramienta seleccionada por su capacidad de procesar nubes de puntos y generar modelos inmersivos de alta fidelidad (Matterport Inc., 2023).

Figura. 3 Levantamiento de información vuelo de Dron



Fuente: Elaboración propia.

Procesamiento y construcción del gemelo digital

Durante la etapa de procesamiento, los escaneos capturados fueron convertidos en nubes de puntos tridimensionales (Point Clouds), los cuales se ensamblaron y alinearon espacialmente para construir un modelo coherente y continuo. A partir de esta información se generaron Modelos Digitales de Superficie (DSM) y Modelos Digitales del Terreno (DTM), representando tanto la topografía como la estructura de la vegetación (De Sevilla et al., 2008; Tomé Morán et al., 2013).

El resultado fue un modelo tridimensional de mediana resolución, que refleja fielmente las condiciones físicas y ecológicas del ecosistema forestal. Este modelo constituye la base estructural del gemelo digital, el cual permite visualizar, analizar y simular procesos ambientales de manera interactiva (Döllner et al., 2023; Meyer et al., 2023), constituyéndose en una herramienta de apoyo para la gestión ambiental y la docencia universitaria.

Figura.4 Procesamiento imágenes3D

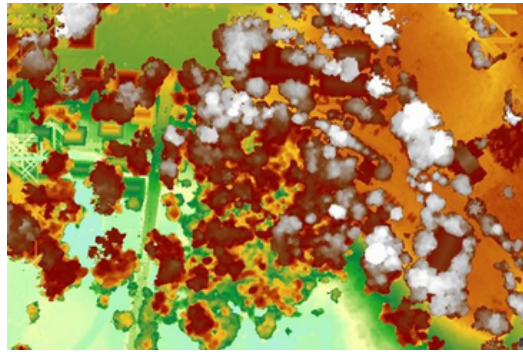


Fuente: Elaboración propia.

Postprocesamiento y validación

En esta fase se efectuaron ajustes y limpieza de los datos, eliminando redundancias, errores geométricos y ruido derivado de la densidad vegetal. Se desarrollaron simulaciones piloto dentro del entorno Matterport para verificar la correspondencia espacial entre el modelo digital y la realidad observada en campo.

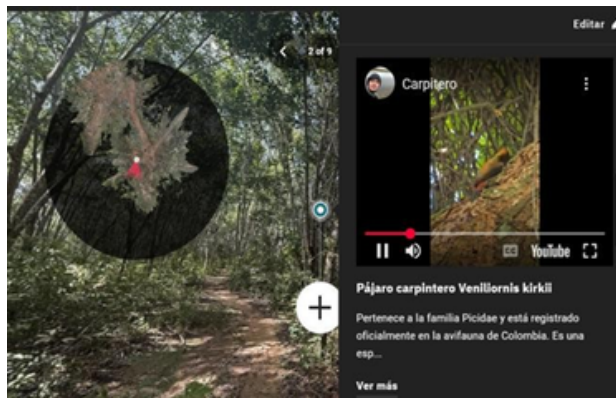
Figura.5 Generación de MDS



Fuente: Elaboracion propia.

El proceso de validación permitió confirmar la alta coherencia del gemelo digital en términos de escala, precisión y continuidad visual, lo que garantiza su confiabilidad como herramienta académica. Asimismo, se integraron metadatos interactivos (etiquetas, hipervínculos, fichas técnicas e información ecológica) que enriquecen la experiencia educativa y permiten al usuario acceder a información detallada sobre especies, tipos de cobertura y suelos (Matterport Inc., 2023).

Figura.6 Integración de metadatos interactivos tipo video



Fuente: Elaboración propia.

Diseño del entorno de aprendizaje interactivo

El entorno de aprendizaje fue diseñado con base en el gemelo digital generado, incorporando recorridos virtuales inmersivos, capas temáticas ambientales y simulaciones ecológicas que permiten comprender dinámicas del ecosistema, como la sucesión vegetal y la interacción biótica-abiótica.

El diseño responde a los principios de la pedagogía activa, fomentando el aprendizaje experiencial y la participación del estudiante en procesos de observación, análisis y toma de decisiones ambientales (Ribeiro et al., 2023; Siemens et al., 2020; Tao et al., 2023). Este entorno se articula directamente con los programas de Ingeniería Ambiental, Ciencias Naturales y Gestión de Recursos Naturales, contribuyendo a la formación de competencias digitales aplicadas a la sostenibilidad (González et al., 2022).

Figura.7 Entorno digital de aprendizaje



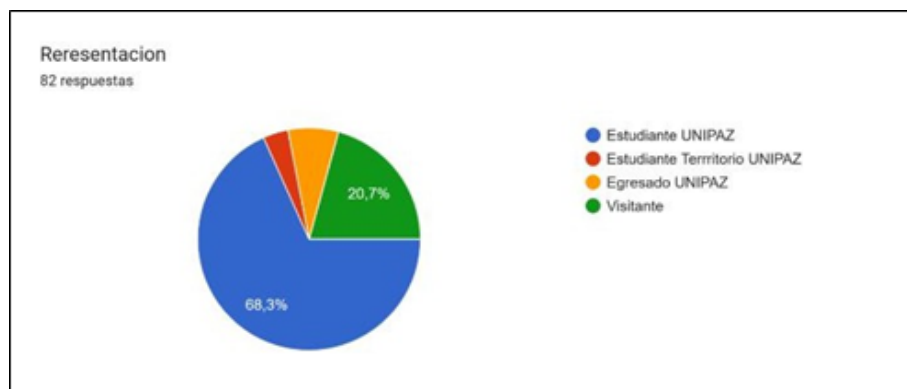
Fuente: Elaboración propia.

Evaluación del impacto educativo

Los resultados de la encuesta aplicada a 82 participantes entre estudiantes y docentes de UNIPAZ demuestran una valoración altamente positiva del gemelo digital:

La jornada de divulgación contó con la participación de 82 asistentes, de los cuales el 68,3 % perteneció a la comunidad académica de UNIPAZ y el 20,7 % a visitantes de instituciones

Figura 1. Distribución de participantes.

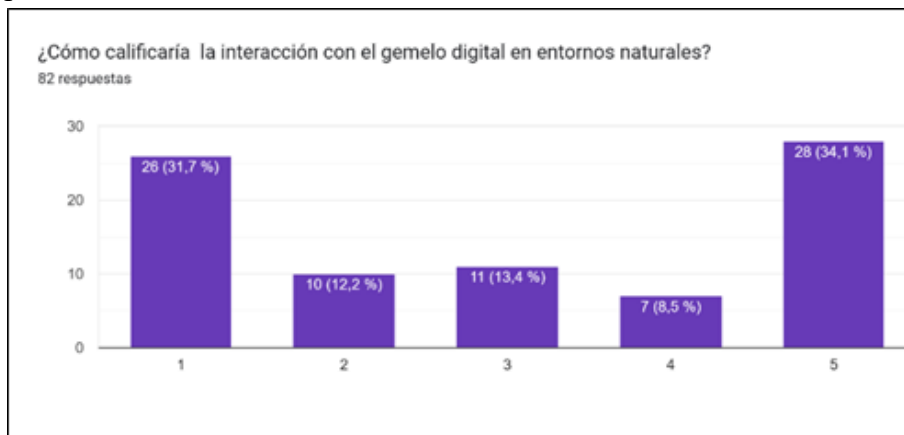


Fuente: Elaboración propia.

De igual manera las preguntas de comprensión del gemelo, acceso al conocimiento, innovación y aplicabilidad tuvieron un 100% de favorabilidad.

Para el resultado de interacción podemos observar que los dos grupos más representativos son la calificación de 1 baja y la 5 alta, esto se presenta como una oportunidad de mejora para la retroalimentación y mejoramiento del espacio.

Figura 2. Percepción de interacción.



Fuente: Elaboración propia.

Estos datos confirman que el gemelo digital genera impactos significativos en la percepción ambiental, la comprensión ecológica y la apropiación tecnológica. Además, promueve un aprendizaje contextualizado y sostenible, en concordancia con los postulados de Tao et al. (2023) y Ribeiro et al. (2023) sobre la efectividad de los entornos digitales inmersivos en la educación ambiental.

Actividades de promoción y sensibilización

El proyecto fue socializado durante la Semana Universitaria y la XII Jornada de Emprendimiento y Proyección Social de UNIPAZ, donde se realizaron demostraciones interactivas y talleres participativos. Estas actividades permitieron promover el uso del gemelo digital como herramienta de sensibilización y formación, fortaleciendo la cultura ambiental institucional.

El alto nivel de participación y el interés manifestado por las facultades consolidan la viabilidad del gemelo digital como plataforma transversal de enseñanza, investigación y gestión ambiental universitaria.

Relevancia para la gestión ambiental

El gemelo digital desarrollado trasciende su función pedagógica al convertirse en una herramienta estratégica para la gestión ambiental universitaria. Su potencial para monitorear ecosistemas, planificar acciones de conservación y evaluar cambios en la cobertura vegetal (Environmental Monitoring and Assessment, 2025; Fantin et al., 2022; Potapov et al., 2023) lo posiciona como un instrumento de apoyo técnico y científico en la toma de decisiones ambientales (Quiroz Parra, 2024).

Además, el modelo puede actualizarse periódicamente con nuevos datos, garantizando su vigencia y sostenibilidad tecnológica.

