

Revista Cubana de Ciencias Forestales

Volumen 13, número 2; 2025, mayo-agosto



Características geomorfológicas y pérdida de cobertura vegetal en la cuenca del río Ayampe

Geomorphological characteristics and loss of vegetation cover in the Ayampe River basin

Características geomorfológicas e perda de cobertura vegetal na bacia do rio Ayampe

Luis Fernando Lucio Villacreses^{1*}  Edgar Mauro Caicedo Tapia¹ 
Mónica Virginia Tapia Zúñiga¹ 

¹Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Manabí, Ecuador.

*Autor para la correspondencia: luis.lucio@unesum.edu.ec

Recibido: 07/01/2025.

Aprobado: 17/07/2025.

Publicado: 18/07/2025.

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo caracterizar la geomorfología y analizar los cambios en la cobertura vegetal de la cuenca del río Ayampe, Ecuador, durante el período comprendido entre 1990 y 2022, con el fin de generar insumos técnicos para la gestión sostenible del territorio. La metodología combinó el análisis morfométrico del relieve con el procesamiento geoespacial de imágenes satelitales y el uso de índices de



vegetación y agua. Se aplicaron herramientas de análisis multitemporal para evaluar la evolución de seis tipos de cobertura del suelo y se calcularon parámetros geomorfológicos como pendiente media, coeficiente de compacidad, tiempo de concentración y capacidad de retención hídrica. Los resultados evidenciaron una pérdida significativa de bosques (-78,66 km²) y cuerpos de agua (-1,31 km²), mientras que la tierra agropecuaria (+80,08 km²) y las zonas antrópicas (+3,80 km²) aumentaron considerablemente. También se identificaron bajos niveles de humedad superficial y fragmentación del paisaje, especialmente en áreas agrícolas. La morfología alargada y la alta pendiente media reflejan una cuenca con escasa capacidad de almacenamiento hídrico y alta susceptibilidad a la erosión. Se concluye que se requieren acciones urgentes de conservación y restauración, así como una planificación territorial articulada por parte de los Gobiernos Autónomos Descentralizados para asegurar el equilibrio entre desarrollo humano y sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: gestión de cuencas, ordenamiento; planificación; reforestación

ABSTRACT

This study aimed to characterize the geomorphology and analyze changes in vegetation cover in the Ayampe River basin, Ecuador, from 1990 to 2022, in order to generate technical inputs for sustainable land management. The methodology combined morphometric relief analysis with geospatial processing of satellite images and the use of vegetation and water indices. Multitemporal analysis tools were applied to evaluate the evolution of six land cover types, and geomorphological parameters such as mean slope, compactness coefficient, time of concentration, and water retention capacity were calculated. The results showed a significant loss of forests (-78.66 km²) and water bodies (-1.31 km²), while agricultural land (+80.08 km²) and anthropogenic zones (+3.80 km²) increased considerably. Low levels of surface moisture and landscape fragmentation were also identified, especially in agricultural areas. The elongated morphology and steep average slope reflect a basin with limited water storage capacity and high susceptibility to erosion. It is concluded that urgent conservation and restoration actions are required, as well as coordinated territorial planning by the Decentralized



Autonomous Governments to ensure a balance between human development and environmental sustainability.

Keywords: watershed management; land use zoning, planning, reforestation

RESUMO

Este estudo teve como objetivo caracterizar a geomorfologia e analisar as mudanças na cobertura vegetal da bacia do rio Ayampe, Equador, entre 1990 e 2022, a fim de gerar subsídios técnicos para a gestão sustentável do território. A metodologia combinou a análise morfométrica do relevo com o processamento geoespacial de imagens de satélite e o uso de índices de vegetação e água. Ferramentas de análise multitemporal foram aplicadas para avaliar a evolução de seis tipos de cobertura do solo, e parâmetros geomorfológicos como inclinação média, coeficiente de compacidade, tempo de concentração e capacidade de retenção hídrica foram calculados. Os resultados revelaram uma perda significativa de florestas (-78,66 km²) e corpos d'água (-1,31 km²), enquanto as terras agropecuárias (+80,08 km²) e as zonas antrópicas (+3,80 km²) aumentaram consideravelmente. Também foram identificados baixos níveis de umidade superficial e fragmentação da paisagem, especialmente em áreas agrícolas. A morfologia alongada e a alta inclinação média refletem uma bacia com baixa capacidade de armazenamento hídrico e alta suscetibilidade à erosão. Conclui-se que são necessárias ações urgentes de conservação e restauração, bem como um planejamento territorial articulado pelos Governos Autônomos Descentralizados, para garantir o equilíbrio entre o desenvolvimento humano e a sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: gestão de bacias hidrográficas; ordenamento; planejamento; reforestación



INTRODUCCIÓN

Desde la perspectiva de la ingeniería forestal, la comprensión de las características geomorfológicas de una cuenca hidrográfica es esencial para diagnosticar el comportamiento del relieve, los procesos erosivos, el drenaje natural y la distribución espacial del agua. Este conocimiento permite orientar acciones concretas en conservación de suelos, manejo de cuencas y planificación territorial sostenible, especialmente en zonas donde confluyen actividades humanas intensas y una geodinámica activa.

