



Recibido: 2/octubre/2025 Aceptado: 15/febrero/2026

Manejo integrado para la restauración de la cuenca alta del arroyo Cupaynicú, Cuba (Original)

Integrated Management for the Restoration of the Upper Cupaynicú Stream Basin, Cuba (Original)

Alexey Rosabal Quintana. *Ingeniero Forestal. Máster en Gestión Ambiental. Profesor Auxiliar. Universidad de Granma. Bayamo. Cuba.* [arosabalq1981@gmail.com]
[<http://orcid.org/0000-0002-5565-2490>]

Imilsis Virelles Espinosa. *Licenciada en Geografía. Máster en Educación. Profesor Auxiliar. Universidad de Granma. Bayamo. Cuba.* [iverellese@udg.co.cu]
[<http://orcid.org/0000-0002-6101-4567>]

Lidia Esther García Grillo. *Licenciada en Educación. Especialidad Defectología. Doctora en Ciencias Pedagógicas. Profesor Titular. Universidad de Granma. Bayamo. Cuba.*
[lgarciagrillo@udg.co.cu] [<https://orcid.org/0000-0001-6235-3221>]

Resumen

El deterioro de las cuencas hidrográficas por presiones antrópicas constituye un desafío global que requiere diagnósticos integrales y soluciones adaptadas. Este estudio tuvo como objetivo elaborar un plan de acciones de manejo integrado para la parte alta de la cuenca del arroyo Cupaynicú, municipio Guisa, Cuba, con énfasis en la restauración y conservación. Mediante reconocimiento de campo, muestreos florísticos en transectos, aplicación de encuestas, entrevistas, y el uso de la Matriz de Vester para el análisis causal, se diagnosticaron los principales problemas ambientales. Los resultados identificaron 13 puntos críticos de degradación, siendo la erosión del suelo el problema central clasificado como crítico mediante la Matriz de Vester, retroalimentado por la deforestación y las talas ilícitas (problemas activos). El inventario florístico registró 57 especies, con un 13% clasificadas como invasoras, confirmando su establecimiento en áreas previamente degradadas. Asimismo, se constató una brecha socioambiental, donde el 50% de los pobladores ribereños encuestados mostró desconexión con prácticas de conservación. En base a este diagnóstico, se propone un plan de manejo estructurado en dos ejes complementarios: un eje técnico-ecológico (restauración de suelos, reforestación con nativas, control de invasoras y prevención de incendios) y un eje socio-institucional, educación ambiental, vigilancia comunitaria y gobernanza local. La estrategia ofrece un modelo replicable para la gestión sostenible de cuencas con problemáticas socioambientales similares.



Palabras clave: manejo integrado de cuencas; erosión del suelo; especies invasoras; participación comunitaria; restauración ecológica

Abstract

The deterioration of watersheds due to human pressures constitutes a global challenge that requires holistic diagnoses and accommodated solutions. This study aimed to develop an integrated management action plan for the upper part of the Cupaynicú stream watershed, Guisa municipality, Cuba, with an emphasis on restoration and conservation. Through field reconnaissance, floristic sampling along transects, surveys, interviews, and the use of the Vester Matrix for causal analysis, the main environmental problems were diagnosed. The results identified 13 critical points of degradation, with soil erosion being the central problem classified as critical by the Vester Matrix, exacerbated by deforestation and illegal logging (active problems). The floristic inventory recorded 57 species, with 13% classified as invasive, confirming their establishment in previously degraded areas. Furthermore, a socio-environmental gap was observed, with 50% of the surveyed riverside residents showing a lack of engagement with conservation practices. Based on this diagnosis, a management plan is proposed, structured around two complementary axes: a technical-ecological axis (soil restoration, reforestation with native species, invasive species control, and fire prevention) and a socio-institutional axis (environmental education, community monitoring, and local governance). The strategy offers a replicable model for the sustainable management of watersheds with similar socio-environmental problems.

Keywords: integrated watershed management; soil erosion; invasive species; community participation; ecological restoration

Introducción

La urbanización contemporánea, a menudo impulsada por procesos de expansión acelerada y mal planificada, representa uno de los fenómenos más transformadores del Antropoceno. Si bien conlleva beneficios socioeconómicos, su desarrollo poco sostenible, intensificado por los efectos del cambio climático, genera territorios altamente vulnerables. Esta dinámica produce impactos ambientales severos, como erosión, deslizamientos, inundaciones y la degradación sistemática de los cuerpos de agua, comprometiendo la resiliencia de las ciudades (Costa et al., 2022).



Dentro de este marco global, la degradación de los ríos urbanos y sus ecosistemas asociados emerge como un problema crítico. La expansión urbana e industrial suele provocar la pérdida de la vegetación ribereña, lo que reduce drásticamente las funciones ecológicas de estos corredores. Como consecuencia, se limita su capacidad para filtrar contaminantes, retener sedimentos y mantener la calidad del agua, incrementando la vulnerabilidad de los ecosistemas acuáticos y los servicios ambientales que proveen (Hernández-Cavazos et al., 2025).

Frente a este desafío, la evidencia científica señala que la conservación de los bosques ribereños con anchos adecuados, por ejemplo, de hasta 50 metros se correlaciona directamente con una mejor calidad del agua en las cuencas. Asimismo, se identifica a las actividades agrícolas y urbanas en un radio amplio (hasta 1000 metros) como los principales factores de degradación, subrayando la necesidad de integrar la preservación forestal y la regulación del uso del suelo en una gestión integral de los recursos hídricos (Da Silva et al., 2023).

El contexto de Cuba y, en general, de Latinoamérica no es ajeno a estas problemáticas. Estudios en la isla han documentado una transición preocupante en el índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico, de niveles moderados a altos. Esta tendencia se atribuye principalmente a la baja capacidad de regulación y retención de agua en las cuencas, agravada por usos a veces intensivos del recurso, lo que refleja limitaciones estructurales que afectan la sostenibilidad agrícola y aumentan el riesgo de estrés hídrico (García, 2017).