CONCLUSIONES

El desarrollo del entorno digital de aprendizaje basado en gemelos digitales de los ecosistemas forestales del Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ) constituye un aporte significativo a la innovación educativa y a la gestión ambiental aplicada. La integración de tecnologías de escaneo 3D, sensores LiDAR y modelado interactivo permitió construir una representación virtual precisa del bosque secundario y de la plantación de caucho, convirtiéndolos en recursos didácticos de alto valor para la formación ambiental universitaria.

Los resultados demostraron que el gemelo digital facilita la comprensión de procesos ecológicos complejos, al ofrecer una experiencia inmersiva que promueve el aprendizaje experiencial, el análisis crítico y la apropiación del conocimiento sobre la estructura y dinámica de los ecosistemas. La aceptación unánime por parte de los participantes (100 %) confirma su efectividad como herramienta de apoyo pedagógico y su potencial para fortalecer la educación ambiental inclusiva y sostenible.

Desde la perspectiva institucional, el proyecto posiciona a UNIPAZ como una institución pionera en la implementación de tecnologías emergentes orientadas a la docencia, la investigación y la gestión ambiental. Además, el modelo propuesto se perfila como una plataforma versátil, capaz de integrarse en distintos programas académicos y de extenderse a nuevos ecosistemas del campus o del territorio regional, promoviendo una educación ambiental basada en datos, innovación y sostenibilidad.

En términos de gestión ambiental, el gemelo digital se consolida como una herramienta estratégica para el monitoreo y la planificación de acciones de conservación, al posibilitar el análisis espacial y temporal de la cobertura vegetal sin generar impacto directo sobre el ecosistema. De esta forma, el proyecto contribuye tanto al fortalecimiento de las competencias digitales en la educación superior

REFERENCIA

Ahn, E. Y., Lee, J., Bae, J., y Kim, J. M. (2020). Analysis of emerging geo-technologies and markets focusing on digital twin and environmental monitoring in response to digital and green new deal. *Economic and Environmental Geology*, 53(5), 609–617. <https://doi.org/10.9719/EEG.2020.53.5.609>

Applied Remote Sensing Training Program. (s. f.). NASA Applied Sciences. <https://appliedsciences.nasa.gov/what-we-do/capacity-building/arset>

Arango, D., Mendoza, J., y Velásquez, L. (2022). Tecnologías inmersivas en la enseñanza ambiental: Oportunidades y desafíos. *Revista de Educación y Tecnología Ambiental*, 18(2), 45–60.

Arias Rodríguez, L. (2021). Arquitectura de infraestructura con gemelos digitales para el Puerto de Buenaventura. Universidad de los Andes. <http://hdl.handle.net/1992/53577>

Castro, M., Ramírez, A., y Herrera, C. (2021). Aplicaciones de la realidad aumentada en educación ambiental: Revisión de experiencias en América Latina. *Ambiente y Desarrollo*, 25(1), 85–97.

De Sevilla, T. F., Gómez, A., Arjonilla, F., Martínez, R., y Magdaleno Mas, F. (2008). Metodología para la caracterización de formaciones de vegetación de ribera y su morfología fluvial asociada utilizando datos LiDAR e imágenes digitales de alta resolución. *Topografía y Cartografía*, 25(147), 24–29. <http://oa.upm.es/38098/>

Döllner, J., De Amicis, R., Burmeister, J. M., y Richter, R. (2023). Forests in the digital age: Concepts and technologies for designing and deploying forest digital twins. En *Proceedings - Web3D 2023: 28th International Conference on Web3D Technology*. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3611314.3616067>

Environmental Monitoring and Assessment. (2025). Digital twin comprehensive models: A study of ancient tree ecological environment quality assessment based on a cyber-physical system. *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s10661-025-13923-9>

Fantin, M., Pedrassoli, J. C., Malheiros de Melo, B., Paixão Menezes, G., y Martines, M. R. (2022). Inteligência geográfica na construção de políticas públicas: Rumo à plataforma de monitoramento de áreas verdes urbanas do Estado de São Paulo. *Interações*, 23(3), 7–13. <https://doi.org/10.20435/inter.v23i3.3533>

Fuller, A., Fan, Z., Day, C., y Barlow, C. (2020). Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research. *IEEE Access*, 8, 108952–108971. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358>

González, L., Pacheco, J., y Duarte, M. (2022). Educación ambiental y transformación digital: Retos para la sostenibilidad en América Latina. *Revista Ambiente y Educación*, 20(2), 35–50.

González-González, C., Camacho, L., y Pérez, M. (2021). Limitaciones y posibilidades del uso de tecnologías digitales en la educación ambiental en Colombia. *Educación y Ambiente*, 16(1), 12–25.

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill.

Hollenbeck, D., y Chen, Y. Q. (2022). A digital twin framework for environmental sensing with sUAS. *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications*, 105(1). <https://doi.org/10.1007/s10846-021-01542-8>

Liu, X., Zhang, Y., y Zhao, F. (2024). Digital twins for environmental management: A systematic review of frameworks and applications. *Journal of Cleaner Production*, 442, Artículo 141295.

Matterport Inc. (2023). Matterport platform overview: 3D digital twins for industry and education. <https://matterport.com>

Meyer, L., Gilson, A., Uhrmann, F., Weule, M., Keil, F., Haunschild, B., y Scholz, O. (2023). For5G: Systematic approach for creating digital twins of cherry orchards. *Lecture Notes in Informatics (LNI), Proceedings - Series of the Gesellschaft für Informatik (GI)*, P-330, 411–416.

Pacheco Prado, D. (2017). UAVs in urban spaces: Study case in parks, gardens and built heritage of Cuenca. *Estoa*, 6(11), 159–168. <https://doi.org/10.18537/est.v006.n011.a12>

Potapov, V. P., Popov, S. E., y Stchastlivtsev, E. L. (2023). Digital twins: Strategies and approaches to creating environmental monitoring systems. *Computational Technologies*, 28(3), 167–181.

Quiroz Parra, A. (2024). Utilidad de los gemelos digitales para el monitoreo, evaluación y seguimiento ambiental guiado. *Instituto Universitario de la Paz*.

Ribeiro, J., Costa, R., y Moura, P. (2023). Integrating immersive technologies in environmental education: Opportunities for sustainability and resilience. *Sustainability*, 15(7), Artículo 6292.

Siemens, M., Tao, F., y Qi, Q. (2020). Applications of digital twin technology in education and research. *Smart Learning Environments*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s40561-020-00118-7>

Tao, F., Qi, Q., Liu, A., y Zhang, M. (2023). Digital twin-driven smart education: A new paradigm for sustainability learning. *Computers & Education*, 205, Artículo 104884.

Tao, F., Zhang, H., Liu, A., y Nee, A. (2019). Digital twin in industry: State-of-the-art. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(4), 2405–2415.

Tomé Morán, J. L., Sanjuanbenito García, P., y Fernández Landa, A. (2013). Cartografía de vegetación de la Comunidad de Madrid utilizando información LiDAR del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). En 6.º Congreso Forestal Español (pp. 1–14).

Zamora-Martínez, M. C. (2017). La tecnología LiDAR, herramienta útil para el estudio de la biodiversidad. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(39), 4–6.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-11322017000100004

Zhou, J., Chen, D., y Wang, Q. (2023). Digital twin-based environmental management for sustainability transitions. *Environmental Modelling & Software*, 167.

CAPITULO V

GESTIÓN AMBIENTAL PARA EL CONTROL DE GRASAS Y ACEITES EN EL SECTOR GASTRONÓMICO.

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT FOR THE CONTROL OF FATS AND OILS IN THE GASTRONOMIC SECTOR.

Johan Albeiro Peralta Pérez Estudiante de especialización en gestión ambiental.

johan.peraltaper@unipaz.edu.co

Karen Johanna Machuca Dita Estudiante de especialización en gestión ambiental.

Karen.machucadit@unipaz.edu.co

Resumen: La contaminación generada por los vertimientos de grasas y aceites usados (GAO) provenientes del sector gastronómico constituye una problemática ambiental de creciente preocupación en los entornos urbanos. Este estudio tuvo como objetivo diseñar un Plan de Gestión Ambiental (PGA) orientado al control de vertimientos grasos en los establecimientos gastronómicos del Distrito de Barrancabermeja, con un enfoque socioeducativo que promueva la participación, la corresponsabilidad y la formación ambiental de los actores involucrados.

Se aplicó una metodología mixta de tipo descriptivo y aplicado, basada en observación directa, encuestas, entrevistas semiestructuradas y análisis documental. Los resultados evidenciaron deficiencias en el manejo de GAO, desconocimiento de la normativa ambiental vigente y escasa conciencia ambiental del personal operativo. A partir de este diagnóstico se formuló un PGA estructurado en cuatro ejes: prevención en la fuente, gestión diferenciada, educación ambiental y seguimiento participativo. Se concluye que la educación ambiental y la participación social son factores determinantes para lograr la sostenibilidad en la gestión de GAO, fortaleciendo la cultura ambiental en el sector gastronómico y contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 6, 12 y 13.

Palabras claves: gestión ambiental, educación ambiental, sostenibilidad, grasas y aceites usados, vertimientos, Barrancabermeja.

Abstract: The pollution caused by discharges of used fats and oils (UFO) from the gastronomic sector represents an environmental issue of increasing concern in urban areas. This study aimed to design an Environmental Management Plan (EMP) focused on controlling greasy discharges from restaurants in Barrancabermeja District, adopting a socio-educational approach that fosters participation, shared responsibility, and environmental awareness among stakeholders.