La geomorfología, al ofrecer un marco para entender cómo se estructura y transforma el paisaje, ha cobrado creciente relevancia en estudios aplicados a la gestión ambiental. En este contexto, herramientas como el análisis morfométrico, el uso de modelos digitales del terreno y la interpretación geoespacial permiten caracterizar las unidades del relieve y prever su influencia sobre los flujos hídricos superficiales. Desde una mirada integrada, estos enfoques han sido utilizados en diversas regiones de América Latina para diagnosticar cuencas sometidas a presiones naturales y antrópicas, revelando la utilidad de esta información para reducir riesgos, planificar el uso del suelo y diseñar estrategias de mitigación.

Investigaciones realizadas en México, Argentina, Colombia, Chile y Perú demuestran que la caracterización geomorfológica permite identificar relaciones clave entre el relieve, el uso del suelo y los procesos hidrológicos. Estudios como los de Mora *et al.* (2016), de Ferreras-Munguía (2003), Asprilla-Mosquera (2020) y Alencar da Silva *et al.* (2021) han evidenciado cómo el análisis morfométrico y multitemporal contribuye a una mejor gestión del territorio en contextos con alta variabilidad topográfica y creciente presión humana. En Ecuador, trabajos recientes también destacan la importancia de incorporar el enfoque geomorfológico en la planificación de infraestructuras y la gestión de microcuencas en regiones costeras y amazónicas (Brito *et al.*, 2021; Guerrero *et al.*, 2023).

En este marco, la cuenca del río Ayampe, ubicada en la provincia de Manabí, representa un espacio crítico por sus condiciones fisiográficas particulares y la creciente presión antrópica asociada al turismo, el cambio de cobertura vegetal y la variabilidad climática.



No obstante, aún persiste una limitada caracterización del relieve en esta zona, lo cual dificulta la implementación de medidas técnicas y normativas para una gestión integral del territorio (GAD Ayampe, 2021; GAD Puerto López, 2020).

El presente estudio tiene como objetivo caracterizar la geomorfología de la cuenca del río Ayampe mediante análisis geoespacial y parámetros morfométricos, con el fin de generar insumos técnicos que orienten la gestión integrada del territorio y la conservación de los recursos naturales en esta zona costera del Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La cuenca del río Ayampe tiene como centroide la coordenada 536748,09 Este y 9814774,81 Norte. Cubre una superficie total de 711,08 km², distribuidos entre los cantones Jipijapa (285,06 km²), Puerto López (182,32 km²) y Paján (2,37 km²) en Manabí, y en la provincia de Santa Elena (241,33 km²). La cuenca presenta una topografía variada, que incluye planicies, colinas y áreas montañosas, lo que favorece una diversidad de microclimas y ecosistemas. El clima es tropical, con temperaturas promedio de 25 °C y una estación lluviosa que se extiende de enero a mayo (Cauti, 2022). En términos ecológicos, forma parte de una zona de transición entre el bosque seco y el bosque húmedo tropical, clasificada por el Ministerio del Ambiente del Ecuador (2013) como una región de alta biodiversidad y vulnerabilidad ambiental. En la Figura 1, se presenta la ubicación geográfica de Ecuador y la cuenca del río Ayampe.

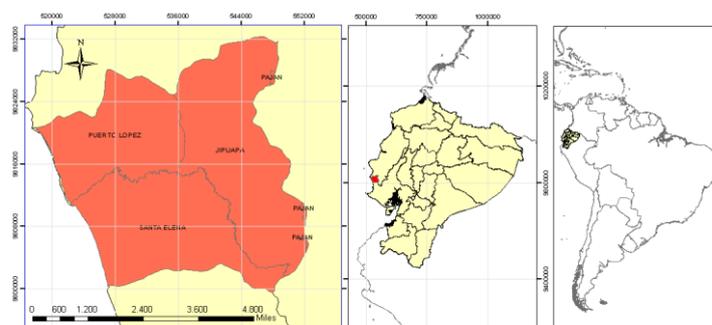


Figura 1. - Ubicación espacial de la cuenca del río Ayampe



La cobertura vegetal en la cuenca incluye especies nativas como *Ceiba trischistandra*, *Tabebuia chrysantha* y *Bursera graveolens*, que poseen un valor ecológico, cultural y económico significativo para las comunidades locales (GAD Ayampe, 2011). Parte de la cuenca ha sido incorporada al Sistema Nacional de Áreas Protegidas, debido a su papel en la provisión de servicios ecosistémicos como la regulación climática, la purificación del agua y la conservación del suelo (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2008). No obstante, la expansión de zonas agropecuarias y antrópicas ha alterado progresivamente el paisaje natural y la pérdida de cobertura boscosa en más de 80 km² (Mora *et al.*, 2016; GAD Ayampe, 2021).