Es en esta encrucijada entre procesos globales, evidencia regional y vulnerabilidades locales donde se sitúa el presente estudio. El arroyo Cupaynicú, que atraviesa la comunidad de Guisa y se caracterizaba históricamente por sus aguas cristalinas y su rol en la fertilización de los suelos, ha experimentado en los últimos años un deterioro progresivo debido a manejos inadecuados, siendo ahora reflejo de los problemas antes descritos. Por lo tanto, este trabajo se propone como objetivo elaborar un conjunto de acciones de manejo integrado para la parte alta de la cuenca del arroyo Cupaynicú, con especial énfasis en estrategias de restauración y conservación que contribuyan a su sostenibilidad.

Materiales y métodos

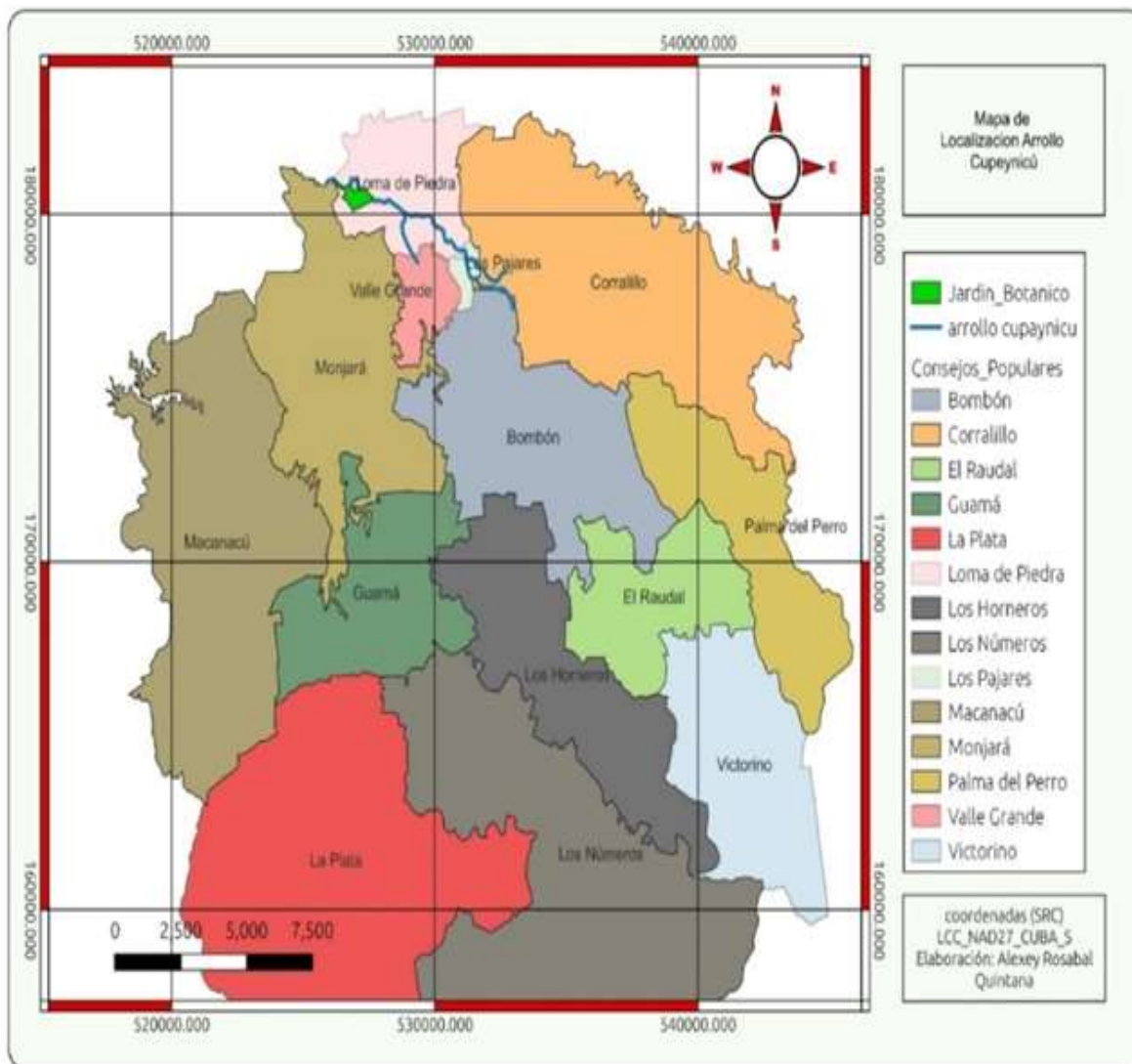
Localización del área de estudio

La cuenca está ubicada en el municipio Guisa, provincia Granma. Su parte alta forma parte del bosque del patrimonio de la Estación Agroforestal Guisa, que cuenta con una superficie



de 347 hectáreas y se ubica entre las abscisas 177- 178 y las ordenadas 532- 533 entre los 20 0 0' 14'' - 20 0 0' 16'' de latitud norte y los 76 00' 30'' - 76 0 0' 31'' de longitud oeste (hoja cartográfica No. 4876), que limita por el Norte con la carretera de Victorino; por el Sur, con el arroyo nombrado Aguacate; por el Este, con la Finca de Balolo y la Finca el Zapote; al Oeste, con la loma de la Estrella y el Mirador de Guisa, tal como se muestra a continuación.

Figura 1. Localización del área de estudio



Fuente: elaboración propia.

