



Cambio de cobertura vegetal y su relación con la variabilidad climática en la microcuenca del río Paján, Ecuador mediante análisis multitemporal

Vegetation cover change and its relationship with climate variability in the Paján River microbasin, Ecuador through multitemporal analysis

doi <https://doi.org/10.47230/agrosilvicultura.medioambiente.v4.n1.2026.31-44>

Recibido: 23-01-2026

Aceptado: 11-03-2026

Publicado: 01-06-2026


César Alberto Cabrera Verdesoto^{1*}

 <https://orcid.org/0000-0001-5101-3520>


Luis Fernando Lucio Villacreses⁵

 <https://orcid.org/0000-0002-3757-7183>


Cindy Geovanna Cano Zambrano²

 <https://orcid.org/0009-0009-6897-1843>

Kevin Luis Chiquito Plúa³

 <https://orcid.org/0009-0008-1921-6940>

Paola Gissell González González⁴

 <https://orcid.org/0009-0008-0450-5854>

1. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura, Carrera de Ingeniería Forestal; Jipijapa, Ecuador.
2. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura, Carrera de Ingeniería Forestal; Jipijapa, Ecuador.
3. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura, Carrera de Ingeniería Forestal; Jipijapa, Ecuador.
4. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura, Carrera de Ingeniería Forestal; Jipijapa, Ecuador.
5. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura, Carrera de Ingeniería Forestal; Jipijapa, Ecuador.

Volumen: 4

Número: 1

Año: 2026

Paginación: 31-44

URL: <https://revistas.unesum.edu.ec/agricultura/index.php/ojs/article/view/70>

***Correspondencia autor:** cesar.cabrera@unesum.edu.ec

RESUMEN

Analizar la relación entre la pérdida de cobertura vegetal y la variabilidad climática en la microcuenca del río Paján, ubicada en el cantón Jipijapa, provincia de Manabí, Ecuador. Se empleó un enfoque multitemporal (1990, 2014, 2016, 2018 y 2022) mediante el uso de información cartográfica del IGM, imágenes satelitales e índices espectrales como NDVI, BSI y NBR, integrados con análisis climático e hipsométrico en entorno SIG. Se evidenció una reducción del bosque nativo de 40,99 km² a 26,78 km² y un incremento de áreas agropecuarias de 77,20 km² a 91,14 km². En el ámbito climático, se identificó una disminución promedio de 1,02 mm de precipitación anual, mientras que la temperatura presentó variaciones poco significativas. El índice hipsométrico (HI = 0,528) indica que la cuenca se encuentra en una etapa geomorfológica madura, con laderas susceptibles a procesos erosivos. La transformación del uso del suelo y la variabilidad climática están estrechamente relacionadas, afectando la regulación hídrica, la estabilidad ecológica y la seguridad hídrica, por lo que se requieren estrategias de manejo sostenible orientadas a la reforestación, conservación de suelos y fortalecimiento del monitoreo climático.

Palabras clave: Cambio de uso del suelo, Cobertura vegetal, Índices espectrales, Microcuenca del río Paján, Variabilidad climática.

ABSTRACT

To analyze the relationship between vegetation cover loss and climate variability in the Paján River micro-basin, located in the Jipijapa canton, Manabí province, Ecuador. A multi-temporal approach (1990, 2014, 2016, 2018, and 2022) was used, employing cartographic information from the IGM (National Geographic Institute), satellite imagery, and spectral indices such as NDVI, BSI, and NBR, integrated with climate and hypsometric analysis in a GIS environment. A reduction in native forest cover from 40.99 km² to 26.78 km² and an increase in agricultural areas from 77.20 km² to 91.14 km² were observed. In terms of climate, an average decrease of 1.02 mm in annual precipitation was identified, while temperature showed only minor variations. The hypsometric index (HI = 0.528) indicates that the watershed is in a mature geomorphological stage, with slopes susceptible to erosion. Land use transformation and climate variability are closely related, affecting water regulation, ecological stability, and water security. Therefore, sustainable management strategies focused on reforestation, soil conservation, and strengthened climate monitoring are required.

Keywords: Land use change, Vegetation cover, Spectral indices, Paján River micro-basin, Climate variability.