La variación de la temperatura y la precipitación en los últimos 40 años se muestra en la Figura 2. Se observa que en el año 1983 la precipitación anual es extremadamente alta y representando una anomalía climática y en el año 1985, al contrario, se observa una precipitación anual muy baja.

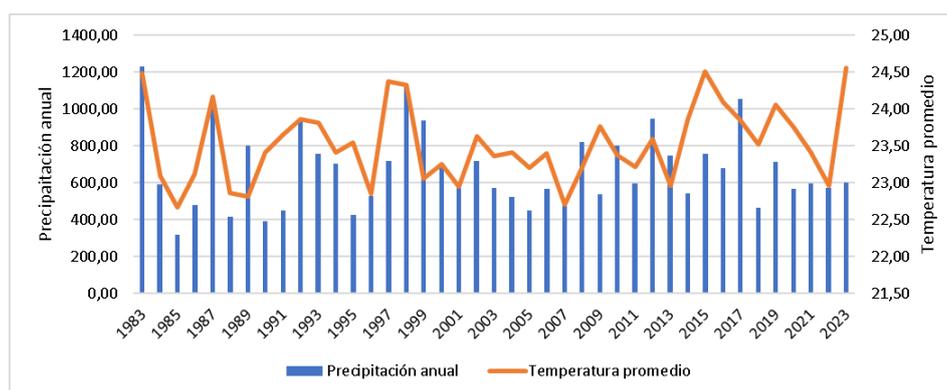


Figura 2. - Variación de la temperatura entre 1983 – 2023

Fuente: Harris, I., Osborn, T.J., Jones, P. & Lister, D.H. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Sci Data* 7, 109 (2020). <https://rdcu.be/b3nUI>

Procedimiento desarrollado

El análisis de las características geomorfológicas y la evolución de la cobertura del suelo en la cuenca del río Ayampe se desarrolló mediante un enfoque integrado de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y análisis estadístico multitemporal, empleando los programas QGIS v3.40.3 y RStudio v4.2.2 como entornos principales de trabajo. El procedimiento desarrollado se presenta a continuación:



1. Delimitación y organización espacial de la cuenca: Se utilizó un modelo digital de elevación (MDE) y herramientas hidrológicas de QGIS para delimitar la cuenca del río Ayampe. La región de interés se definió mediante recorte vectorial, integrando capas administrativas de cantones, parroquias y microcuencas. Este procedimiento permitió establecer los límites naturales de escurrimiento y facilitar la generación de productos cartográficos de análisis (Cauti, 2022; Brito *et al.*, 2021).
2. Clasificación de cobertura del suelo: Para evaluar los cambios en el uso del suelo, se trabajó con imágenes Landsat de los años 1990 y 2022. Se realizaron procesos de corrección geométrica, reproyección y recorte con base en la cuenca. En QGIS, se clasificaron seis tipos de cobertura: bosque, tierra agropecuaria, vegetación arbustiva y herbácea, zonas antrópicas, cuerpos de agua y otras tierras, siguiendo criterios similares a los empleados por Guerrero *et al.* (2023) y Mora *et al.* (2016). Se aplicaron las herramientas dissolve e intersection para unificar y analizar polígonos temáticos, facilitando la comparación multitemporal.
3. Análisis morfométrico y geomorfológico: El MDE también sirvió para derivar parámetros morfométricos clave como pendiente media, longitud del canal principal, densidad de drenaje, sinuosidad y tiempo de concentración, empleando fórmulas propuestas por Strahler (1952), Schumm (1956), Gravelius y Horton (1945). Estos cálculos permitieron interpretar la evolución morfodinámica de la cuenca, así como su susceptibilidad a procesos erosivos e hidrológicos extremos. Los parámetros calculados incluyen:
 - a. Parámetros básicos: superficie, perímetro, elevaciones mínimas y máximas, longitud del cauce principal.
 - b. Relaciones de forma: coeficiente de compacidad, relación de elongación, relación de circularidad, factor de forma.
 - c. Parámetros del drenaje: densidad de drenaje, sinuosidad, número de transmisiones, orden de corriente, longitud media de cauces.
 - d. Tiempos de concentración: aplicando fórmulas de Kirpich, USDA, Témez, Giandotti, Bransby-Williams, entre otras.
 - e. Otros índices: índice de robustez, índice de masividad, gradiente del canal, índice orográfico.