Reconocimiento de campo y levantamiento de puntos críticos

Previas a la investigación, se realizó un reconocimiento de campo exhaustivo en el área de estudio, con el fin de obtener una comprensión contextual profunda del entorno. Este



recorrido, que abarcó la parte alta de la cuenca desde su nacimiento hasta su entrada al pueblo, permitió evaluar la cobertura vegetal y los principales impactos presentes. Sobre esta base, se elaboró un listado florístico preliminar y se identificaron y georreferenciaron con ayuda de un GPS (AndroiTS Test v.1.48Pro) los impactos antrópicos y naturales observados, cubriendo aproximadamente un 5% del área. Las coordenadas obtenidas fueron posteriormente exportadas para su uso en la elaboración de cartografía.

El levantamiento detallado de los puntos críticos se focalizó en una franja de diez metros a cada margen del arroyo. En este transecto, se registraron y clasificaron las alteraciones, distinguiendo entre aquellas de origen natural y las provocadas por la intervención humana, con especial atención a los daños en la vegetación y el suelo. Paralelamente, para el listado florístico formal se realizaron muestreos en transectos de 20 metros a lo largo de ambas márgenes, anotando todas las especies encontradas. En este contexto, llevar un inventario de la flora ofrece valiosas “instantáneas” históricas que permiten comprender cambios pasados y sirven como base para proyectos de mitigación ambiental y restauración de especies y ecosistemas (Sullivan & Nazaire, 2022).

Abordaje social y observación sistemática

El componente social de la investigación se desarrolló mediante la aplicación de encuestas, un método empírico que facilitó el contacto directo con la población para recabar información sobre percepciones y procesos relevantes. Para complementar y profundizar los datos, se utilizó una entrevista semi-estandarizada con preguntas preestablecidas, la cual permitió aclarar respuestas y explorar con mayor detalle temas vinculados a los objetivos del estudio. Adicionalmente, se empleó la observación simple y sistemática como técnica para registrar de manera directa y objetiva las características de la vegetación y los suelos, así como para documentar sus dinámicas y principales cambios en el territorio.

En la búsqueda de información, también fueron encuestadas 28 personas de la comunidad y sus cercanías, entre los que se encuentran niños, jóvenes y adultos. De ellos, cuatro jóvenes del género femenino, nueve adultos del género femenino, dos niños y tres jóvenes del género masculino y 10 adultos del género masculino. Los niños y jóvenes de ambos sexos se consideraron desde los nueve hasta los 25 años de edad y los adultos con edades mayores de 25 años, esto representa el 50% de las personas que viven en las márgenes del arroyo.



Clasificación de las especies por procedencia

Para clasificar las especies, se utilizó el Protocolo para la detección y manejo de plantas invasoras o potencialmente invasoras en áreas naturales y seminaturales de Cuba de Oviedo et al., (2012). Lo que permitió clasificarlas en nativas o exóticas y sirvió como base para proponer las acciones de manejo de las especies de la cuenca.

Elaboración de las acciones para la proyección de la cuenca

Las acciones fueron elaboradas atendiendo a los resultados de las observaciones, clasificación de las especies, obtención de los puntos críticos, las derivaciones del abordaje social y la jerarquización de los problemas a partir de la Matriz de Vester, dando solución primero a los problemas críticos y después a los activos, por ser considerados indicadores de cambio y eficiencia, debido a que su variación puede provocar cambios en los positivos y los indiferentes.

Análisis y discusión de los resultados

Recorrido por el área

La observación de campo permitió identificar signos evidentes de degradación ambiental en la cuenca. Se constataron procesos de erosión del suelo, manifestados mediante surcos y la pérdida de capa fértil, con sedimentos claramente arrastrados por escorrentía. Asimismo, se documentaron áreas deforestadas, cuya causa principal fueron los incendios forestales que afectan recurrentemente la zona de nacimiento del arroyo, así como otros sectores con cobertura forestal reducida.

Estas observaciones empíricas encuentran sólido respaldo y explicación en la literatura científica. La pérdida de cobertura forestal, ya sea por tala o incendios, desencadena una serie de impactos hidrológicos interconectados. En primer lugar, la desaparición de la vegetación reduce drásticamente la capacidad de infiltración del suelo en más de un 50% según Meli et al. (2024) lo que incrementa la escorrentía superficial. Este aumento del flujo de agua sobre el terreno, a su vez, acelera la erosión y la sedimentación, alterando significativamente el régimen natural de los ríos y el ciclo hidrológico (Paiva et al., 2023).

El caso específico de los incendios forestales, observado en el área de estudio, agrava notablemente estos procesos. Investigaciones como la de Nasirzadehdizaji y Akyuz (2022) demuestran que, en escenarios post-incendio, la carga de sedimentos puede aumentar hasta 6.5



veces, como consecuencia directa de la pérdida de vegetación que reduce la evapotranspiración y la infiltración.

Esta dinámica explica los signos de erosión observados: la intensificación del transporte de sedimentos hacia el cauce, la pérdida sustancial de suelo durante las lluvias y el consecuente incremento del riesgo de inundaciones aguas abajo. Por lo tanto, los hallazgos en campo no solo confirman la degradación, sino que, al vincularse con la evidencia científica, revelan los mecanismos hidrológicos subyacentes que comprometen la estabilidad de la cuenca y justifican la urgencia de estrategias de restauración

La observación encubierta permitió descubrir fuentes de contaminación del agua en la cuenca como vertidos agrícolas o domésticos, lo que ha traído afectaciones en la calidad del agua y en la salud de los ecosistemas acuáticos de la zona, según se muestra a continuación.

Figura 2. Contaminación por vertimiento de restos de cosechas



Fuente: elaboración propia.