Creative Commons Attribution 4.0
International (CC BY 4.0)

Introducción

En las últimas décadas, el cambio climático se ha consolidado como uno de los principales desafíos ambientales a escala global, al modificar los patrones de precipitación, la disponibilidad de recursos hídricos y la estabilidad de los ecosistemas. Fenómenos como el incremento de eventos extremos, la intensificación de sequías y la ocurrencia de inundaciones afectan de manera creciente el equilibrio entre los sistemas naturales y las sociedades que dependen de ellos (Gatti, 2014). Este escenario evidencia la necesidad de comprender cómo los territorios responden a la variabilidad climática y qué estrategias pueden implementarse para fortalecer su resiliencia.

En este contexto, diversos estudios han demostrado que los impactos del cambio climático se intensifican cuando se combinan con transformaciones en el uso del suelo. En la cuenca del río Chinchiná (Colombia), por ejemplo, se ha identificado una alta vulnerabilidad de los sistemas productivos frente a la variabilidad climática, afectando tanto la productividad agrícola como la estabilidad socioeconómica de las comunidades rurales (Acevedo Mejía, 2022). De manera similar, en la microcuenca del río Tabacay (Ecuador), los cambios de uso del suelo asociados a la expansión agrícola han generado alteraciones significativas en la dinámica ambiental y en la regulación hídrica (Pabón Salazar, 2022). Estos antecedentes evidencian que la problemática debe abordarse desde un enfoque de cuencas hidrográficas, considerando la interacción entre factores climáticos y antrópicos.

En Ecuador, la provincia de Manabí constituye un territorio particularmente vulnerable, donde la presión sobre los recursos naturales se combina con limitaciones en la gestión del agua. En el cantón Paján, la disminución de la cobertura vegetal y la deforestación han contribuido a la reducción de la disponibilidad hídrica, afectando directamente a las comunidades locales (Ávi-

la Tumbaco, 2023). Estudios recientes en el área de influencia de la represa de Paján evidencian una transformación progresiva del paisaje, caracterizada por la sustitución de bosques por áreas agropecuarias, lo que incrementa la vulnerabilidad frente a eventos extremos y reduce la capacidad de regulación ecológica (Donoso Agua & Yanchapaxi Merchán, 2024).

A pesar de estos avances, aún existe una limitada integración entre el análisis de la variabilidad climática y los cambios de cobertura vegetal a escala de microcuencas, lo que dificulta comprender de manera integral su impacto sobre la dinámica hidrológica y la sostenibilidad del territorio. En este sentido, la microcuenca del río Paján representa un caso de estudio relevante para analizar estas interacciones desde un enfoque multitemporal.

En este contexto, el objetivo del presente estudio es analizar la relación entre la pérdida de cobertura vegetal y la variabilidad climática en la microcuenca del río Paján, mediante el uso de herramientas geoespaciales y análisis multitemporal, con el fin de identificar tendencias de transformación ambiental y aportar lineamientos para la gestión sostenible del territorio.

Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló bajo un enfoque metodológico integrador que combina métodos histórico - lógico, análisis - síntesis, descriptivo y estadístico, con el fin de comprender la dinámica espacio temporal de la cobertura vegetal y su relación con la variabilidad climática en la microcuenca del río Paján. El método histórico - lógico permitió sistematizar cronológicamente los procesos de deforestación, expansión agropecuaria y cambios en los patrones de precipitación, facilitando la interpretación de la evolución ambiental. Por su parte, el análisis - síntesis contribuyó a la interpretación de las tablas de atributos generadas, mientras que el enfoque descriptivo permitió caracterizar los cambios de uso del suelo entre 1990 y 2022.

Finalmente, el método estadístico se empleó para el procesamiento de datos y la identificación de tendencias, en concordancia con enfoques utilizados en estudios de cambio de uso del suelo y dinámica ambiental (Lambin et al., 2003; Turner et al., 2007).

Para el desarrollo del análisis, se utilizaron artículos científicos, cartografía digital del Instituto Geográfico Militar (IGM) correspondiente a los años 1990, 2014, 2016, 2018 y 2022, así como herramientas de procesamiento en Microsoft Excel y el software de información geográfica QGIS versión 3.40.1. El uso de un enfoque geoespacial multitemporal permitió evaluar de manera comparativa los cambios en la cobertura y uso del suelo, metodología ampliamente utilizada en estudios ambientales por su precisión y capacidad de análisis espacial (Baque et al., 2021).