4. Cálculo de índices espectrales y análisis estadístico: Los índices SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) y NDWI (Normalized Difference Water Index) se calcularon mediante expresiones ráster en QGIS, utilizando las bandas espectrales necesarias extraídas de Landsat. Posteriormente, los valores fueron exportados y procesados en RStudio, mediante análisis exploratorio de datos con los paquetes raster, dplyr y ggplot2. Este procedimiento fue basado en metodologías similares aplicadas por Alencar da Silva *et al.* (2021) y Pabón (2022) para interpretar dinámicas de cobertura vegetal y disponibilidad hídrica.
5. Se aplicaron los índices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), EVI (Enhanced Vegetation Index), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) y NDWI (Normalized Difference Water Index) a partir de las bandas espectrales correspondientes de imágenes Landsat 8. Los índices fueron generados mediante operaciones ráster en QGIS y validados mediante cálculos en RStudio v4.2.2, utilizando los paquetes raster, terra, ggplot2 y factoextra. El procedimiento consistió en:
 - a. Importar las bandas (B2, B3, B4 y B5) y construir composiciones de falso color (B4-B3-B2 y B5-B4-B3) para visualización e interpretación preliminar. Luego se calcularon los índices de vegetación y agua utilizando expresiones algebraicas rasterizadas. Se realizaron análisis gráficos como histogramas, mapas temáticos y comparaciones entre valores crudos y umbrales específicos (por ejemplo, $NDVI < 0.4$), para identificar niveles de estrés hídrico, cobertura vegetal escasa y zonas con posible degradación ambiental.
 - b. Además, el índice SAVI permitió corregir la influencia del suelo desnudo, mientras que el NDWI se empleó para evaluar la humedad superficial y posibles masas de agua. El uso combinado de NDVI, EVI, SAVI y NDWI ofreció una visión más precisa del estado ecológico de la cuenca, siguiendo metodologías similares a las empleadas por Alencar da Silva *et al.* (2021) y Pabón (2022).
6. Validación y síntesis de resultados: Los resultados obtenidos fueron contrastados con estudios locales previos, reportes técnicos del Ministerio del Ambiente del Ecuador (2008, 2013) y de los GAD de Ayampe y Puerto López (2020, 2021). Esta triangulación permitió validar los cambios detectados en cobertura y morfología,



fortaleciendo las inferencias sobre degradación, riesgos y potenciales de restauración en la cuenca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cambio de uso de suelo en la cuenca del río Ayampe

El análisis comparativo de la cobertura del suelo en la cuenca del río Ayampe entre los años 1990 y 2022 revela transformaciones sustanciales en el uso del territorio. Según los datos presentados en la Tabla 1, se evidencia una pérdida considerable de bosques (-78,66 km²), cuerpos de agua (-1,31 km²), vegetación arbustiva y herbácea (-2,24 km²), así como una reducción de otras tierras (-1,67 km²). En contraste, se registra un incremento pronunciado en la superficie destinada a actividades agropecuarias (+80,08 km²) y, en menor medida, un aumento en las zonas antrópicas (+3,80 km²), lo cual apunta a un proceso de conversión del paisaje natural hacia usos agrícolas, ganaderos y urbanos (Tabla 1).

Tabla 1. - Variación de la cobertura entre el año 1990 y el año 2022

Cobertura	Año 1990	Año 2022	Variación
Cuerpo de agua	1,53	0,22	-1,31
Tierra agropecuaria	85,5	165,58	80,08
Bosque	611,08	532,42	-78,66
Vegetación arbustiva y herbácea	9,84	7,6	-2,24
Otras tierras	1,8	0,13	-1,67
	1,33	5,13	3,8
Total	711,08	711,08	0,00

Estos resultados son coherentes con lo señalado por Mora *et al.* (2016), quienes advierten que la transformación acelerada del paisaje en ausencia de planificación territorial efectiva genera desequilibrios que repercuten negativamente en la calidad del recurso hídrico y la estabilidad geomorfológica de la cuenca. Asimismo, la reducción de cuerpos de agua y la pérdida de vegetación arbustiva refuerzan lo argumentado por el Ministerio del Ambiente del Ecuador (2013), en cuanto a que la presión antrópica sobre los



ecosistemas ribereños afecta la disponibilidad hídrica superficial, reduce la biodiversidad local y altera los ciclos hidrológicos. Si bien estas dinámicas son comunes en muchas cuencas del litoral ecuatoriano, la magnitud de la pérdida de bosque en Ayampe es particularmente alarmante, lo que nos lleva a coincidir plenamente con Pabón (2022), quien plantea que estos procesos deben ser abordados mediante políticas de restauración ecológica y zonificación ambiental urgente. En la Figura 3, se observará el incremento del área agropecuaria en la cuenca del río Ayampe entre 1990 y 2022 y por ende el desplazamiento de la cobertura vegetal.