Listado florístico

Se contabilizó un total de 57 especies; de ellas 36 son nativas, cinco endémicas, siete invasoras y nueve introducidas; de ellas, tres son frutales. A continuación se listan las especies por procedencia:



Endémicas: *Comocladia platyphylla* A. Rich (Guao blanco); *Acrocomia crispa* (Kunth) C.F. Baker ex Becc.; (Corojo); *Tabebuia leptoneura* Urban (Roble); *Albizia cubana* Britton & Wilson (Bacona); *Hyperbaena axilliflora* (Griseb) Urb. (Picha de Jutía, Bronquito)

Introducidas: *Mangifera indica* L. (Mango); *Hura crepitans* L. (Salvadera); *Sterculia apetala* (Jacq.); H. Karst. var. *Apetala* (Anacahuita); *Swietenia macrophylla* King (Caoba de Honduras); *Melicoccus bijugatus* Jacq. (Anoncillo); *Manilkara zapotilla* (Jacq) Gilly (Níspero).

Nativas: *Comocladia dentata* Jacq. (guao prieto); *Oxandra lanceolata* (Sw.) Baill. (Yaya); *Dendropanax arboreus* (L.) Decne. & Planch. (Víbana); *Roystonea regia* (Kunth) O.F. Cook (Palma real); *Cordia colloccoca* L. (Ateje); *Cordia gerascanthus* L. (Varía); *Ehretia tinifolia* L. (Quebracho); *Bursera simaruba* L. (Almácigo); *Poeppigia procera* Presl. (Tengue); *Canella winterana* (L.) Gaertn. (Cúrbana); *Calophyllum antillanum* Britt. (Ocuje); *Clusia rosea* Jacq. (Copey); *Gymnanthes lucida* Sw. (Yaití); *Zuelania guidonia* (Sw.); Britt. & Millsp. (Guaguasí); *Casearia aculeata* Jacq (Jía brava); *Casearia sylvestris* Sw. subsp. *Sylvestris* (Sarnilla); *Nectandra coriacea* (Sw.) Griseb. (Sigua); *Brya ebenus* (L.) DC. (Granadillo o espino); *Piscidia piscipula* (L.) Sargent. (Guamá candelón); *Andira inermis* (W. Wright) DC. (Yaba); *Lysiloma sabicu* A. Rich (Sabicú); *Malpighia* sp. (Palo bronco); *Guazuma ulmifolia* Lam. (Guácima); *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn (Ceiba); *Swietenia mahagoni* (L.) Jacq. (Caoba antillana); *Cedrela odorata* L. (cedro) *Alvaradoa amorphoides* Liebm. subsp. *psilophylla* (Urb.) Cronquist (Periquillo); *Zanthoxylum martinicense* (Lam.) DC. (Ayúa); *Cupania glabra* Sw. (Guárano); *Exothea paniculata* (Juss.) Radlk. (Guamacá); *Allophylus cominia* (L.) Sw. (palo de caja); *Chrysophyllum oliviforme* L. (Caimitillo); *Sideroxylon foetidissimum* Jacq. (Jocuma); *Cecropia schreberiana* Miq. subsp. *antillarum* (Snethl.) C.C. Berg & P. Franco. (Yagruma).

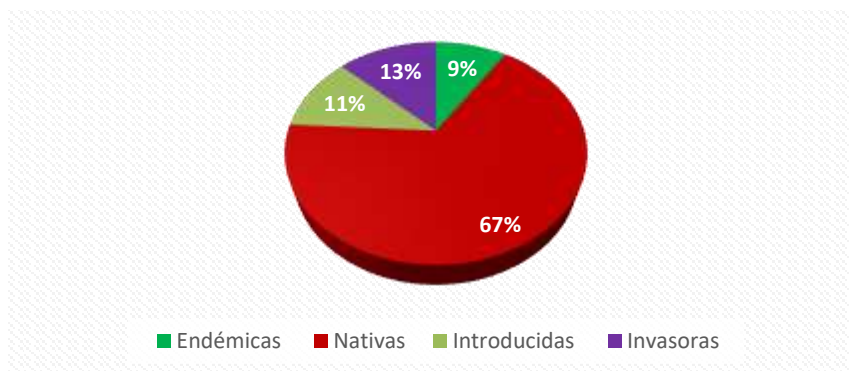
Invasoras: *Bromelia pinguin* Lindl. (Maya); *Erythrina berteroana* Urb (Piñón de pito); *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Am. subsp. *africana* var. *africana* Brenan & Brummitt (Marabú); *Syzygium jambos* (L.) Alston (Pomarrosa o manzana de río); *Oeceoclades maculata* (Lindley) Lindley (Lengua de vaca); *Leucaena leucocephala* subsp. (leucocephala); *Bambusa bambos* (L.) Voss (ambú espinoso).

El análisis de la procedencia de las especies en el área de estudio revela un predominio de las especies nativas, seguidas en proporción por las categorías de invasoras e introducidas, como se detalla en la Figura 3. Este predominio de la flora autóctona es un aspecto positivo; sin



embargo, la presencia documentada de especies introducidas e invasoras representa un factor de riesgo significativo para la integridad del ecosistema, tal como señala la literatura especializada.

Figura 3. Clasificación de las especies por su procedencia



Fuente: elaboración propia.

Los hallazgos locales de la cuenca del arroyo Cupaynicú reflejan una tendencia ambiental de alcance global. Tal como advierte la literatura especializada, las invasiones biológicas potenciadas por la creciente conectividad mundial y otros cambios de origen antropogénico representan una de las principales amenazas para la biodiversidad (Pyšek et al., 2020). De acuerdo con Rai y Singh (2020), las especies exóticas invasoras no solo reducen drásticamente la diversidad biológica local y degradan los servicios ecosistémicos, sino que también alteran el equilibrio natural de los hábitats. Estos impactos, descritos por Pyšek et al. (2020) como extensos y sistémicos, incluyen desde la disminución en riqueza y abundancia de especies nativas y modificaciones en la composición genética local, hasta la reconfiguración de redes tróficas y la afectación del funcionamiento integral de los ecosistemas.