La delimitación del área de estudio se realizó a partir de capas vectoriales en formato Shapefile con proyección UTM WGS84 Zona 17S, descargadas del IGM. La microcuenca del río Paján fue definida mediante un polígono de recorte basado en capas hidrográficas, siguiendo metodologías de delimitación espacial propuestas por Guerrero-Casallas et al. (2020). Previo al análisis, se efectuó la corrección y validación de geometrías en QGIS, con el objetivo de garantizar la consistencia topológica de los datos y evitar errores en los procesos posteriores, conforme a las recomendaciones del QGIS (QGIS Development Team, 2022).

Posteriormente, se aplicaron procesos de intersección y disolución de polígonos para identificar coincidencias espaciales y agrupar categorías similares, lo que permitió estructurar una base cartográfica homogénea (Congedo, 2021). Las coberturas de uso del suelo fueron reclasificadas en categorías estándar (bosque, cuerpos de agua, zonas agropecuarias, vegetación secundaria y zonas antrópicas) con el fin de facilitar la comparación temporal y el análisis de tendencias (Anderson et al., 1976).

El análisis multitemporal se realizó mediante la comparación de las coberturas en los diferentes años de estudio, lo que permitió identificar patrones de cambio en la cobertura vegetal y la expansión de áreas agropecuarias, en concordancia con metodologías de evaluación espacial ampliamente utilizadas en estudios de cambio de uso del suelo (Turner et al., 2007). La representación cartográfica se desarrolló utilizando una simbología homogénea para todos los periodos, incluyendo elementos cartográficos básicos como leyendas, escalas y sistema de coordenadas (EPSG:32717), lo que facilita la interpretación visual de los resultados.

Finalmente, los datos obtenidos fueron sistematizados en tablas y gráficos en Microsoft Excel, donde se analizaron tendencias de pérdida de bosque y expansión agropecuaria mediante análisis de series temporales, lo que permitió establecer la evolución de la cobertura vegetal a lo largo del periodo de estudio.

Descripción del área de estudio

La microcuenca del río Paján, ubicada en el cantón Jipijapa, provincia de Manabí, forma parte de la vertiente hidrográfica del Pacífico ecuatoriano. Esta unidad territorial constituye un sistema socioecológico estratégico debido a su aporte hídrico para el abastecimiento de comunidades rurales, el desarrollo de actividades agropecuarias y el mantenimiento de procesos ecológicos (Baque et al., 2021).

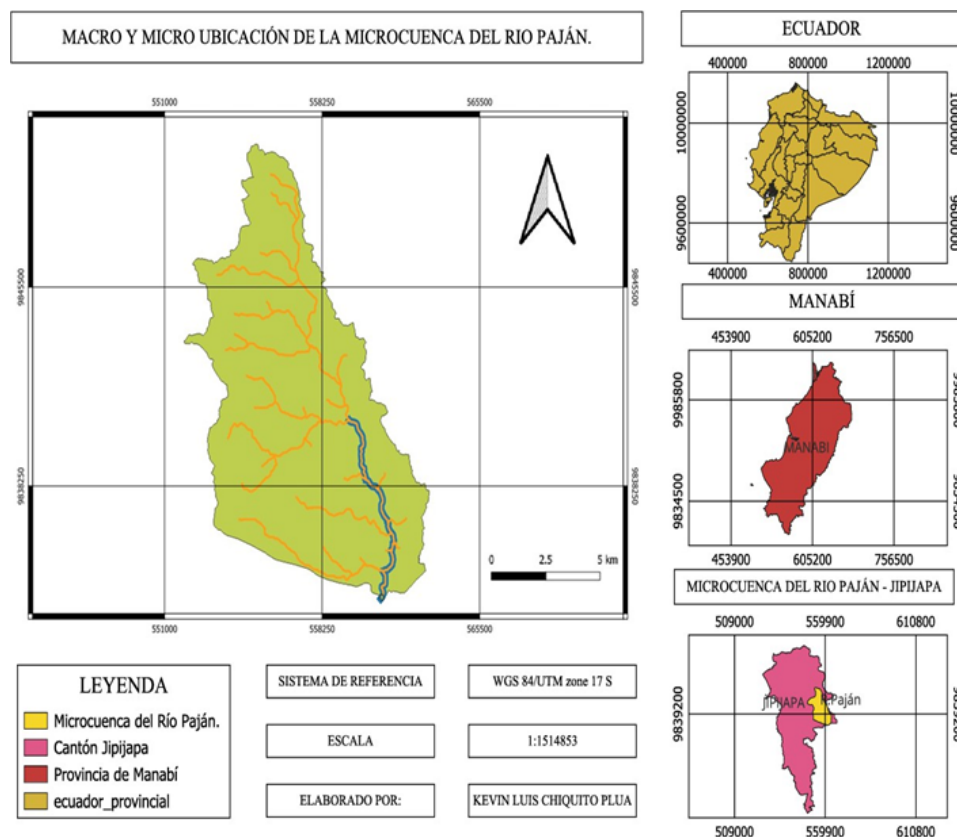
Desde el punto de vista climático, la microcuenca presenta un régimen tropical semi-húmedo característico del sur de Manabí, con temperaturas medias anuales entre 24 °C y 26 °C y precipitaciones estacionales concentradas entre enero y abril, con valores que oscilan entre 800 y 1.200 mm anuales. La variabilidad climática, influenciada por fenómenos como El Niño, genera fluctuaciones significativas en los caudales, la recarga hídrica y la productividad agrícola (Gatti, 2014).