A mixed descriptive-applied methodology was implemented, combining direct observation, surveys, semi-structured interviews, and documentary analysis. Results revealed deficiencies in the management of UFO, limited knowledge of environmental regulations, and a lack of environmental awareness among restaurant workers. Based on this diagnosis, an EMP was formulated around four strategic axes: source prevention, differentiated management, environmental education, and participatory monitoring. The study concludes that environmental education and social participation are key to achieving sustainability in the management of used fats and oils, strengthening environmental culture within the gastronomic sector, and contributing to the fulfillment of Sustainable Development Goals (SDGs) 6, 12, and 13.

Keywords: environmental management, environmental education, sustainability, used cooking oils, wastewater, Barrancabermeja.

INTRODUCCIÓN

El manejo inadecuado de grasas y aceites usados (GAO) provenientes de establecimientos gastronómicos representa un riesgo ambiental significativo en las ciudades intermedias de Colombia. Estos residuos, generados durante las actividades de fritura y cocción, son comúnmente vertidos al sistema de alcantarillado sin tratamiento previo, ocasionando taponamientos, malos olores, y contaminación de los cuerpos hídricos urbanos (Mendoza et al., 2020). En el caso del Distrito de Barrancabermeja, esta situación se agrava por la ausencia de políticas locales específicas, la limitada capacidad institucional de control y la escasa cultura ambiental de los actores del sector gastronómico.

Diversas investigaciones han demostrado que los vertimientos grasos contribuyen a la degradación de los ecosistemas acuáticos, reducen la oxigenación del agua y afectan la fauna acuática (Suárez et al., 2018; Torres y Gómez, 2022). Desde un enfoque socioambiental, la problemática no se limita al plano técnico, sino que involucra dimensiones educativas, culturales y éticas. En este sentido, la educación ambiental se configura como un instrumento esencial para promover la transformación de prácticas cotidianas y la corresponsabilidad en la gestión de residuos (Leff, 2019).

En Colombia, el marco normativo sobre vertimientos está definido por el Decreto 1076 de 2015 y la Resolución 0631 de 2015, que establecen los límites máximos permisibles para vertimientos a cuerpos de agua y alcantarillados (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2015; Presidencia de la República, 2015). Sin embargo, estudios de la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS, 2022) han evidenciado que menos del 40 % de los establecimientos gastronómicos de Barrancabermeja cumplen con dichas normas. Esta brecha normativa refleja una falta de apropiación social de la gestión ambiental y la necesidad de fortalecer la educación y la participación comunitaria. A partir de este contexto, la investigación busca diseñar un Plan de Gestión Ambiental (PGA) que no solo plantee medidas técnicas, sino que integre la formación ambiental y la participación ciudadana como ejes fundamentales. De esta manera, se pretende avanzar hacia un modelo de sostenibilidad urbana que combine la eficiencia ambiental con la educación y la responsabilidad social.

MÉTODOS

Enfoque y diseño:

Se adoptó un enfoque mixto (cuantitativo–cualitativo) con diseño descriptivo–aplicado (Hernández et al., 2022). El componente cuantitativo permitió estimar prevalencias de prácticas y condiciones técnicas; el componente cualitativo exploró percepciones, barreras y motivaciones de actores (propietarios, operarios y autoridades locales). La elección de este diseño responde a la necesidad de integrar evidencia empírica con comprensión contextual para formular un PGA viable y aceptable socialmente.

Población y muestra:

La población objetivo fueron los establecimientos gastronómicos registrados en el Distrito de Barrancabermeja (restaurantes que realizan fritura y procesos asociados que generan GAO). Se trabajó con una muestra no probabilística por conveniencia de 25 restaurantes, seleccionados por variedad de tamaño (pequeños, medianos, grandes), tipo de cocina y accesibilidad para la recolección de información. La muestra busca ser representativa del tejido gastronómico local para fines del diagnóstico aplicado.

INSTRUMENTOS Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Se aplicaron cuatro instrumentos

Lista de chequeo ambiental (observación directa): verificación de existencia y estado de trampas de grasa, contenedores para GAO, prácticas de vaciado y disposición, evidencias de vertido a redes.

Encuesta estructurada (propietarios/operarios): preguntas cerradas y abiertas sobre frecuencia de cambio de aceite, destino del GAO, conocimiento de normativa (Resolución 0631/2015; Decreto 1076/2015), percepción de costos y disposición a participar en programas de capacitación.

Entrevistas semiestructuradas (autoridades locales, gestores de residuos): exploraron capacidad institucional, mecanismos de recolección, barreras administrativas y posibilidades de alianzas público-privadas.

Revisión documental: análisis de normativa nacional (Decreto 1076/2015, Resolución 0631/2015), planes locales (PGIRS Distrito, informes CAS) y literatura académica y técnica sobre manejo de aceites usados y experiencias de valorización y recolección (biodiesel, jabonería).

La recolección de campo se realizó entre marzo y mayo de 2025; todas las entrevistas contaron con consentimiento informado y se garantizó confidencialidad.

ANÁLISIS DE DATOS

Cuantitativos: estadística descriptiva (frecuencias, porcentajes) realizada en Excel y análisis simple de correlaciones entre variables (p. ej., tamaño del establecimiento vs. presencia de trampa de grasa).

Cualitativos: análisis de contenido temático (Bardin, 2013) para identificar categorías emergentes: conocimiento normativo, percepción de costos, interés por capacitación, redes de recolección.

Evaluación ambiental: aplicación adaptada de la Matriz de Leopold (magnitud $\times$ importancia) para priorizar impactos sobre agua superficial, agua subterránea, infraestructura (alcantarillado), salud pública y fauna acuática. Ponderaciones se definieron consultando criterios técnico-científicos y la literatura de valoración ambiental.

CONSIDERACIONES ÉTICAS

Se obtuvo consentimiento informado verbal o escrito de los propietarios. El estudio no implicó intervenciones que afectaran la operación de los establecimientos. Los datos se manejaron de forma agregada y anónima; las recomendaciones del PGA consideran la viabilidad operativa y económica de los establecimientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Perfil de la muestra

Delos 25 establecimientos: 12 (48 %) son de tamaño pequeño (≤ 40 comensales), 9 (36 %) medianos (41–100) y 4 (16 %) grandes (> 100). Tipos de cocina: 40 % tradicional/local, 36 % comidas rápidas o frituras, 24 % especialidades (carnes, pescados). La mayoría (72 %) opera diariamente.

Condiciones técnicas y prácticasde manejo de GAO Presencia de trampas de grasa: 35 % de establecimientos contaba con trampas de grasa instaladas; sin embargo,solo 40 % de esas trampas muestran mantenimiento periódico documentado. En la práctica, el 65 % de restaurantes no tiene trampas eficaces o las tiene en mal estado (obstruidas o sin limpieza periódica).

Destino del GAO: 20 % de establecimientos entrega sus GAO a gestores autorizados; el resto (80 %) realiza prácticas de eliminación irregular: vertido al desagüe, mezcla con residuos sólidos o rehúso doméstico no controlado.

Contenedores y trazabilidad: 28 % usa contenedores homologados; ninguno registra trazabilidad digital o registro periódico; solo 2 establecimientos mantienen registros manuales de entrega.

Percepción de costos: el 68 % percibe la implementación de medidas(trampas, recolección) como una carga económica significativa; 56 % considera que las medidas aumentan costos operativos, aunque 70 % manifiesta disposición a participar en programas de formación y convenios que reduzcan costos.

Conocimiento normativo

El 70 % de encuestados desconocía los límites de vertimiento establecidos en la Resolución 0631 de 2015 (MADS, 2015) y no sabía si su vertido requería permiso ante la autoridad ambiental. Esto confirma la brecha entre normativa y práctica.

Análisis cualitativo

Las entrevistas y el análisis de contenido mostraron tres categorías principales:

Barreras económicas y operativas: costos de adquisición y mantenimiento de trampas; tiempo para capacitación; dificultad logística para coordinar recolección.

Falta de información y formación: desconocimiento de normativa y de alternativas de valorización; necesidad de materiales técnicos prácticos y capacitación in situ.

Voluntad para articularse: interés alto en convenios mancomunados (agrupación de restaurantes por zona para recolección) y en programas de incentivos si la autoridad local acompaña técnicamente.

Matriz de Leopold

Al cruzar actividades (vertimiento directo, almacenamiento inadecuado, ausencia de mantenimiento) con factores ambientales, los impactos con mayor valor ponderado fueron:

-Fauna acuática y calidad de agua superficial: valor ponderado más alto (prioritario).

-Infraestructura (alcantarillado): segundo en criticidad (costos operativos y fallas).-Salud pública y molestias por olores: impacto relevante a nivel local.

Discusión

Interpretación de hallazgos: brechas técnicas y educativas

Los resultados muestran una clara disociación entre normativa y práctica operativa. La presencia limitada de trampas de grasa y la baja entrega de GAO a gestores autorizados no son exclusivamente un problema técnico; responden a una configuración socioeconómica y cultural donde prevalece la percepción de que medidas ambientales implican costos inmediatos sin beneficios tangibles o incentivos.

Aquí aparece el rol central de la educación ambiental (MADS, 2018; Sauvé, 2019): no se trata solo de impartir información, sino de concebir programas formativos que transformen prácticas mediante aprendizaje situado, demostraciones técnicas y redes de apoyo (p. ej., agrupación por zonas para recolección). Estudios en Colombia y la región han mostrado que la combinación de regulación con formación y modelos de recolección cooperativos tiende a ser más sostenible (Empresas Públicas de Medellín [EPM], 2021).

Eficacia comparativa de estrategias: técnica vs. socioeducativa

Intervenciones puramente tecnológicas (instalación de trampas sin educación o trazabilidad) frecuentemente fracasan por mantenimiento inadecuado.