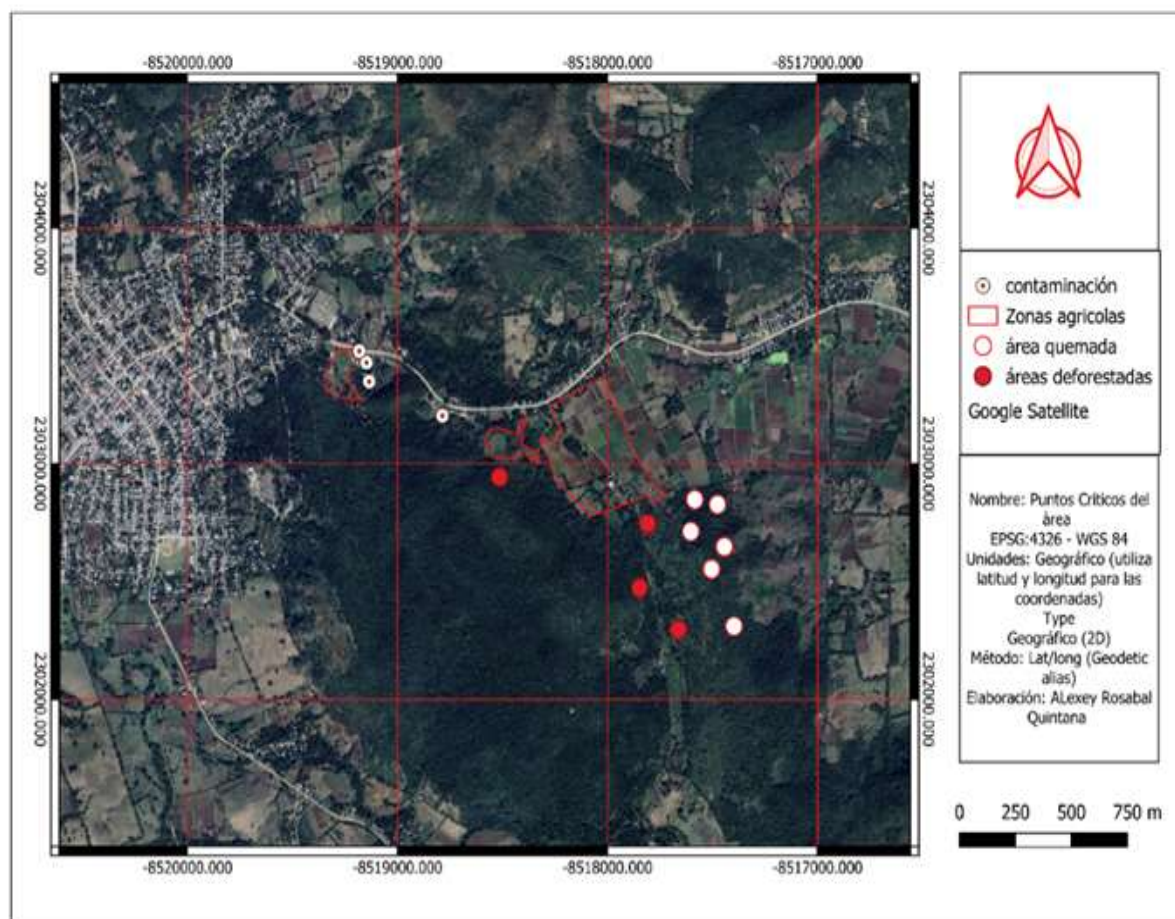
La presencia de estas especies en la cuenca estudiada no constituye, por tanto, un fenómeno aislado, sino un claro reflejo local de una dinámica mundial cuyas repercusiones trascienden lo meramente ecológico, incidiendo también en la calidad ambiental y generando riesgos sanitarios asociados a la transformación de los entornos naturales (Rai & Singh, 2020). La identificación y clasificación de estas categorías en el inventario florístico subraya la urgencia de incorporar estrategias de control y erradicación como componentes fundamentales dentro del plan de manejo integrado de la cuenca, con el objetivo de preservar su biodiversidad nativa y fortalecer la resiliencia del ecosistema frente a futuras presiones.

Levantamiento de los puntos críticos



En el área investigada, se encontraron 13 puntos críticos; entre ellos, las áreas quemadas, las que pueden tener daños que provocan consecuencias devastadoras para el medio ambiente y las comunidades. También se observó en algunos lugares, pérdida de vegetación lo que afecta la biodiversidad y la belleza natural de estos ecosistemas. En la siguiente figura se muestran los puntos críticos.

Figura 4. Mapa del área con los puntos críticos



Fuente: elaboración propia.

Los incendios forestales son causantes de la pérdida de la vegetación y la erosión de los suelos, provocando la destrucción de la cobertura vegetal, lo que expone al suelo a la erosión causada por el viento y la lluvia; las áreas quemadas también hacen que los animales que habitan en los pinares puedan perder su hábitat o incluso perder la vida durante los incendios.