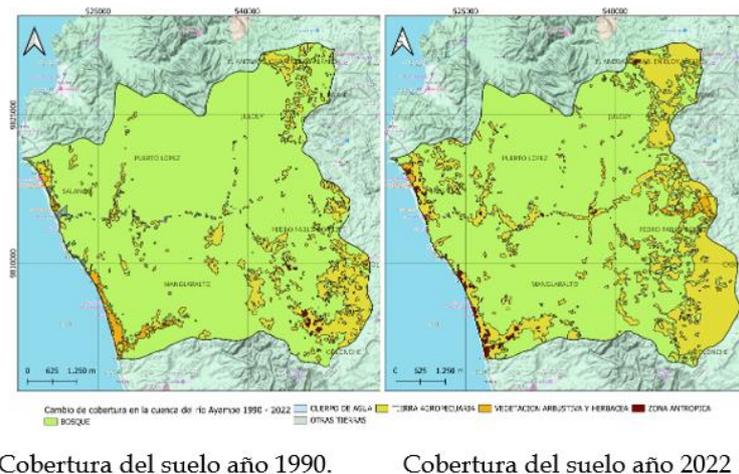


Figura 3. - Cambios en la cobertura del suelo en la cuenca del río Ayampe

El crecimiento de zonas antrópicas es moderado en comparación con la expansión agrícola, y señala un proceso incipiente de urbanización que podría intensificarse en los próximos años. Este fenómeno ha sido ampliamente discutido por García (2022), quien sostiene que los Gobiernos Autónomos Descentralizados tienen una responsabilidad clave en la gestión del suelo y el control del crecimiento urbano en territorios ambientalmente frágiles. En este sentido, coincidimos con su planteamiento de que la planificación local debe integrar los análisis multitemporales de cobertura como insumos fundamentales para orientar el desarrollo hacia escenarios de sostenibilidad.

En conjunto, estos cambios en la cobertura del suelo ratifican la necesidad de adoptar un enfoque de manejo integral de cuencas que combine la conservación de remanentes boscosos, la recuperación de ecosistemas estratégicos y la regulación del uso del suelo en función de criterios técnicos y ecológicos. La evidencia aquí presentada constituye una base sólida para que las autoridades territoriales y ambientales prioricen



intervenciones que frenen la pérdida de cobertura vegetal y aseguren la resiliencia de los ecosistemas frente a la presión antrópica y al cambio climático.

Caracterización morfométrica de la cuenca

La morfología alargada de la cuenca del río Ayampe, reflejada por un coeficiente de compacidad de 1,37 y una relación de circularidad de 0,53, junto con una pendiente media de 30,94 %, indica alta capacidad de escurrimiento y limitada retención hídrica. Esta configuración favorece la concentración rápida de caudales y la erosión, lo cual ha sido documentado en cuencas similares por Alencar da Silva *et al.* (2021) y Guerrero *et al.* (2023). La curva hipsométrica (Figura 4) muestra un patrón intermedio de maduración geomorfológica, con evidencia de erosión significativa, pero sin alcanzar aún un estado de equilibrio morfodinámico. Este perfil sugiere que los procesos de modelado del relieve continúan activos, lo que refuerza la necesidad de aplicar medidas de conservación de suelos y estructuras de control en laderas medias y altas, tal como recomiendan Pabón (2022) en cuencas con dinámica erosiva activa en el litoral ecuatoriano