En términos geomorfológicos, la microcuenca se caracteriza por una topografía heterogénea, con colinas de pendientes suaves a moderadas y valles estrechos, situados entre los 80 y 500 m s.n.m. Predominan suelos sedimentarios de textura franco-arenosa, medianamente fértiles, pero con alta susceptibilidad a la erosión. La red de drenaje de tipo dendrítico favorece el escurrimiento superficial, condicionando la dinámica hidrológica y el uso del suelo (Guerrero-Casallas et al., 2020).

En la Figura 1 se presenta la ubicación de la microcuenca del río Paján, situada en el cantón Jipijapa, provincia de Manabí, en la región litoral del Ecuador, caracterizada por un relieve de colinas y zonas bajas con altitudes entre 50 y 400 m s.n.m., donde predominan ecosistemas de bosque seco tropical fragmentado, así como áreas agrícolas y ganaderas.

Figura 1.

Ubicación del área de estudio



Análisis climático

El análisis climático se realizó a partir de series históricas de temperatura y precipitación correspondientes a los últimos 30 años, obtenidas mediante Google Earth Pro a partir de la delimitación de la microcuenca en formato KML y la integración de la capa "Five-Degree Blocks of Cells". Los datos mensuales fueron procesados en Microsoft Excel para calcular promedios anuales y

estacionales, siguiendo metodologías utilizadas en estudios de variabilidad climática (Pabón Salazar, 2022).

Con base en esta información, se elaboró un climograma que permitió caracterizar la dinámica térmica e hídrica de la microcuenca. Este análisis resulta fundamental para comprender la variabilidad climática del área y su influencia sobre los procesos hidrológicos y ecológicos.

Curva hipsométrica

La caracterización geomorfológica de la microcuenca se complementó mediante la elaboración de la curva hipsométrica, utilizando el software QGIS 3.40.1 y un modelo digital de elevación (MDE). Este tipo de análisis permite evaluar el estado evolutivo de las cuencas hidrográficas y su relación con los procesos erosivos (Strahler, 1952).

A partir de la delimitación de la cuenca mediante herramientas de análisis hidrológico, se extrajeron curvas de nivel y se calcularon áreas acumuladas por intervalos altitudinales, lo que permitió analizar la distribución del relieve y su influencia en la dinámica hidrológica.

Cobertura vegetal

El análisis de la cobertura vegetal se basó en un enfoque multitemporal que permitió identificar cambios en el uso del suelo y en la estructura del paisaje, metodología ampliamente utilizada en estudios de dinámica territorial (Lambin et al., 2003).

Los resultados evidencian una reducción progresiva del bosque seco tropical y una expansión sostenida de áreas agropecuarias, acompañadas por el incremento de vegetación secundaria y matorrales. Estos cambios reflejan una transformación del territorio hacia sistemas productivos menos sostenibles, con implicaciones directas sobre la regulación hídrica, la conservación del suelo y la biodiversidad (Baque et al., 2021).