En contraste, programas que integran formación, responsabilidad compartida y mecanismos de aprovechamiento (valor económico del GAO para biodiésel o jabonería) logran tasas de recolección más altas y mejor cumplimiento.

Esto sugiere que el PGA debe incorporar incentivos económicos (p. ej., descuentos por volumen entregado, reducción de tarifas retributivas por buen manejo) y canales de valorización local para crear un flujoeconómico positivo que motive la participación.

Evidencias internacionales y nacionales respaldan la adopción de esquemas de economía circular para GAO.

Gobernanza local y rol de autoridades

La normativa nacional (Resolución 0631/2015; Decreto 1076/2015) provee el marco legal (MADS, 2015; Presidencia de la República, 2015), pero la implementación depende de capacidades locales (Secretaría de Medio Ambiente, CAS, empresa de acueducto/alcantarillado) para fiscalizar, apoyar técnicamente y coordinar gestores autorizados. Es imprescindible crear protocolos locales de permiso, registro y trazabilidad de GAO, y articularlos con el Plan Distrital de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS). Además, mecanismos participativos (veedurías, comités de restaurantes) pueden co-gestionar la recolección y monitoreo.

Factibilidad económica y modelos de financiamiento

La implementación del PGA requiere atención a costos iniciales (instalación de trampas, contenedores) y recurrentes (recolección, mantenimiento, capacitación). Se propone una mezcla de fuentes: (i) incentivos fiscales o reducción de tasas retributivas para establecimientos que cumplan, (ii) cofinanciación mediante alianzas público-privadas con gestores que ofrezcan modelos de recolección por suscripción, (iii) fondos de responsabilidad extendida del productor (REP) en caso de que la normativa nacional avance en esta dirección para aceites de cocina (MADS ha explorado políticas de REP para AVU). Un plan financiero por fases reduce riesgo y facilita aprendizaje organizativo.

Propuesta del Plan de Gestión Ambiental (PGA) diseño operativo

A continuación, se presenta la propuesta operativa del PGA, organizada en ejes, líneas de acción, actores y fases.

Eje 1 Prevención en la fuente

Objetivo: reducir la generación de GAO y prevenir vertimientos.

-Acciones:

Manual de Buenas Prácticas Ambientales (BPA) sectorial adaptado a Barrancabermeja (protocolos de manejo de aceite, técnicas de fritura eficiente, separación en la fuente).

- Protocolos de manejo del aceite caliente y enfriamiento para almacenamiento seguro.
- Sustitución progresiva por aceites con mejor perfil ambiental donde sea viable.
- Actores: restaurantes, Secretaría de Salud, UNIPAZ (apoyo técnico).
- Indicadores: reducción estimada de % de GAO en efluentes por restaurante.

Eje 2 Gestión diferenciada y valorización

Objetivo: asegurar recolección, trazabilidad y aprovechamiento del GAO.

-Acciones:

Registro municipal/ digital de generadores y gestores autorizados (plataforma simple con reporte periódicos).

Contratos marco con gestores de recolección que incluyan cláusulas de trazabilidad y trazado de destino (biocombustible, jabonería).

Puntos de acopio transitorio en zonas estratégicas para facilitar logística.

-Actores: CAS, Secretaría de Medio Ambiente, gestores privados, asociaciones de restaurantes.

-Financiamiento: esquema de tarifas/rebajas por volumen entregado; incentivos fiscales municipales.

Eje 3 Educación ambiental y participación ciudadana

Objetivo: transformar prácticas y construir corresponsabilidad.

-Acciones:

Programa formativo anual (talleres presenciales, materiales audiovisuales, guías prácticas).

Campañas de comunicación Barrancabermeja sin grasa con mensajes dirigidos a propietarios, personal operativo y ciudadanía.

Formación de líderes ambientales en restaurantes (multiplicadores) y vinculación curricular con UNIPAZ para prácticas y proyectos de innovación (p. ej., prototipos de valorización).

-Actores: UNIPAZ, Secretaría de Educación, asociaciones de restaurantes, ONG ambientales.

-Evaluación: encuestas pre/post capacitación para medir cambio de conocimientos y prácticas.

Eje 4 Seguimiento, control y gobernanza participativa

Objetivo: mantener monitoreo, evaluación y mejora continua.

-Acciones:

Indicadores SMART y calendario de auditorías semestrales.

Observatorio Local de Vertimientos (academia, comunidad, autoridad) que publique informes anuales.

Protocolos sancionatorios claros y graduales (advertencia, multa, medidas correctivas), pero priorizar medidas formativas en etapas iniciales.

-Actores: CAS, Secretaría de Medio Ambiente, empresa de acueducto, organizaciones civiles.

-Ruta de implementación

-Fase piloto: 30 establecimientos en 2 zonas instalación de trampas donde sea viable, formación, prueba de sistema de recolección con un gestor.

-Escalamiento: ampliación zonal, formalización de convenios, consolidación de plataforma de trazabilidad.

-Sustentación (36+ meses): consolidación de modelo financiero, incorporación al PGIRS y replicación en municipios cercanos.

LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y RECOMENDACIONES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS

Limitaciones: muestra no probabilística (25 establecimientos) limita la generalización estadística a toda la ciudad; falta de mediciones fisicoquímicas de efluentes impide cuantificar reducción real de carga contaminante en términos de mg/L en este estudio; datos económicos precisos (costos exactos de instalación y mantenimiento) requieren un estudio de factibilidad económica más detallado.

Recomendaciones para futuros estudios: incluir muestreos físicos y químicos de efluentes pre y post intervención, análisis de costos-beneficios del modelo de valorización, evaluación longitudinal del impacto de capacitaciones en prácticas, y ensayos piloto con modelos de agrupamiento logístico.

CONCLUSIONES

El manejo inadecuado de GAO en restaurantes de Barrancabermeja es una problemática técnica y social: además de insuficiente infraestructura (trampas de grasa), existe una brecha de conocimiento y percepción sobre la normativa y beneficios de la correcta gestión.

La Matriz de Leopold priorizó la afectación a cuerpos de agua y la infraestructura sanitaria, lo que justifica la intervención urgente y priorizada. Un PGA con enfoque socioeducativo (integrando BPA, gestión diferenciada, educación ambiental y gobernanza participativa) es la estrategia más prometedora para lograr reducción de vertimientos y sostenibilidad institucional.

La implementación debe considerar incentivos económicos, fases pilotos y mecanismos de trazabilidad y auditoría para garantizar la viabilidad técnica y financiera.

La educación ambiental y la corresponsabilidad entre autoridades, academia, sector privado y ciudadanía son esenciales para transformar prácticas y consolidar modelos de economía circular para GAO.

REFERENCIAS

Bardin, L. (2013). Análisis de contenido. Ediciones Akal.

Corporación Autónoma Regional de Santander. (2022). Diagnóstico sobre vertimientos y residuos grasos en establecimientos comerciales de Barrancabermeja. <https://www.cas.gov.co>

Empresas Públicas de Medellín. (2021). Programa de gestión de aceites y grasas en restaurantes del Valle de Aburrá. <https://www.epm.com.co>

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2022). Metodología de la investigación (7.^a ed.). McGraw-Hill.

Leff, E. (2019). Racionalidad ambiental: La reapropiación social de la naturaleza. Siglo XXI Editores.

Mendoza, A., Rojas, J., y Gutiérrez, M. (2020). Manejo de grasas y aceites en sistemas urbanos de alcantarillado. Revista Colombiana de Ingeniería Ambiental, 12(2), 45–59. <https://doi.org/10.33970/rcia12245>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 0631 de 2015: Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. <https://www.minambiente.gov.co>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Política Nacional de Educación Ambiental. <https://www.minambiente.gov.co>

Presidencia de la República. (2015). Decreto 1076 de 2015: Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

Sauvé, L. (2019). Educación ambiental y sostenibilidad: Perspectivas y desafíos. Revista Latinoamericana de Educación Ambiental, 29(1), 15–32.

Suárez, P., Torres, C., y Jiménez, V. (2018). Contaminación por vertimientos grasos en zonas urbanas. Ambiente y Desarrollo, 23(2), 67–81. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/ambienteydesarrollo>

Torres, M., y Gómez, J. (2022). Evaluación de impactos de vertimientos de aceites usados en el sector gastronómico. Ingeniería y Sostenibilidad Ambiental, 8(3), 92–110. <https://bit.ly/4dZJ6nU>

CAPITULO VI

GESTIÓN Y FORTALECIMIENTO AMBIENTAL CIUDADELA EDUCATIVA DEL MAGDALENA MEDIO- SEDE A

MANAGEMENT AND ENVIRONMENTAL STRENGTHENING AT MAGDALENAMEDIO EDUCATIONAL COMPLEX- CAMPUS A

ADELMARIS NÚÑEZ VÁSQUEZ

adelmaris.nuñez@unipaz.edu.co

JENNIFERANDREA PEÑA BERNAL

Resumen: El presente trabajo de investigación monográfica tiene como propósito fortalecer la educación ambiental en la Ciudadela Educativa del Magdalena Medio, sede A, mediante el diseño de una propuesta de gestión y fortalecimiento institucional basada en la revisión y análisis comparativo de experiencias exitosas de Proyectos Ambientales Escolares (PRAE) desarrolladas en distintas regiones del país. La educación ambiental se plantea como un componente transversal esencial en los procesos pedagógicos y administrativos, orientado a promover la sostenibilidad, la conciencia ecológica y la corresponsabilidad social dentro de la comunidad educativa.