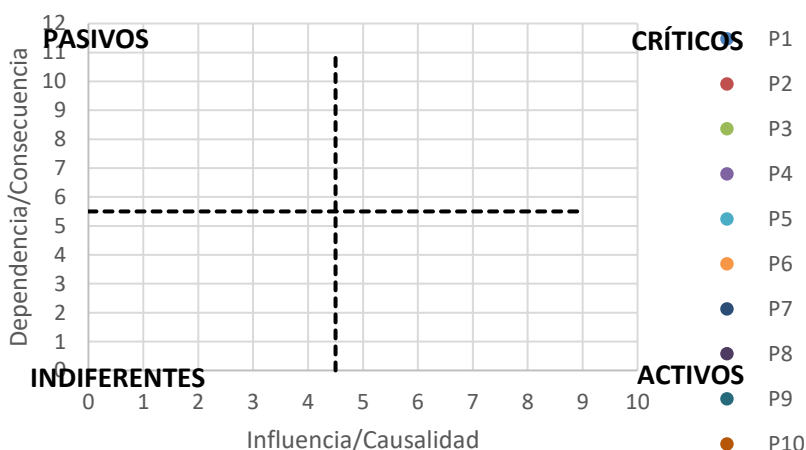
Para analizar de manera sistemática las interrelaciones entre los problemas ambientales en la cuenca del arroyo Cupaynicú, se aplicó la Matriz de Vester, una herramienta reconocida



para evaluar influencias mutuas entre variables mediante una matriz de influencia cruzada. La elección de este método se basó, en parte, en su aplicación exitosa en contextos similares dentro del mismo municipio, como lo demuestra un estudio previo realizado en la finca La Victoria, por Rodríguez et al. (2023) el cual identificó mediante esta herramienta variables clave como la erosión del suelo y la falta de conocimientos técnicos como factores de alta motricidad.

En el presente estudio, se evaluaron cinco indicadores ambientales clave: Deforestación (P1), Contaminación de las aguas (P2), Degradación del suelo (P3), Libre pastoreo (P4) y Talas ilícitas (P5). El análisis, cuyos resultados se sintetizan en la Figura 5, permitió determinar la dinámica causal entre ellos. La Matriz de Vester identificó la degradación del suelo (P3) como el problema crítico central, mientras que la deforestación (P1) y las talas ilícitas (P5) fueron clasificados como problemas activos prioritarios. Esta priorización, coherente con los hallazgos en la finca La Victoria, donde la erosión del suelo también fue un factor determinante, refuerza la necesidad de enfocar las estrategias de mitigación en políticas de conservación estrictas y prácticas agrícolas sostenibles.

Figura 5. Análisis de interdependencia de los problemas ambientales identificados en la cuenca del arroyo Cupaynicú.



Fuente: elaboración propia.

En síntesis, la aplicación de la Matriz de Vester tanto en este estudio como en el antecedente de la finca La Victoria confirma su utilidad para diagnosticar problemáticas ambientales complejas en el municipio. Este enfoque metodológico común no solo valida los



resultados al mostrar problemas estructurales recurrentes (como la degradación del suelo), sino que también proporciona una base sólida y comparativa para orientar las estrategias de manejo integrado hacia los nodos críticos del sistema socioambiental local.

Acciones para la proyección de la cuenca

Atendiendo a los resultados alcanzados, a la clasificación de las especies, a la obtención de los puntos críticos por pendiente, a las derivaciones del abordaje social y a los análisis estadísticos, se elaboraron acciones para la restauración y conservación de esta cuenca y se incluyen indicadores de éxito que, si bien están elaborados para esta área, pueden ser ajustados y utilizados en otras áreas con problemas comunes.

A continuación, se presenta la propuesta de acciones de manejo integrado para abordar los principales problemas ambientales identificados en la cuenca, junto con sus respectivos indicadores de éxito. Para combatir la deforestación, se propone implementar programas de reforestación con especies nativas, promover sistemas de agroforestería y establecer reservas naturales protegidas. El éxito de estas medidas se evaluará mediante el incremento de la cobertura forestal y la mejora en la calidad del suelo y la biodiversidad.

Frente a las talas ilícitas, las acciones se orientan a fortalecer la vigilancia mediante brigadas comunitarias, incrementar la aplicación de sanciones legales y desarrollar programas de educación ambiental. Los indicadores clave serán la reducción en la incidencia de talas ilegales y un aumento en la participación comunitaria para la protección forestal.

La contaminación del agua por desechos de cosechas se abordaría con la implementación de prácticas agrícolas sostenibles (como el compostaje y el uso de biofertilizantes), la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales agrícolas y campañas de sensibilización dirigidas a los agricultores. Se esperaría una disminución de los niveles de contaminantes en el agua y una mejora en la salud de los ecosistemas acuáticos.

Para reducir la ocurrencia de incendios forestales, se plantea la creación de brigadas locales capacitadas, la implementación de prácticas de manejo de combustibles (como la creación de cortafuegos) y programas de educación comunitaria. La efectividad se mediría por la reducción en la frecuencia y extensión de los incendios y una mayor capacidad de respuesta ante emergencias.



Respecto a la presencia de especies invasoras, la estrategia incluye realizar monitoreos periódicos para su detección temprana, ejecutar programas de erradicación y control con métodos mecánicos, y restaurar los hábitats afectados mediante la reintroducción de especies nativas. El éxito se reflejaría en la disminución de las poblaciones de especies invasoras y la recuperación de la biodiversidad nativa. Finalmente, para regular el libre pastoreo, se propone establecer áreas de pastoreo controlado y rotativo, desarrollar programas de manejo sostenible del ganado y educar a los ganaderos sobre prácticas beneficiosas. Los resultados positivos se observarían en la reducción de la degradación del suelo y la vegetación, y en una mejor salud y productividad del ganado. La aplicación conjunta de estas acciones busca una gestión integral que mitigue los impactos y promueva la sostenibilidad de la cuenca

Los resultados obtenidos en este estudio revelan un patrón claro y crítico de degradación ambiental en la cuenca alta del arroyo Cupaynicú, caracterizado por la interacción sinérgica de factores físicos, biológicos y antrópicos. El diagnóstico, sustentado en el trabajo de campo, el análisis florístico y la aplicación de la Matriz de Vester, apunta a un ciclo de retroalimentación negativa donde la pérdida de cobertura vegetal, la erosión del suelo y la introducción de especies invasoras se potencian mutuamente, comprometiendo la salud del ecosistema y los servicios hídricos que provee. A continuación, se discuten las implicaciones de estos hallazgos, entrelazando la evidencia empírica con el marco teórico existente.