Análisis de índices espectrales

Para evaluar el estado de la cobertura vegetal y las condiciones del suelo, se aplicaron índices espectrales derivados de imágenes satelitales. Se emplearon el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), ampliamente utilizado para el monitoreo de la vegetación (Tucker, 1979), el BSI (Índice de Suelo Desnudo), y el NBR (Índice de Áreas Quemadas), utilizado para identificar perturbaciones por incendios (Key & Benson, 2006). Adicionalmente, se consideran

enfoques derivados de índices ajustados a condiciones de suelo, como el propuesto por Huete (1988), que permiten mejorar la interpretación en zonas con cobertura vegetal dispersa.

El uso combinado de estos índices permite una evaluación integral del estado ambiental de la microcuenca, facilitando la detección de cambios espaciales y temporales en la cobertura vegetal. Esta información constituye una base clave para el monitoreo ambiental y la planificación del uso sostenible del territorio.

Resultados

Análisis climático (1993–2023)

La Figura 2 muestra el comportamiento de la precipitación y la temperatura en la microcuenca del río Paján durante el periodo 1993–2023, evidenciando una alta variabilidad interanual de las lluvias en contraste con la relativa estabilidad térmica.

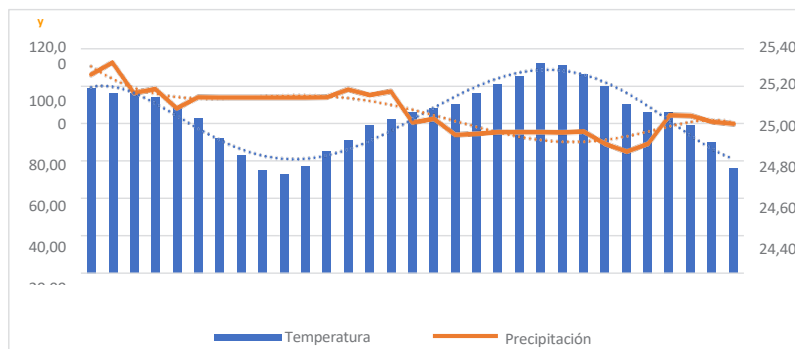
La precipitación presenta valores promedio mensuales entre aproximadamente 50 y 110 mm, con tres fases claramente diferenciadas: una disminución sostenida entre 1993 y 2004, una etapa de recuperación con máximos entre 2010 y 2016, y una nueva tendencia descendente hacia 2023. Este comportamiento sugiere un patrón cíclico en la disponibilidad hídrica, asociado probablemente a la influencia de fenómenos macroclimáticos como El Niño y La Niña.

En contraste, la temperatura muestra una variación mínima, oscilando entre 24,5 °C y 25,4 °C, con una tendencia ligeramente descendente. Esta baja amplitud térmica indica que la dinámica climática de la microcuenca no está determinada por cambios térmicos, sino principalmente por la irregularidad en los regímenes de precipitación.

En términos generales, la dinámica climática de la microcuenca del río Paján está dominada por la variabilidad de las lluvias, lo que incide directamente en la recarga hídrica, la disponibilidad de agua y la sostenibilidad de las actividades agrícolas.

Figura 2.

Variación de la temperatura y la precipitación (1993–2023)



Curva hipsométrica

La microcuenca del río Paján presenta un área de 119,56 km² y un índice hipsométrico (HI) de 0,528, lo que indica un estado de evolución geomorfológica madura. Este valor sugiere un equilibrio relativo entre los procesos de erosión y la estabilidad del relieve, característico de cuencas donde la denudación ha avanzado de forma significativa, pero aún se conservan zonas con pendientes activas.

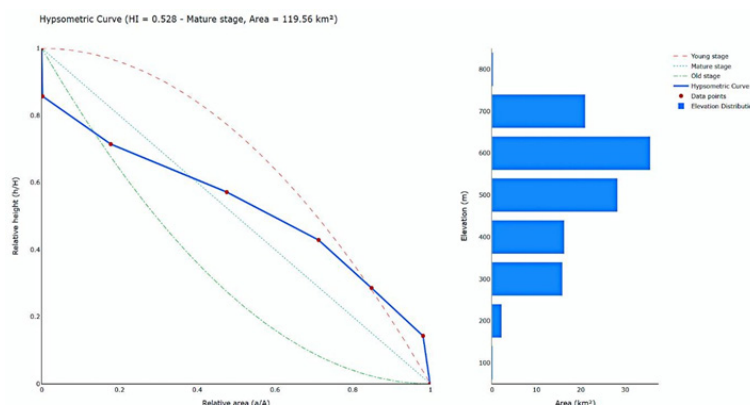
La forma de la curva hipsométrica confirma este comportamiento, al aproximarse al modelo típico de cuencas maduras. Esto implica la presencia de pendientes moderadas, especialmente en las zonas medias, donde los procesos erosivos continúan siendo relevantes y condicionan la dinámica del territorio.