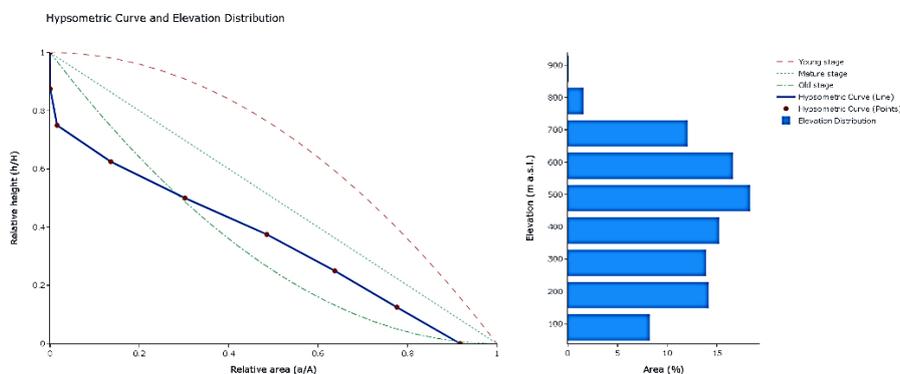


Figura 4. - Curva hipsométrica y elevaciones en la cuenca del río Ayampe

La mayor concentración del área de la cuenca se encuentra entre los 400 y 600 metros sobre el nivel del mar, lo que indica una predominancia de elevaciones intermedias características de terrenos montañosos con pendientes moderadas. Esta distribución altitudinal es clave en el análisis de erosión y vulnerabilidad, ya que dichas zonas suelen presentar mayores riesgos de inestabilidad del suelo y deslizamientos, especialmente bajo condiciones de uso intensivo o pérdida de cobertura vegetal. En estudios recientes, Guerrero *et al.* (2023) destacan que las áreas en este rango altitudinal en la costa de



Manabí presentan alta susceptibilidad a procesos erosivos, por lo que deben ser priorizadas en estrategias de conservación y planificación territorial.

La rapidez en la respuesta a eventos de precipitación se ve reflejada en el tiempo de concentración estimado por el método de Kirpich (5,7 horas), lo cual refuerza la hipótesis de una cuenca con dinámica de escurrimiento acelerada. Esta condición ha sido también documentada por Asprilla (2020) en su análisis multitemporal de la cuenca del río Quito en Colombia, y por Guerrero *et al.* (2021) en microcuencas de la costa manabita, donde encontraron que las pendientes elevadas y la pérdida de cobertura vegetal intensifican la respuesta hidrológica. A diferencia de estos estudios, donde las actividades mineras o la urbanización eran los principales motores del cambio, en Ayampe la transformación del paisaje ha estado dominada por la expansión agropecuaria.

Los valores del coeficiente de almacenamiento (0,29) y del índice de infiltración (0,34) indican una limitada capacidad de retención hídrica, lo cual es consistente con lo observado en la cuenca del Salado Bajo en Chile (Alencar da Silva *et al.*, 2021), donde se relaciona esta baja retención con deficiencias en la cobertura vegetal y un suelo con estructura degradada. En este punto, se discrepa parcialmente con los autores en cuanto a que estas condiciones derivan exclusivamente de características edáficas. En el caso de Ayampe, los patrones de uso del suelo y la falta de estructuras de conservación también influyen de manera significativa, lo que refuerza la necesidad de incorporar un enfoque más integral en el manejo territorial de la cuenca.

La red de drenaje de la cuenca, con una densidad de 0,68 km/km² y una sinuosidad del canal principal de 1,42, sugiere un sistema moderadamente eficiente, pero sin amortiguadores naturales suficientes. En consonancia con esto, Guerrero *et al.* (2021) argumentan que, en cuencas costeras ecuatorianas con condiciones similares, la escasa vegetación de ribera y la falta de infraestructura de retención conducen a una escorrentía concentrada, lo que incrementa el riesgo de eventos extremos. En este punto, coincidimos totalmente con estos hallazgos, pero en el caso de Ayampe, existe aún una ventana de oportunidad para implementar medidas correctivas antes de alcanzar un punto crítico de degradación.



Frente a este escenario, los resultados sustentan la necesidad urgente de aplicar estrategias de manejo hídrico adaptadas a la morfología de la cuenca. Las albarradas en quebradas con pendientes mayores al 30 % y las trincheras de infiltración en zonas agrícolas representan opciones viables y de bajo costo que podrían reducir significativamente la velocidad del escurrimiento, facilitar la recarga hídrica y mejorar la estabilidad de los suelos (MAE, 2013; Pabón, 2022). Estas acciones, ya recomendadas por diversos autores en contextos similares, deben ser integradas en la planificación local con un enfoque ecosistémico.

Finalmente, se concuerda con García (2022) en que los Gobiernos Autónomos Descentralizados tienen una función clave en la aplicación de políticas basadas en evidencia científica. La información morfométrica aquí discutida constituye una herramienta técnica de alto valor para orientar procesos de ordenamiento territorial, delimitar zonas de riesgo y priorizar intervenciones en áreas críticas. La gestión integrada de cuencas, en este sentido, debe ser entendida no solo como una acción técnica, sino como un compromiso institucional con el desarrollo sostenible y la resiliencia ambiental.

Índices espectrales de la cuenca del río Ayampe

La Figura 5 evidencia una cobertura vegetal moderada en la cuenca del río Ayampe, con valores de SAVI concentrados entre 0,3 y 0,6 y un pico cercano a 0,5, lo que indica presencia de vegetación en estado intermedio, combinando áreas conservadas con sectores degradados. Este patrón se alinea con lo reportado por Peña et al. (2019) y Álvarez y Ludeña (2021), quienes destacan la utilidad del SAVI para identificar mosaicos de vegetación en paisajes fragmentados por la expansión agropecuaria. La distribución espacial muestra que las zonas mejor conservadas se ubican en las partes altas, mientras que las áreas de menor índice coinciden con regiones agrícolas o en proceso de transformación. Estos resultados reflejan una dinámica de presión antrópica creciente, lo que refuerza la necesidad de aplicar estrategias de conservación y restauración diferenciadas según el estado de la cobertura vegetal.