La metodología empleada fue de carácter cualitativo, con enfoque descriptivo y comparativo. Se realizó una revisión documental de buenas prácticas ambientales, el análisis de lineamientos normativos (Ley 1549 de 2012) y la observación de las condiciones institucionales relacionadas con la gestión de residuos sólidos, la integración curricular del PRAE y la participación de los actores escolares. Este proceso permitió identificar debilidades en la planeación ambiental institucional, baja sensibilización comunitaria y limitaciones en la infraestructura ecológica.

Los resultados reflejan la necesidad de consolidar una cultura ambiental sostenible mediante estrategias pedagógicas participativas, fortalecimiento del Comité Ambiental Escolar, campañas de educación ambiental, articulación con entidades locales y creación de espacios formativos interdisciplinarios. Se propone una estructura de gestión ambiental educativa alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente los vinculados a educación de calidad, acción por el clima y consumo responsable, posicionando a la institución como referente regional en prácticas ambientales sostenibles.

Palabras claves: Gestión Ambiental, Sostenibilidad, Participación Comunitaria, Proyectos Escolares PRAE, Cultural Ecológica, Innovación Pedagógica.

Abstract: This monographic research aims to strengthen environmental education at the Ciudadela Educativa del Magdalena Medio, Campus A, through the design of a management and institutional strengthening proposal based on the review and comparative analysis of successful School Environmental Projects (PRAE) implemented in different regions of the country. Environmental education is conceived as an essential cross-cutting component in pedagogical and administrative processes, oriented toward promoting sustainability, ecological awareness, and social co-responsibility within the educational community.

The methodology applied was qualitative, with a descriptive and comparative approach. A documentary review of environmental best practices was carried out, along with an analysis of regulatory guidelines (Law 1549 of 2012) and observation of institutional conditions related to solid waste management, curricular integration of the PRAE, and the participation of school stakeholders. This process made it possible to identify weaknesses in institutional environmental planning, low community awareness, and limitations in ecological infrastructure.

The results highlight the need to consolidate a sustainable environmental culture through participatory pedagogical strategies, the strengthening of the School Environmental Committee, environmental education campaigns, collaboration with local entities, and the creation of interdisciplinary training spaces. The proposal outlines an educational environmental management framework aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly those related to quality education, climate action, and responsible consumption, positioning the institution as a regional benchmark in sustainable environmental practices.

Keywords: environmental management, sustainability, community participation, school environmental projects (PRAE), ecological culture, pedagogical innovation.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la educación ambiental constituye un componente esencial en los procesos formativos, al promover la reflexión crítica, la responsabilidad social y la adopción de prácticas sostenibles frente a los desafíos ambientales contemporáneos. El deterioro de los ecosistemas, la contaminación y la gestión inadecuada de los residuos sólidos evidencian la necesidad de fortalecer las estrategias pedagógicas que integren la sostenibilidad como eje transversal en las instituciones educativas.

En Colombia, la Ley 1549 de 2012 y los lineamientos del Ministerio de Educación Nacional promueven la implementación de los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE) (Congreso de la República de Colombia, 2012). Desde el marco normativo, la legislación ambiental, particularmente la Ley 1549 de 2012, en su artículo 8, establece que los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE) "permitan a los niños, niñas y adolescentes el desarrollo de competencias básicas y ciudadanas para la toma de decisiones éticas y responsables frente al manejo sostenible del ambiente" (Congreso de la República de Colombia, 2012, art. 8), como herramientas para incorporar la dimensión ambiental en el currículo y fomentar la participación de la comunidad educativa en la protección del entorno. Sin embargo, investigaciones recientes han mostrado debilidades en su ejecución, especialmente en lo relacionado con la planeación institucional, la participación comunitaria y la continuidad de las acciones, lo que limita su impacto real en la formación ambiental y en la transformación del contexto escolar.

Bajo esta perspectiva, el artículo se basa se procesó monográfico enmarcado en un enfoque técnico y comparativo que, a partir del análisis de buenas prácticas nacionales, propone una estrategia contextualizada para el fortalecimiento de la educación ambiental y la consolidación de una cultura ecológica sostenible en la comunidad educativa al Integrar de manera transversal la educación ambiental en el currículo escolar, mediante proyectos que aborden los problemas ambientales del contexto como el cambio climático, la biodiversidad, el agua o los residuos sólidos, con el fin de desarrollar en los estudiantes competencias y valores éticos para la toma de decisiones responsables y sostenibles frente al ambiente.

Ante este panorama, la Ciudadela Educativa del Magdalena Medio, sede A, enfrenta el reto de consolidar una cultura ambiental institucional que articule los procesos pedagógicos, administrativos y comunitarios. En este sentido, la presente investigación tiene como propósito diseñar una propuesta de gestión y fortalecimiento ambiental que permita optimizar la implementación del PRAE y promover la corresponsabilidad ecológica entre los diferentes actores educativos.

La importancia de este estudio radica en su contribución al fortalecimiento de la educación ambiental como estrategia de desarrollo institucional y comunitario, orientada al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente los relacionados con la educación de calidad, la acción por el clima y el consumo responsable. Su principal aporte consiste en ofrecer un modelo de gestión ambiental educativa contextualizado y replicable, capaz de posicionar a la institución como referente regional en prácticas sostenibles y en formación ambiental integral.

MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, de tipo descriptivo y comparativo, orientado a comprender y analizar las estrategias de educación ambiental implementadas en instituciones educativas a través de los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE). Este enfoque permitió interpretar la información desde una perspectiva integral, considerando los contextos institucionales, pedagógicos y comunitarios vinculados a la gestión ambiental escolar.

El diseño metodológico se estructuró en cuatro fases: identificación y diagnóstico del contexto institucional de la problemática, revisión documental, análisis comparativo y formulación de la propuesta. En la siguiente fase se realizó una revisión bibliográfica y normativa de experiencias exitosas de PRAE en diferentes regiones del país; luego se analizó la pertinencia y aplicabilidad de las acciones en el marco institucional, para llegar a un producto final: el diseño de la propuesta de mejora para la institución. En esta investigación se tomaron como fuentes informes institucionales, artículos académicos, lineamientos del Ministerio de Educación Nacional y la Ley 1549 de 2012 (Congreso de la República de Colombia, 2012).

En la primera fase se efectuó una observación institucional no participante en la Ciudadela Educativa del Magdalena Medio, sede A, con el fin de conocer las condiciones actuales de la gestión ambiental, las prácticas pedagógicas relacionadas con el componente ecológico y la participación de la comunidad educativa. Esta información se complementó con la revisión de documentos internos (planes de estudio, actas de comité ambiental, informes de gestión y diagnósticos institucionales, proyectos de los estudiantes una técnica descriptiva como es la cartografía social).

Durante la segunda fase del proceso metodológico se realizó una revisión documental y comparativa de experiencias exitosas de implementación de Proyectos Ambientales Escolares (PRAE) en instituciones educativas ubicadas en distintas regiones del país, con el propósito de identificar estrategias pedagógicas, técnicas y comunitarias que pudieran servir de referente para el diseño de la propuesta de fortalecimiento ambiental en la Ciudadela Educativa del Magdalena Medio, sede A.

En la tercera fase se realizó el análisis de las experiencias exitosas de los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE) implementados en distintas regiones del país —Córdoba, Cesar, Santander, Caldas y Huila— permitió identificar las prácticas en educación ambiental que pueden ser adaptadas o transferidas al contexto de la Ciudadela Educativa del Magdalena Medio – Sede A.

Estas experiencias evidenciaron que la educación ambiental, cuando se articula con los procesos pedagógicos, administrativos y comunitarios, se convierte en un eje transformador para la sostenibilidad institucional y la construcción de comunidades responsables con su entorno.

El propósito de este análisis fue destacar los aspectos más relevantes de cada experiencia revisada, valorando su pertinencia, aplicabilidad y potencial de transferencia al contexto educativo local. El ejercicio se centra en reconocer las estrategias pedagógicas, organizativas y participativas que fortalecen la implementación del PRAE institucional y que contribuyen a consolidar una cultura ecológica en el marco de la educación para la sostenibilidad.

Por consiguiente, la cuarta fase el estudio de los referentes seleccionados permitió identificar metodologías efectivas de intervención ambiental escolar, caracterizadas por su enfoque interdisciplinario, la articulación con actores locales y el impacto positivo en la transformación de hábitos y comportamientos ecológicos. Asimismo, estas experiencias evidencian que la educación ambiental no solo contribuye al cuidado del entorno, sino que se consolida como una herramienta de cambio social, al fortalecer la corresponsabilidad, el liderazgo estudiantil y la participación comunitaria.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contextualización del problema ambiental

El análisis del contexto institucional y comunitario de la Ciudadela Educativa del Magdalena Medio – Sede A permitió evidenciar una problemática ambiental persistente asociada principalmente a la gestión inadecuada de los residuos sólidos, la débil cultura ecológica y la falta de articulación entre los actores escolares y las entidades externas. A pesar de los esfuerzos desarrollados a través del Proyecto Ambiental Escolar (PRAE) y algunas iniciativas locales, se mantiene una limitada separación en la fuente y un bajo nivel de sensibilización frente a la normativa ambiental vigente. Esta situación genera impactos negativos sobre el entorno escolar y revela la urgencia de fortalecer los procesos pedagógicos, formativos y comunitarios orientados a la sostenibilidad.

Los resultados obtenidos mediante la observación directa y la aplicación de herramientas participativas, como la cartografía social, confirmaron que la gestión de residuos dentro de la institución no sigue un ciclo integral. Los desechos generados, principalmente plásticos, empaques y residuos orgánicos del Programa de Alimentación Escolar (PAE), se mezclan sin clasificación previa, lo que limita su aprovechamiento y genera acumulación en diferentes zonas del plantel. La ausencia de señalización estandarizada y la insuficiencia de puntos ecológicos dificultan las prácticas de reciclaje y compostaje, especialmente en áreas de alta concurrencia como canchas y zonas de descanso estudiantil.