En términos altitudinales, la mayor parte de la superficie de la microcuenca se concentra entre los 500 y 700 m s.n.m., abarcando más del 50% del área total. Esta predominancia de altitudes medias favorece la acumulación y regulación de los flujos hídricos en zonas intermedias, lo que resulta clave para el funcionamiento hidrológico de la cuenca.

Sin embargo, los tramos de mayor pendiente identificados en la curva indican sectores con mayor susceptibilidad a la erosión, especialmente en áreas donde coinciden con cambios de uso del suelo. Esto sugiere que la dinámica geomorfológica, combinada con la presión antrópica, puede intensificar procesos de degradación del suelo y afectar la estabilidad del sistema.

Figura 3.

Curva hipsométrica de la cuenca del río Paján.



Análisis de la cobertura vegetal (1990–2022)

La Tabla 1 muestra una transformación significativa en el uso del suelo de la microcuenca del río Paján durante el periodo 1990–2022, caracterizada por la reducción de la cobertura natural y la expansión de áreas agropecuarias.

El bosque nativo experimentó una disminución de 40,99 km² a 26,77 km², lo que representa una pérdida neta de 14,22 km². Este comportamiento refleja un proceso sostenido de deforestación que ha reducido de manera considerable la cobertura vegetal original de la microcuenca.

En contraste, las áreas agropecuarias aumentaron de 77,20 km² a 91,14 km², consolidándose como la categoría dominante del territorio. Este crecimiento indica que la expansión de la frontera agrícola constituye el principal factor de transformación del paisaje y de presión sobre los ecosistemas naturales.

Por su parte, la vegetación arbustiva y herbácea muestra una reducción drástica, pasando de 3,13 km² en 2014 a 0,25 km² en 2022, lo que refleja una pérdida progresiva de coberturas intermedias y una transición directa hacia usos más intensivos del suelo. En contraste, las zonas antrópicas presentan un crecimiento marginal (de 0 a 0,02 km²), lo que sugiere que la dinámica de cambio no está asociada a procesos de urbanización, sino principalmente a actividades agroproductivas.

En términos generales, se observa un cambio estructural en la configuración del paisaje, donde la sustitución de bosque por áreas agropecuarias reduce la capacidad de regulación hídrica, incrementa la vulnerabilidad a la erosión y afecta la estabilidad ecológica de la microcuenca. Esta tendencia es consistente con los patrones observados en el análisis climático y geomorfológico, lo que refuerza la relación entre cambio de cobertura vegetal y degradación ambiental en el territorio.

Tabla 1.

Cambios del uso de suelo en la microcuenca del Río Paján

Tipo de uso de suelo	1990	2014	2016	2018	2022	Variación
Zona antrópica	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Bosque nativo	40,99	36,35	33,86	33,65	26,78	-14,21
Tierra agropecuaria	77,20	80,17	82,84	82,99	91,14	13,94
Vegetación arbustiva y herbácea	0,00	3,13	2,94	2,93	0,25	0,25

herbácea

La Figura 4 muestra la evolución espacial de la cobertura del suelo en la microcuenca del río Paján entre 1990 y 2022, evidenciando un proceso progresivo de transformación del paisaje.

A lo largo de los cinco periodos analizados (1990, 2014, 2016, 2018 y 2022), se observa una reducción continua de las áreas de bosque, las cuales son progresivamente reemplazadas por tierras agropecuarias. Este

cambio se manifiesta con mayor intensidad en las zonas medias de la microcuenca, donde la expansión agrícola ha generado una fragmentación significativa de la cobertura vegetal natural.