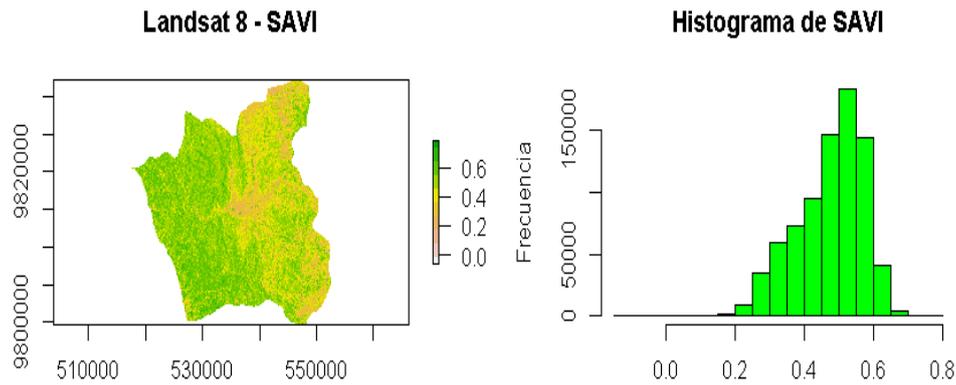


Figura 5. - Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)

La Figura 6 muestra el NDWI en la cuenca del río Ayampe, con valores mayoritariamente negativos entre -0.4 y -0.2, y un pico en -0.3, lo que evidencia baja humedad superficial en gran parte del territorio. Esta condición sugiere escasa presencia de cuerpos de agua y limitada retención hídrica, posiblemente debido a la pérdida de cobertura vegetal y al uso intensivo del suelo. Resultados similares han sido reportados por Cauti (2022) en cuencas con presión antrópica y cobertura degradada. En este contexto, el NDWI permite identificar zonas críticas donde se requieren acciones como cosecha de agua de lluvia, restauración de riberas y reforestación con especies nativas adaptadas a condiciones secas.

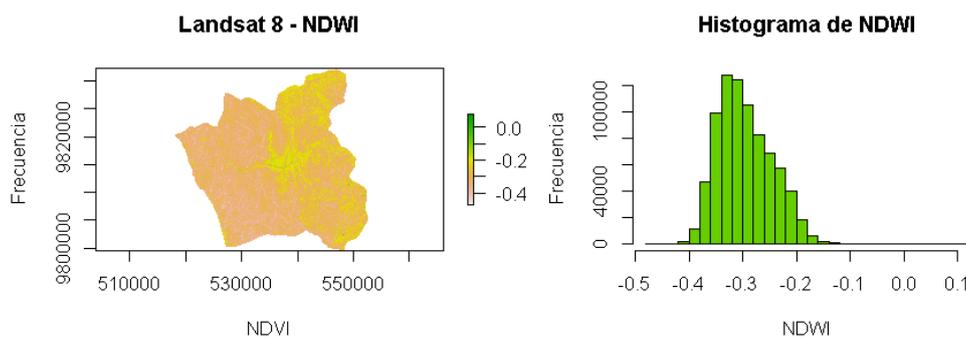


Figura 6. - Índice de Diferencia Normalizada de Agua (NDWI)



CONCLUSIONES

El presente estudio demostró que la cuenca del río Ayampe presenta una configuración geomorfológica con alta pendiente media, morfología alargada y baja capacidad de almacenamiento hídrico, lo que la hace particularmente vulnerable a procesos de escorrentía intensa, erosión y posibles eventos extremos como inundaciones. Estos parámetros, junto con la curva hipsométrica obtenida, sitúan a la cuenca en una fase de maduración geomorfológica intermedia, donde los procesos de modelado del relieve aún están activos.

Los análisis multitemporales de cobertura del suelo evidenciaron una pérdida considerable de vegetación natural en las últimas tres décadas, con un aumento significativo del uso agropecuario. Esta transformación ha reducido la cobertura protectora del suelo y ha impactado negativamente en la humedad superficial, tal como fue confirmado por los índices espectrales NDWI y SAVI. Las zonas con valores bajos de estos índices coinciden con áreas agrícolas y degradadas, lo que refuerza la necesidad de focalizar esfuerzos de restauración en dichos sectores.