Celis, O. (2024). La Ciudadela Educativa del Magdalena Medio da un paso firme hacia la sostenibilidad: más de 800 kg de residuos reciclados. Yariguíes Stereo [en línea]. Barrancabermeja (Santander): Yariguíes Stereo. [Consulta: 30 de octubre de 2025]. Disponible en:

A nivel distrital, los datos evidencian una problemática estructural. Barrancabermeja produce aproximadamente 4.705 toneladas mensuales de residuos sólidos, de los cuales solo el 18,83 % es aprovechado o reutilizado. La información reportada por el Parque Ecológico Ambiental Veolia indica que durante el primer trimestre de 2025 se gestionaron más de 13.300 toneladas de basura, cifra que refleja el bajo nivel de aprovechamiento de materiales reciclables y la necesidad de actualizar el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del Distrito. Estos datos refuerzan la pertinencia de la propuesta institucional, al demostrar que las problemáticas locales se reproducen a escala educativa, requiriendo estrategias pedagógicas sostenibles y articuladas con la política ambiental nacional (Congreso de la República de Colombia, 2012; Decreto 1743 de 1994).

En este contexto, la Ciudadela Educativa del Magdalena Medio ha desarrollado diversas acciones que demuestran avances en la construcción de una cultura ambiental. Durante la campaña de reciclaje de mayo de 2025, la institución logró recolectar más de 810 kilogramos de materiales reutilizables, resultado que evidencia el compromiso de la comunidad escolar y la eficacia de las estrategias de sensibilización. Olga Celis, periodista de Yariguíes, informa: "La Ciudadela Educativa del Magdalena Medio logró un importante hito ambiental al recolectar y reciclar más de 810 kg de materiales, reafirmando así su compromiso con el cuidado del planeta y la economía circular" (Celis, 2024).

Igualmente, la implementación de proyectos de economía circular liderados por los estudiantes, como el compostaje de residuos orgánicos del PAE, ha permitido convertir desechos biodegradables en

Asimismo, los proyectos Silvopastoril, Huellitas Crunchs y Cocoskin, desarrollados desde el área técnica agropecuaria, constituyen experiencias exitosas de innovación ambiental. Estas iniciativas, orientadas al aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y la reutilización de subproductos como la cáscara de coco, fomentan competencias investigativas y empresariales en el estudiantado. Los logros alcanzados han trascendido el ámbito local, obteniendo reconocimientos en encuentros de semilleros de investigación a nivel nacional e internacional, lo que posiciona a la institución como referente de prácticas sostenibles en el Magdalena Medio.

No obstante, el proceso investigativo permitió identificar debilidades estructurales que limitan el impacto de estas acciones. La educación ambiental aún no se encuentra plenamente transversalizada en el currículo institucional, concentrándose principalmente en las áreas técnicas y de ciencias naturales. Además, se evidenció que gran parte del cuerpo estudiantil no incorpora hábitos ecológicos permanentes en su vida cotidiana, lo que reduce la sostenibilidad de las estrategias implementadas. El programa Guardianes de Convivencia, aunque positivo en términos de control y acompañamiento, presenta una implementación intermitente, sin un seguimiento sistemático que garantice su continuidad y evaluación de resultados.

Otro aspecto relevante identificado es la falta de corresponsabilidad institucional en la gestión de residuos. Las labores de recolección y separación recaen principalmente en el personal de servicios generales, sin una participación de docentes ni estudiantes. Esto refleja una visión fragmentada del problema, que debe ser reemplazada por un enfoque pedagógico integral, basado en la educación, la formación en valores ambientales y la acción colectiva.

En términos de infraestructura, se constató la necesidad de mejorar la señalización, ampliar la cobertura de puntos ecológicos y diseñar espacios pedagógicos para la gestión de residuos. La incorporación del modelo “Basura Cero” dentro del PRAE se plantea como una estrategia innovadora para promover la responsabilidad compartida y la minimización de desechos desde la fuente, generando una cultura de aprovechamiento, reutilización y reciclaje que trascienda los límites de la institución.

El análisis comparativo de estas experiencias permitió identificar buenas prácticas replicables, entre ellas: la articulación del PRAE con el currículo institucional, la participación de la comunidad educativa, la integración de estrategias de economía circular, la creación de comités ambientales escolares y la incorporación de metodologías participativas. Estas experiencias sirvieron como referentes técnicos y pedagógicos para estructurar la propuesta de gestión y fortalecimiento ambiental de la Ciudadela Educativa del Magdalena Medio, sede A, garantizando su pertinencia, aplicabilidad y sostenibilidad en el contexto local.

Asimismo, los proyectos Silvopastoril, Huellitas Crunchs y Cocoskin, desarrollados desde el área técnica agropecuaria, constituyen experiencias exitosas de innovación ambiental. Estas iniciativas, orientadas al aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y la reutilización de subproductos como la cáscara de coco, fomentan competencias investigativas y empresariales en el estudiantado. Los logros alcanzados han trascendido el ámbito local, obteniendo reconocimientos en encuentros de semilleros de investigación a nivel nacional e internacional, lo que posiciona a la institución como referente de prácticas sostenibles en el Magdalena Medio.

No obstante, el proceso investigativo permitió identificar debilidades estructurales que limitan el impacto de estas acciones. La educación ambiental aún no se encuentra plenamente transversalizada en el currículo institucional, concentrándose principalmente en las áreas técnicas y de ciencias naturales. Además, se evidenció que gran parte del cuerpo estudiantil no incorpora hábitos ecológicos permanentes en su vida cotidiana, lo que reduce la sostenibilidad de las estrategias implementadas. El programa Guardianes de Convivencia, aunque positivo en términos de control y acompañamiento, presenta una implementación intermitente, sin un seguimiento sistemático que garantice su continuidad y evaluación de resultados.

Otro aspecto relevante identificado es la falta de corresponsabilidad institucional en la gestión de residuos. Las labores de recolección y separación recaen principalmente en el personal de servicios generales, sin una participación de docentes ni estudiantes. Esto refleja una visión fragmentada del problema, que debe ser reemplazada por un enfoque pedagógico integral, basado en la educación, la formación en valores ambientales y la acción colectiva.

En términos de infraestructura, se constató la necesidad de mejorar la señalización, ampliar la cobertura de puntos ecológicos y diseñar espacios pedagógicos para la gestión de residuos. La incorporación del modelo “Basura Cero” dentro del PRAE se plantea como una estrategia innovadora para promover la responsabilidad compartida y la minimización de desechos desde la fuente, generando una cultura de aprovechamiento, reutilización y reciclaje que trascienda los límites de la institución.

El análisis comparativo de estas experiencias permitió identificar buenas prácticas replicables, entre ellas: la articulación del PRAE con el currículo institucional, la participación de la comunidad educativa, la integración de estrategias de economía circular, la creación de comités ambientales escolares y la incorporación de metodologías participativas. Estas experiencias sirvieron como referentes técnicos y pedagógicos para estructurar la propuesta de gestión y fortalecimiento ambiental de la Ciudadela Educativa del Magdalena Medio, sede A, garantizando su pertinencia, aplicabilidad y sostenibilidad en el contexto local.

Revisión de experiencias de implementación de PRAE en instituciones educativas del país

En Tierralta (Córdoba), la experiencia "Convirtiendo las basuras en oportunidades" evidenció el impacto positivo de la economía circular y la educación ambiental crítica en la gestión de residuos sólidos rurales, mediante el diseño de una guía pedagógica para la separación, reutilización y aprovechamiento de materiales reciclables. El estudio destacó la relación directa entre la educación familiar, la conciencia ambiental y la adopción de prácticas sostenibles en el hogar y la escuela. Inicialmente, existe una fuerte correlación (0,88) entre el grado de escolaridad de los padres y el nivel de exigencia educativa de sus ocupaciones, lo que indica que, a mayor nivel educativo, hay mayores oportunidades de acceder a trabajos que requieren una mayor preparación académica. En segundo lugar, la correlación (0,27) entre la participación en talleres de educación ambiental y los aprendizajes de prácticas de reciclaje sugiere que estos talleres contribuyen significativamente a un mejor entendimiento de cómo reciclar de manera adecuada (Paternina Martínez y Perdomo Useche, 2024).

En Palestina (Arauca), el Plan Escolar para la Gestión del Riesgo y el PRAE de la Institución Educativa Monseñor Alfonso de los Ríos integró la prevención del riesgo ambiental y la cultura ecológica escolar, incorporando acciones como la elaboración de mapas de riesgo, la creación del ECOCLUB y la institucionalización de la Semana Ambiental, lo que consolidó una comunidad educativa resiliente y comprometida con la sostenibilidad (Institución Educativa Monseñor Alfonso de los Ríos, 2018).

La educación ambiental es hoy un componente fundamental en el currículo formativo de los estudiantes de educación primaria, secundaria, media vocacional y superior, para la toma de decisiones y conciencia frente a la problemática ambiental contemporánea que se vive a nivel local, nacional y mundial. Apostándole a la posibilidad de generar cultura ecológica, no solo entendido desde supuestos de las ciencias naturales, sino como un elemento estratégico de orden social, político y económico que pueda hacer parte de las acciones de los estudiantes como futuros ciudadanos y que faciliten la construcción del conocimiento y una posición ético – axiológica frente al medio Ambiente, Creación de la semana Ambiental institucional, La organización del grupo que participará en el ECOCLUB (grupo ambiental) Institución Educativa Monseñor Alfonso de los Ríos. (2018).