1. Sinergia entre incendios, erosión y pérdida de biodiversidad

La identificación de áreas quemadas y los surcos de erosión observados no solo confirman el impacto físico inmediato de los incendios, sino que también apuntan a alteraciones profundas en la funcionalidad del suelo. Estos hallazgos concuerdan con lo señalado por Turiel-Santos et al. (2025), quienes plantean que los incendios forestales y las prácticas asociadas a ellos generan alteraciones significativas en el ciclo biogeoquímico de nutrientes esenciales como el nitrógeno (N) y el fósforo (P). Tras un incendio, procesos como la mineralización y la nitrificación se aceleran, incrementando temporalmente la disponibilidad de compuestos minerales en el suelo.

Aunque este pulso de nutrientes puede favorecer la regeneración inicial, conlleva el riesgo de provocar desbalances en los procesos ecosistémicos y aumentar la vulnerabilidad a la pérdida de nutrientes por lixiviación o escorrentía, especialmente en suelos ya erosionados como



los documentados en la cuenca. En este contexto, la madera muerta (troncos, ramas y tocones) que permanece en el terreno actúa como un reservorio clave, amortiguando estas pérdidas y contribuyendo a la recuperación de la estabilidad del ecosistema a largo plazo.

Este entendimiento de los procesos post-incendio fundamenta directamente las acciones propuestas en el plan de manejo. La combinación de incendios recurrentes y prácticas agrícolas inadecuadas ha acelerado la degradación en la cuenca, lo que requiere intervenciones urgentes. Por ello, las acciones de creación de brigadas locales de prevención y control de incendios y la implementación de prácticas de manejo de combustibles (como la creación de cortafuegos y la eliminación controlada de material inflamable) no solo buscan prevenir y controlar los incendios, sino también minimizar su severidad para proteger la estructura y funcionalidad del suelo, conservando así los reservorios naturales de nutrientes y sentando las bases para una restauración más resiliente

2. Amenaza de especies invasoras: más allá de la competencia biológica

El registro de un 12% de especies invasoras en el inventario florístico (e.g., *Dichrostachys cinerea*, *Leucaena leucocephala*) constituye un indicador cuantitativo de la presión antrópica sobre la cuenca. Este hallazgo confirma el patrón global descrito por Pyšek et al. (2020), quienes señalan que estas especies se establecen con mayor facilidad en hábitats degradados por actividades como la deforestación y la fragmentación del paisaje. En la cuenca del Cupaynicú, las áreas afectadas por incendios y talas funcionan como zonas de oportunidad para estos invasores, que no solo desplazan a la flora nativa, sino que también intensifican y perpetúan el ciclo de degradación.

Al establecerse, las especies invasoras modifican procesos ecosistémicos fundamentales: alteran los ciclos de nutrientes y la hidrología del suelo, transforman la estructura del hábitat e incluso pueden alterar los regímenes naturales de perturbación. Esto genera un círculo vicioso donde la degradación inicial facilita la invasión, y esta, a su vez, profundiza la degradación, amplificando la vulnerabilidad de todo el sistema ecológico.

Por consiguiente, el manejo de este problema requiere una estrategia dual que interrumpa este ciclo. En coherencia con este diagnóstico, el plan de acciones propuesto integra de manera complementaria: 1) el monitoreo y la erradicación temprana de focos de invasión para contener su expansión, y 2) la restauración activa de las áreas degradadas (principalmente por incendios y



talas) mediante la reintroducción de especies nativas. Esta combinación de medidas busca no solo controlar el síntoma (las poblaciones invasoras), sino también atacar la causa subyacente (el hábitat perturbado), fortaleciendo así la resiliencia ecológica de la cuenca a largo plazo.

3. Matriz de Vester

La identificación de la degradación del suelo como problema crítico mediante la Matriz de Vester confirma la utilidad práctica de esta herramienta para el diagnóstico ambiental, coincidiendo con lo planteado por Velandia et al. (2016), quienes destacan su valor para obtener una visión ordenada de los factores del sistema, identificar las variables de mayor peso, revelar relaciones causa-efecto y, en consecuencia, priorizar la atención en los problemas más relevantes de manera práctica.

Más allá de esta validación metodológica, el presente análisis aporta dos hallazgos significativos que profundizan en la dinámica local y, críticamente, definen el enfoque del plan de manejo. En primer lugar, se evidencia una causalidad circular: las talas ilícitas clasificadas como problema activo no solo son una causa directa de deforestación, sino que retroalimentan el problema crítico de la erosión del suelo, generando un ciclo de degradación autoalimentado. En segundo lugar, se identifica una brecha socioambiental: aunque el 50% de los encuestados habita en las márgenes del arroyo, existe una marcada desconexión entre esta comunidad y las prácticas de conservación, lo que explica la persistencia de actividades dañinas.

La conjunción de estos hallazgos un ciclo técnico de degradación y una brecha social constituye la premisa fundamental para el diseño de un manejo verdaderamente integrado. Atacar únicamente la erosión sin abordar las talas ilícitas sería insuficiente, así como promover prácticas sostenibles sin involucrar a la comunidad sería inefectivo. Por ello, las acciones propuestas se estructuran en dos ejes simultáneos e interdependientes: un eje técnico-ecológico, que prioriza la restauración del suelo y la reforestación para romper el ciclo físico de degradación; y un eje socio-institucional, que enfatiza la educación ambiental, la vigilancia comunitaria y la creación de acuerdos de gobernanza, para cerrar la brecha de conocimiento y fomentar la corresponsabilidad en la conservación. Esta doble estrategia, derivada directamente del diagnóstico de la Matriz de Vester, asegura que la solución sea integral y ataque las causas raíz, tanto ecológicas como sociales, del deterioro de la cuenca.