Desde una perspectiva de manejo y gestión, los resultados indican que deben priorizarse intervenciones como albarradas, zanjas de infiltración, restauración de corredores ribereños y sistemas de reforestación con especies nativas. Estas medidas contribuirían a reducir la vulnerabilidad de la cuenca y a mejorar la regulación hídrica. Asimismo, los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) deben integrar el análisis espacial y geomorfológico en sus instrumentos de planificación territorial y promover una gobernanza mancomunada, dado que la cuenca abarca varios cantones y provincias.

Finalmente, esta investigación pone en evidencia la utilidad de integrar herramientas de SIG, análisis morfométrico y evaluación espectral como base técnica para la toma de decisiones ambientales. Se sugiere, como línea futura de investigación, la incorporación de modelos hidrológicos dinámicos y la evaluación de escenarios de cambio climático para fortalecer las estrategias de adaptación y manejo sostenible en cuencas costeras de características similares.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR DA SILVA ALVES, K. M., PARODI DÁVILA, M. C., ZIMMERMANN, E. D., RODRIGUES DE LIRA, D., & DE ARAUJO MONTEIRO, K. 2021. Caracterización morfológica de la cuenca del Salado Bajo, Región de Atacama, Chile. *Investigaciones Geográficas* [en línea], ISSN 0719-5370. DOI 0.5354/0719-5370.2021.64574. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/357550929_Caracterizacion_morfologica_de_la_cuenca_del_Salado_Bajo_Region_de_Atacama_Chile.
- ÁLVAREZ, J., y LUDEÑA, P., 2021. Evaluación de la cobertura vegetal mediante índices espectrales en cuencas degradadas del litoral ecuatoriano. *Revista de Ciencias Ambientales* [en línea], vol. 45, no. 1, pp. 72-85. Disponible en: <https://doi.org/10.1234/rca.2021.45.1.072>.
- CAMPO DE FERRERAS, A.M. y MUNGUÍA, S.I., 2003. Características hidrogeomorfológicas de la cuenca del Arroyo Pescado Castigado, Buenos Aires, Argentina. *Papeles de geografía* [en línea], no. 38, pp. 137-150. [consulta: 18 julio 2025]. ISSN 1989-4627. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=919064>.
- CAUTI QUISPE, J.H., 2022. *Zonificación ambiental mediante el análisis de las características físicas y geomorfológicas de la cuenca del río Cachi, provincia Huamanga, Ayacucho - 2022* [en línea]. S.I.: Universidad Continental. [consulta: 18 julio 2025]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13383>.
- GAD AYAMPE, 2011. *Informe de biodiversidad y uso de suelo en la cuenca del río Ayampe. Puerto López, Ecuador: Gobierno Autónomo Descentralizado de Ayampe. 2011. S.I.: GAD Ayampe.*
- GAD AYAMPE., 2021. *Informe sobre el relieve y la gestión de recursos hídricos en la cuenca del río Ayampe. 2021. S.I.: GAD Ayampe.*



GAD PUERTO LÓPEZ, 2020. *Reporte de vulnerabilidad a inundaciones. Puerto López, Ecuador: Gobierno Autónomo Descentralizado de Puerto López. 2020. S.L.: GAD Puerto López.*

GARCÍA MALDONADO, M.E., 2022. Competencias ambientales y planificación territorial en los GAD del Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Gobernanza*, vol. 4, no. 2, pp. 35-52.

GUERRERO, E.E.B., 2023. Procesos erosivos en cuencas costeras del Ecuador: Evaluación morfométrica y gestión. *Revista Geografía y Territori*, vol. 8, no. 1, pp. 45-60.

GUERRERO, E.E.B., HIDROVO, E.X.V., MATA, W.J.M., MENÉNDEZ, E.A.M. y ZAMBRANO, X.H.V., 2021. Controles geomorfológicos y antrópicos en respuestas hidrológicas extremas diferenciadas de microcuencas de la costa manabita (Ecuador). *Revista de Hidrología*, vol. 29, no. 3, pp. 234-248.

MORA, L., BONIFAZ, R., & LÓPEZ-MARTÍNEZ, R. 2016. Unidades geomorfológicas de la cuenca del Río Grande de Comitán, Lagos de Montebello, Chiapas-México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* [en línea], vol. 68, no. 3, pp. 377-394. [consulta: 18 julio 2025]. ISSN 1405-3322, Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94347938001>.

PEÑA, D.F., ÁLVAREZ, J. y MOLINA, R., 2019. Aplicación de índices espectrales en el monitoreo de cobertura vegetal en cuencas semiáridas. *GeoAmbiente* [en línea], vol. 11, no. 2, pp. 110-124. Disponible en: <https://doi.org/10.5678/geoamb.2019.11.2.110>.

Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.





Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial
4.0 Internacional.