Asimismo, la vegetación arbustiva y herbácea presenta una disminución notable a lo largo del tiempo, lo que refleja la pérdida de coberturas intermedias y una transición hacia usos del suelo más intensivos. En contraste, las zo-

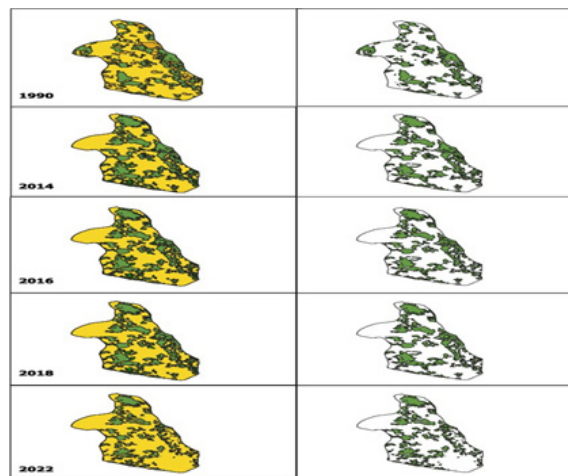
nas antrópicas mantienen una presencia limitada y con escasa variación, lo que confirma que la transformación del territorio está dominada por actividades agroproductivas más que por procesos de urbanización.

En términos generales, la comparación temporal permite identificar un patrón de cambio

espacial caracterizado por la simplificación del paisaje y la sustitución de ecosistemas naturales por sistemas productivos, con implicaciones directas sobre la conectividad ecológica, la regulación hídrica y la sostenibilidad ambiental de la microcuenca.

Figura 4.

Cobertura vegetal de la microcuenca del Río Paján en los periodos (1990 - 2014 - 2016 - 2018 - 2022)



La Figura 5 evidencia una tendencia clara de transformación en la cobertura del suelo de la microcuenca del río Paján durante el periodo 1990–2022, caracterizada por la disminución del bosque nativo y la expansión de las áreas agropecuarias.

El bosque nativo se redujo de aproximadamente 41 km² en 1990 a 27 km² en 2022, lo que representa una pérdida cercana al 35% en tres décadas. Esta disminución sostenida refleja un proceso continuo de deforestación que ha afectado significativamente la cobertura vegetal natural de la microcuenca.

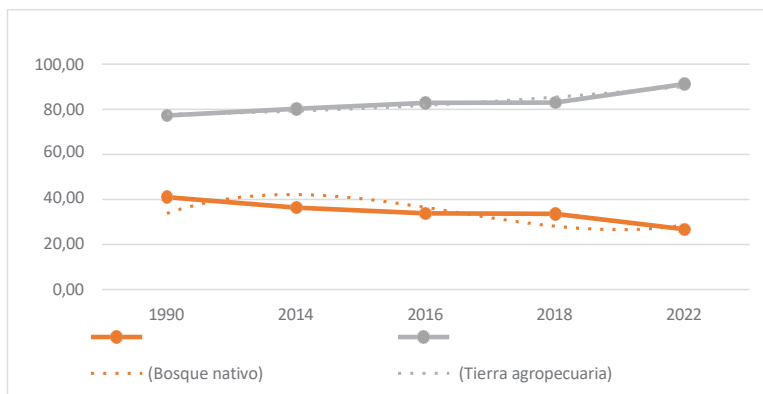
En contraste, la tierra agropecuaria muestra un crecimiento progresivo, pasando de cerca de 77 km² a más de 90 km² en el mismo periodo, con un incremento aproximado del 17%. Este aumento confirma la expansión de la frontera agrícola como principal factor de cambio en el uso del suelo.

Las tendencias observadas indican una relación inversa entre ambas coberturas, donde el aumento de las áreas agropecuarias ocurre a expensas de la reducción del bosque nativo. Este patrón evidencia un proceso de sustitución directa que está modificando la estructura del paisaje y su funcionalidad ecológica.

En conjunto, estos resultados confirman una dinámica de transformación territorial sostenida, con implicaciones directas sobre la regulación hídrica, la conservación del suelo y la sostenibilidad ambiental de la microcuenca.

Figura 5.

Tendencias de cambio del bosque nativo y áreas agropecuarias (1990 - 2022)



Índices Espectrales

La Figura 6 presenta la distribución espacial de los índices espectrales NDVI, BSI y NBR en la microcuenca del río Paján, utilizados para evaluar el estado de la vegetación, la exposición del suelo y posibles perturbaciones.

El NDVI muestra valores altos en sectores específicos, lo que indica la presencia de vegetación relativamente densa y saludable. Sin embargo, estos valores no son homogéneos en toda la microcuenca, lo que permite identificar áreas donde la cobertura vegetal ha sido reducida o fragmentada.