Conclusiones

El estudio realizado en la cuenca alta del arroyo Cupaynicú identificó 13 puntos críticos de degradación, destacándose la erosión del suelo como el problema central, agravado por la deforestación y las talas ilegales. El inventario florístico registró 57 especies, con un 13% clasificadas como invasoras, indicando un ecosistema bajo presión antrópica significativa. Estos elementos interactúan en un ciclo de retroalimentación negativa que compromete la calidad del agua y la estabilidad ecológica de la cuenca.

El plan propuesto para el manejo integrado, prioriza la restauración del suelo, el control de especies invasoras y la reforestación con nativas, respaldado por la vigilancia comunitaria y la educación ambiental. La estrategia, fundamentada en un diagnóstico técnico y social, ofrece un modelo replicable para la conservación y restauración de cuencas hidrográficas con problemáticas socioambientales similares.

Referencias bibliográficas

- Costa, M. V., Vila, D., Borelli, R., Patrick, E., & Fernandes, F. (2022). Urban watershed management prioritization using the rapid impact assessment matrix (RIAM-UWMAP), GIS and field survey. *Environmental Impact Assessment Review*, 94, 106759. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195925522000257>
- Da Silva, T., Antunes, L., Vieira, L., Cionek, V. D. M., Kumar, S., Benedito, E., & Do Couto, E. V. (2023). Evaluating land use impacts on water quality: Perspectives for watershed management. *Sustainable Water Resources Management*, 9(6), 192. <https://doi.org/10.1007/s40899-023-00968-2>
- García, Y. (2017). Índice de vulnerabilidad del recurso hídrico con fines de riego en la cuenca hidrográfica del río Naranjo, Cuba. *Revista Geográfica de América Central*, 1(58), 315-330. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/9384>
- Hernández, M. C., Alanís, E., Sandoval, R., Molina, V. M., Jiménez, J., Aguirre, O. A., & Cuellar, L. G. (2025). Spatio-temporal changes of riparian vegetation in the Monterrey hydrological subbasin, Nuevo León. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 22(50), 11-19. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-25042025000100011&script=sci_arttext&tlng=en



- Meli, P., Ellison, D., Ferraz, S. F. B., Filoso, S., & Brancalion, P. H. S. (2024). On the unique value of forests for water: Hydrologic impacts of forest disturbances, conversion, and restoration. *Global Change Biology*, 30(2), e17162. <https://doi.org/10.1111/gcb.17162>
- Nasirzadehdizaji, R., & Akyuz, D. E. (2022). Predicting the potential impact of forest fires on runoff and sediment loads using a distributed hydrological modeling approach. *Ecological Modelling*, 468, 109959. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380022000771>
- Oviedo, R., González-Oliva, L., Regalado, L., Hechavarría, L., Herrera, P., Hernández, J. A., Castañeira, M. A., & Brull, G. (2012). Protocolo para la detección y manejo de plantas invasoras o potencialmente invasoras en áreas naturales y seminaturales de Cuba. *Bisbea*, 6(1), 97-112. https://www.researchgate.net/profile/Lisbet-Gonzalez-Oliva/publication/262935930_Protocolo_para_la_deteccion_y_manejo_de_plantas_invasoras_o_potencialmente_invasoras_en_areas_naturales_y_seminaturales_de_cuba/links/0a85e53963a2f5175e000000/Protocolo-para-la-deteccion-y-manejo-de-plantas-invasoras-o-potencialmente-invasoras-en-areas-naturales-y-seminaturales-de-cuba.pdf
- Paiva, K., Rau, P., Montesinos, C., Lavado-Casimiro, W., Bourrel, L., & Frappart, F. (2023). Hydrological response assessment of land cover change in a Peruvian Amazonian Basin impacted by deforestation using the SWAT model. *Remote Sensing*, 15(24), 5774. <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/24/5774>
- Pyšek, P., Hulme, P. E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T. M., Carlton, J. T., Dawson, W., Essl, F., Foxcroft, L. C., Genovesi, P., Jeschke, J. M., Kühn, I., Liebhold, A. M., Mandrak, N. E., Meyerson, L. A., Pauchard, A., Pergl, J., Roy, H. E., Seebens, H., ... Richardson, D. M. (2020). Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*, 95(6), 1511-1534. <https://doi.org/10.1111/brv.12627>
- Rai, P. K., & Singh, J. S. (2020). Invasive alien plant species: Their impact on environment, ecosystem services and human health. *Ecological indicators*, 111, 106020. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X19310167>
- Rodríguez, I., González, F., Reyes, N., & Betancourt, I. (2023). Principales problemas ambientales en la finca La Victoria del municipio Guisa, Granma, Cuba. *Chone, Ciencia*



y Tecnología, 1(02). <https://www.cct-uleam.info/index.php/chone-ciencia-y-tecnologia/article/view/62>

- Sullivan, J. R., & Nazaire, M. (2022). Specimen collection and preparation for a changing flora. *Rhodora*, 123(993), 50-66. <https://bioone.org/journals/rhodora/volume-123/issue-993/20-32/Specimen-Collection-and-Preparation-for-a-Changing-Flora/10.3119/20-32.short>
- Turiel-Santos, S., Calvo, L., Kotze, D. J., & Taboada, A. (2025). Long-term impact of an extreme wildfire and salvage logging legacies on ecosystem services provision: Decomposition and nutrient cycling in fire-prone Mediterranean pine forests. *Forest Ecology and Management*, 576, 122381. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112724006935>
- Velandia, J. F., Trujillo, D. F., & Saénz, D. E. (2016). Análisis de la influencia de los atributos ambientales en el valor de los predios de la vereda El Salto. *SOCIAL REVIEW. International Social Sciences Review/Revista Internacional de Ciencias Sociales*, 5(2), 365-380. <https://edulab.es/revSOCIAL/article/view/92>