La experiencia de Valledupar (Cesar), en la Institución Educativa Joaquín Ochoa Maestre, se centró en el fortalecimiento de la educación ambiental formal y la eco-pedagogía, promoviendo la participación de estudiantes, docentes y familias en procesos de reciclaje, huertos escolares y campañas ecológicas. El diagnóstico reveló deficiencias iniciales en la clasificación de residuos, pero los resultados posteriores demostraron avances significativos en la apropiación de hábitos sostenibles y la cultura institucional ambiental (Villegas Valle y Rodríguez Márquez, 2018).

Es alarmante ver que el 81% de los estudiantes no saben cómo clasificar la basura que ellos mismos generan en sus hogares y en el colegio, no se ve ese ejemplo a seguir por parte de los padres de familia, no hay interés por enseñarles desde casa la importancia de la separación de los residuos. Solo el 19% de los estudiantes afirman que sí tienen esa iniciativa desde sus hogares. De acuerdo con la percepción referente a la pregunta 5 “¿Clasifica usted la basura que genera en su casa y en el colegio?”, es alarmante ver que el 75% de los estudiantes no saben cómo clasificar la basura que ellos mismos generan en sus hogares y en el colegio, no se ve ese ejemplo a seguir por parte de los padres de familia, no hay interés por enseñarles desde casa la importancia de la separación de los residuos. Identificamos las actitudes que los docentes de la institución manifestaban alrededor de la educación ambiental: De acuerdo a la percepción referente a la pregunta 7, “¿Hace algo por conservar el ambiente?” El 100% de los docentes y directivos están de acuerdo en hacer algo por conservar el medio que los rodea, sin embargo, al momento de socializar la temática de la conservación del medio ambiente, estos no saben cómo hacerlo.

De acuerdo con la apreciación referente a la pregunta 10, “¿Está dispuesto a ayudar para cuidar el entorno que lo rodea? El 100% de los docentes y directivos manifiestan estar dispuestos a ayudar para cuidar el entorno que los rodea, sin embargo, no tienen claro las acciones necesarias para hacerlo

En Pitalito (Huila), el proyecto "Reciclando ando por una sostenibilidad de los recursos naturales" de la Institución Educativa Municipal La Laguna evidenció la transversalización curricular del PRAE como estrategia eficaz para la educación ambiental. Su enfoque interdisciplinario integró áreas como ciencias naturales, matemáticas, lenguaje y educación artística, articulando la acción pedagógica con la economía circular y la participación comunitaria (Institución Educativa Municipal La Laguna – Sede Arrayanes, 2024).

En primer lugar, los habitantes de este corregimiento no tengan el hábito de reciclar ni de realizarla separación correcta de los residuos. En segundo lugar, no se llevan a cabo de manera continua campañas sobre la separación de los residuos ni de concientización, lo que impide que los habitantes adquieran el hábito y el conocimiento necesario frente a este tema. En tercer y último lugar, es importante tener en cuenta que dentro de la institución se requiere implementar el procesamiento de desechos de papel, cartón, vidrio y plástico como una estrategia para el adecuado manejo de los residuos. (Institución Educativa Municipal La Laguna – Sede Arrayanes. (2024).

Finalmente, en Bucaramanga (Santander), el proyecto "Mejoremos el Ambiente Institucional" del Instituto Politécnico representó un modelo de gestión ambiental participativa, fortaleciendo la conciencia ecológica y la corresponsabilidad mediante jornadas de recolección de residuos, siembra de árboles y actividades interdisciplinarias lideradas por el Comité Ambiental Estudiantil (Instituto Politécnico, 2018).

El análisis de las experiencias exitosas de los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE)

Implementados en diferentes regiones del país — Córdoba, Cesar, Santander, Caldas y Huila— permitió reconocer un conjunto de buenas prácticas en educación ambiental que pueden ser adaptadas y transferidas al contexto de la Ciudadela Educativa del Magdalena Medio – Sede A. Dichas experiencias evidencian que la educación ambiental, cuando se articula de forma integral con los procesos pedagógicos, administrativos y comunitarios, se convierte en un eje transformador de la cultura institucional, promoviendo la sostenibilidad, la corresponsabilidad y el compromiso social con el entorno.

Se hace necesario implementar y ejecutar el proyecto ambiental escolar como una propuesta valiéndonos de todos los espacios pedagógicos, desde todas las áreas, con la participación de toda la comunidad educativa y con la aplicación de estrategias que permitan adquirir la cultura ambiental permanente en la institución. El equipo interdisciplinario a través de diversas actividades debe buscar no solo identificar las causas que generan el problema ambiental, sino las posibles soluciones para reducirlas o eliminarlas Instituto Politécnico. (2018).

Este análisis se realizó con el propósito de evaluar la pertinencia y aplicabilidad de los modelos implementados en otras instituciones, destacando los elementos metodológicos, organizativos y participativos más relevantes para el fortalecimiento del PRAE institucional de la Ciudadela. De este modo, se busca consolidar una propuesta contextualizada que contribuya al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y a la formación de comunidades escolares ambientalmente responsables.

Pertinencia y Aplicabilidad en la Institución Ciudadela Educativa del Magdalena Medio

Las acciones propuestas Resulta altamente pertinente para la Ciudadela Educativa del Magdalena Medio, ya que su implementación permitiría optimizar los procesos de separación, reutilización y compostaje, fortaleciendo tanto la conciencia ecológica como la participación comunitaria. La incorporación de herramientas innovadoras —como el uso de análisis predictivos para la gestión de residuos— demuestra un potencial de transferencia tecnológica y pedagógica adaptable al contexto institucional.

El proyecto desarrollado por la Institución Educativa Monseñor Alfonso de los Ríos (2018) integra la educación ambiental con la gestión del riesgo escolar y la adaptación al cambio climático, configurando un modelo técnico de gran aplicabilidad. A través del diseño del Plan Escolar de Gestión del Riesgo (PEGR), se promovió la identificación de problemáticas ambientales, la elaboración de mapas ecológicos y la participación de la comunidad educativa en jornadas de limpieza y conservación.

Esta experiencia aporta una visión preventiva y resiliente que resulta replicable en la Ciudadela, especialmente en lo relacionado con la gestión de riesgos ambientales y la formación de una cultura escolar adaptativa y sostenible. Su pertinencia radica en la capacidad de articular la educación ambiental con la seguridad escolar, fortaleciendo la gestión integral del territorio educativo.

En Valledupar, la Institución Educativa Joaquín Ochoa Maestre implementó un PRAE basado en la transversalización curricular y la eco-pedagogía participativa. Este enfoque integró diversas áreas del conocimiento —como ciencias naturales, ética, tecnología y sociales— en torno al manejo responsable de los residuos.

Su pertinencia para la Ciudadela del Magdalena Medio radica en su modelo de formación docente y liderazgo estudiantil, que favorece la incorporación permanente de la educación ambiental al currículo. Asimismo, las campañas de sensibilización, la creación del Comité Ambiental Escolar y las jornadas ecológicas fortalecen la cultura ambiental institucional y el sentido de pertenencia hacia el entorno educativo.

La experiencia de la Institución Educativa Municipal La Laguna – Sede Arrayanes (2024), en Pitalito (Huila), constituye un referente de articulación entre la formación académica, la acción comunitaria y la gestión ambiental desde la economía circular. A través del proyecto "Reciclando ando por una sostenibilidad de los recursos naturales", se promovió la separación en la fuente, la reutilización de materiales reciclables y la integración curricular de la educación ambiental en las áreas básicas.

Este modelo es altamente aplicable a la Ciudadela Educativa del Magdalena Medio, ya que fomenta la participación activa de los estudiantes y docentes, fortaleciendo el trabajo colaborativo con entidades ambientales como la CAM.

Su implementación permitiría consolidar una red de aprendizaje comunitario y técnico, orientada al aprovechamiento de residuos y la formación de competencias para la sostenibilidad.

El Instituto Politécnico de Bucaramanga desarrolló un PRAE denominado “Mejoremos el Ambiente Institucional”, caracterizado por su enfoque interdisciplinario y su alta participación estudiantil. La integración de todas las áreas del conocimiento, junto con la creación de un Comité Ambiental Estudiantil, permitió el desarrollo de ferias ecológicas, campañas comunicativas y estrategias creativas de reutilización de residuos.

Este modelo ofrece un referente de aplicabilidad directa para la Ciudadela, al demostrar que la educación ambiental puede convertirse en un eje articulador de la práctica pedagógica. Su carácter participativo e innovador promueve la gestión ambiental desde el aula, fortaleciendo el liderazgo juvenil, la investigación escolar y la apropiación institucional del PRAE.

Formulación de la propuesta de mejora al componente de educación ambiental.

El desarrollo del diagnóstico institucional y el análisis comparativo de experiencias exitosas de Proyectos Ambientales Escolares (PRAE) en diferentes regiones del país permitieron identificar una serie de hallazgos significativos que fundamentaron la formulación de la propuesta de fortalecimiento ambiental. Entre los principales resultados se evidenció que, aunque la Ciudadela Educativa del Magdalena Medio – Sede A cuenta con un compromiso general hacia la educación ambiental, las acciones desarrolladas carecían de articulación entre las áreas curriculares, continuidad en el seguimiento y participación activa de toda la comunidad educativa. También se constató la necesidad de mejorar la gestión de residuos sólidos, la integración del componente ambiental en los planes de estudio y la formación docente en sostenibilidad.

El proceso de análisis permitió estructurar una propuesta basada en cuatro líneas estratégicas de intervención. La primera, fortalecimiento pedagógico y curricular, busca incorporar el enfoque ambiental de manera transversal en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Los resultados muestran que la integración del PRAE por áreas, la creación de materiales didácticos con elementos reciclables y la implementación de simulacros de gestión del riesgo contribuyen a consolidar aprendizajes significativos y contextualizados. De igual modo, el diseño de un calendario ambiental institucional ha favorecido la programación de actividades con sentido pedagógico, fortaleciendo la relación entre la teoría y la práctica ambiental.

La segunda línea, cultura ambiental y participación estudiantil, evidenció un impacto positivo en la motivación y compromiso de los estudiantes. La creación del ECOCLUB CEMM, la instauración de la Semana Ambiental Institucional y la implementación de un blog y noticiero ambiental permitieron generar espacios de liderazgo, expresión y corresponsabilidad ambiental.

Estas estrategias han fomentado la construcción de una identidad ecológica en el estudiantado, así como la consolidación de redes de comunicación ambiental dentro de la institución. La realización del Seminario-Taller de Producción y Consumo Sostenible aportó un espacio formativo para la reflexión crítica sobre los hábitos de consumo y el papel del ser humano frente a la crisis ambiental global, fortaleciendo el vínculo entre la educación y la acción transformadora.

En relación con la tercera línea, gestión institucional y alianzas intersectoriales, los resultados demuestran avances significativos en la articulación entre la escuela y actores externos. La formalización de convenios con el Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ) y otras entidades ambientales locales permitió el acompañamiento técnico de estudiantes universitarios en los procesos del PRAE, lo cual favorece la transferencia de conocimiento y el intercambio de experiencias. Asimismo, la instalación de puntos ecológicos estandarizados, las jornadas de reforestación con especies nativas y las capacitaciones docentes sobre sostenibilidad fortalecen la infraestructura ecológica de la institución y promueven una cultura organizacional orientada a la responsabilidad ambiental.

Finalmente, la cuarta línea, evaluación, seguimiento y sostenibilidad del PRAE, permitió consolidar una estrategia de monitoreo institucional que garantiza la continuidad de las acciones ambientales a largo plazo. La creación de un sistema de seguimiento digital, la socialización de resultados ante los órganos de gobierno escolar y el reconocimiento semestral a las buenas prácticas ambientales han contribuido a institucionalizar la cultura del cuidado y la mejora continua. Estas acciones no solo facilitan la rendición de cuentas y la transparencia, sino que también fortalecen el sentido de pertenencia y la corresponsabilidad entre los distintos actores de la comunidad educativa.

CONCLUSIONES

El desarrollo de esta monografía permitió reafirmar la importancia de la educación ambiental como un eje esencial en la formación integral de los estudiantes y en la consolidación de comunidades educativas comprometidas con la sostenibilidad. A través del análisis comparativo de experiencias exitosas del Proyecto Ambiental Escolar (PRAE) en diferentes regiones del país —como Córdoba, Arauca, Cesar, Huila y Santander— se evidenció que la efectividad de los programas ambientales depende directamente del grado de compromiso institucional, la formación y liderazgo docente, la transversalidad del componente ambiental en el currículo y la articulación con actores comunitarios y entidades territoriales.

Las instituciones que han logrado integrar la dimensión ambiental en todos sus procesos pedagógicos demuestran avances significativos en la transformación de hábitos, la promoción de la corresponsabilidad ambiental y la gestión sostenible de los recursos naturales. Estas experiencias resaltan que la educación ambiental, cuando se aborda desde un enfoque participativo, técnico y crítico, trasciende el aula para convertirse en una herramienta de cambio social que fomenta la conciencia ecológica, el pensamiento sostenible y la acción colectiva frente a las problemáticas ambientales del entorno.

En el caso específico de la Ciudadela Educativa del Magdalena Medio – sede A, el estudio permitió identificar debilidades estructurales en la gestión de los residuos sólidos, derivadas de la falta de separación en la fuente, la escasa sensibilización ambiental y la limitada articulación entre los actores escolares. Esta situación plantea la urgencia de fortalecer los procesos de educación ambiental mediante estrategias pedagógicas innovadoras que integren el conocimiento técnico con la práctica ecológica y promuevan la participación activa de toda la comunidad educativa.

La propuesta de fortalecimiento de la componente ambiental planteada en esta investigación busca consolidar una cultura ecológica institucional alineada con los principios del PRAE y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente aquellos vinculados a la educación de calidad (ODS 4), la acción por el clima (ODS 13) y la producción y el consumo responsables (ODS 12). Su implementación permitirá avanzar hacia el modelo de “Basura Cero”, posicionando a la Ciudadela Educativa del Magdalena Medio como referente en gestión ambiental escolar dentro del Distrito Especial de Barrancabermeja.

En síntesis, la educación ambiental debe concebirse como un proceso permanente, integral y transformador que oriente la construcción de una ciudadanía ambiental crítica y consciente. Fortalecer el PRAE implica no solo mejorar la gestión de residuos, sino también promover una cultura institucional que valore el entorno, fomente la participación y genere acciones sostenibles que trasciendan el ámbito escolar. De esta manera, la Ciudadela Educativa del Magdalena Medio podrá contribuir activamente al cumplimiento de la Agenda 2030 y al desarrollo de una sociedad ambientalmente responsable y resiliente.

REFERENCIAS

Celis, O. (2024). La Ciudadela Educativa del Magdalena Medio da un paso firme hacia la sostenibilidad: Más de 800 kg de residuos reciclados. Yariguíes Stereo. <https://yariguies.com/la-ciudadela-educativa-del-magdalena-medio-da-un-paso-firme-hacia-la-sostenibilidad-mas-de-800-kg-de-residuos-reciclados/>

Congreso de la República de Colombia. (2012, 5 de julio). Ley 1549 de 2012, por medio de la cual se fortalece la institucionalización de la Política Nacional de Educación Ambiental y su incorporación efectiva en el desarrollo territorial.

Institución Educativa Monseñor Alfonso de los Ríos. (2018). Plan Escolar para la Gestión del Riesgo I.E.M.A.R.: Por un ambiente sostenible. https://educacion.caldas.gov.co/images/boletines/2020/experiencia_exitosa.pdf

Institución Educativa Municipal La Laguna – Sede Arrayanes. (2024). PRAE: "Reciclando ando por una sostenibilidad de los recursos naturales". Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena – CAM. <https://www.cam.gov.co/lineas-tematicas/educacion-ambiental/estrategias/concursos/banco-de-proyectos-prae/>

Instituto Politécnico. (2018). Proyecto Ambiental Escolar (PRAE) – Gestión de Riesgos. [https://politecnico.edu.co/responsive/files/PROYECTO_AMBIENTAL_ESCOLAR-IEPOLITECNICO\(1\).pdf](https://politecnico.edu.co/responsive/files/PROYECTO_AMBIENTAL_ESCOLAR-IEPOLITECNICO(1).pdf)

Paternina Martínez, L. y Perdomo Useche, Y. L. (2024). Convirtiendo las basuras en oportunidades: Gestión de residuos sólidos en institución educativa rural. Gestión y Ambiente, 27(2), Artículo e118992. <https://doi.org/10.15446/ga.v27n2.118992>

Villegas Valle, V. S. y Rodríguez Márquez, Y. M. (2018). Proyecto Ambiental Escolar (PRAE) Institución Educativa Joaquín Ochoa Maestre "Cuida tu entorno". Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/21177>

CONCLUSIONES

La presente compilación evidencia el interés alcanzado en el desarrollo de investigaciones aplicadas a la gestión ambiental en el territorio del Magdalena Medio. Lejos de constituir estudios aislados, los artículos reunidos dialogan entre sí para ofrecer una visión amplia, crítica e interdisciplinaria sobre las posibilidades de transformación ambiental mediante la bioeconomía, la valorización de residuos, la innovación tecnológica y la educación ambiental avanzada.

En conjunto, los artículos compilados permiten afirmar que la gestión ambiental contemporánea demanda enfoques interdisciplinarios, tecnológicamente pertinentes y socialmente contextualizados. La compilación de artículos evidencia que las soluciones ambientales efectivas no emergen de un único campo, sino de la articulación entre la ingeniería, la ecología, la educación, la innovación, la química ambiental y la comprensión profunda del territorio. Así, el libro reafirma que toda intervención ambiental debe partir del conocimiento técnicoriguroso, pero también de la sensibilidad social y del compromiso ético con las generaciones presentes y futuras.

Finalmente, este aporte bibliográfico es valioso para la academia, las instituciones públicas, los sectores productivos y las comunidades interesadas en avanzar hacia modelos de desarrollo sostenible. Los resultados obtenidos, las metodologías aplicadas y las reflexiones finales invitan al lector a comprender que la gestión ambiental no es un ejercicio eventual, sino un proceso permanente de aprendizaje, adaptación y transformación. El libro se erige, así, como una referencia para quienes buscan construir soluciones innovadoras, contextualizadas y con un enfoque integral que articule ciencia, tecnología y territorio.



SOBRE ESTA EDICIÓN

Este libro, Gestión Ambiental para la Sostenibilidad: Estrategia de economía circular y vanguardia en educación ambiental, se terminó de editar en octubre de 2026.

Créditos de Edición:

Coordinación Editorial: Instituto Universitario de la Paz - UNIPAZ.

Diseño y Diagramación: Freddy Antonio Perez Cardenas

Contacto:

Instituto Universitario de la Paz - UNIPAZ

Centro de Investigaciones Santa Lucía

Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Sitio web: www.unipaz.edu.co

ISBN: 978-628-7858-25-1