Por su parte, el BSI identifica zonas con mayor exposición de suelo desnudo, asociadas principalmente a actividades agropecuarias, procesos de deforestación y susceptibilidad

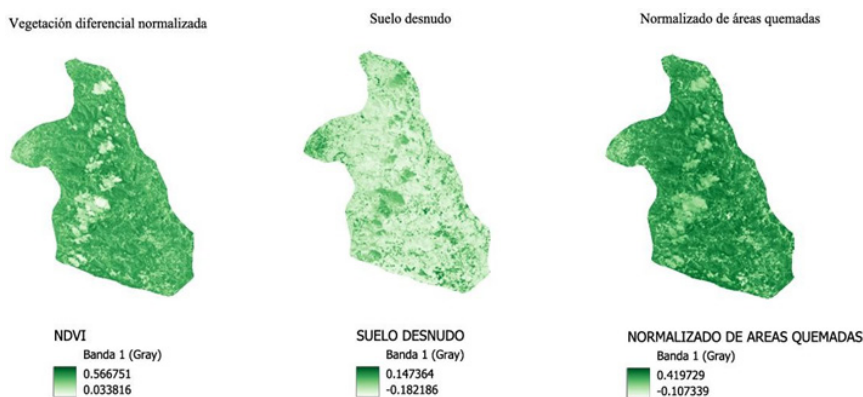
a la erosión. Estas áreas coinciden con los patrones de cambio de uso del suelo observados en los análisis previos.

En cuanto al NBR, no se observan señales claras de incendios recientes, lo que sugiere que las perturbaciones por fuego no han sido un factor determinante en la dinámica reciente del territorio.

Los índices espectrales reflejan una microcuenca en proceso de transformación, donde coexisten áreas con cobertura vegetal conservada y zonas intervenidas con mayor exposición del suelo. Este patrón indica una condición de vulnerabilidad ambiental más que de estabilidad, con implicaciones directas para la regulación hídrica y la sostenibilidad del sistema.

Figura 6.

Capas de Índices Espectrales de la Microcuenca del Río Paján



Propuestas de manejo y restauración

Frente a la pérdida de cobertura vegetal y la variabilidad climática identificadas en la microcuenca del río Paján, es necesario implementar estrategias integrales de manejo que respondan a las condiciones geomorfológicas, climáticas y de uso del suelo del territorio.

En primer lugar, se propone la reforestación con especies nativas adaptadas a condiciones de sequía, priorizando las zonas medias de la microcuenca (500–700 m.s.n.m.), donde se concentra la mayor superficie y donde los procesos erosivos son más activos. Esta medida permitiría recuperar la cobertura vegetal, mejorar la infiltración y reducir la pérdida de suelo.

En segundo lugar, es fundamental la implementación de prácticas de conservación de suelos en áreas con pendientes moderadas, tales como terrazas, barreras vivas y sistemas agroforestales. Estas acciones contribuirían a disminuir la erosión identificada en el análisis hipsométrico y a mejorar la sostenibilidad de las actividades agropecuarias.

Asimismo, se recomienda el desarrollo de sistemas de cosecha y almacenamiento de agua de lluvia, especialmente en zonas con mayor variabilidad de precipitación. La construcción de reservorios y el aprovechamiento de escorrentías permitirían mitigar los efectos de la disminución de lluvias y fortalecer la disponibilidad hídrica en periodos secos.

Por otra parte, es necesario fortalecer el monitoreo climático mediante el uso de indicadores locales de precipitación y cobertura vegetal (como NDVI), con el fin de anticipar cambios en la dinámica ambiental y apoyar la toma de decisiones en la gestión del territorio.

Finalmente, estas estrategias deben articularse con políticas de ordenamiento territorial y participación comunitaria, promoviendo prácticas productivas sostenibles que reduzcan la presión sobre el bosque nativo.

De esta manera, se busca mejorar la resiliencia socioambiental de la microcuenca y garantizar la seguridad hídrica y alimentaria de las comunidades locales.

Discusión

La pérdida de cobertura vegetal en la microcuenca del río Paján evidencia un proceso de transformación territorial estrechamente vinculado tanto a la presión antrópica como a la variabilidad climática. Los resultados muestran que entre 1990 y 2022 el bosque nativo disminuyó en 14,22 km², mientras que las áreas agropecuarias se expandieron en 13,94 km², lo que confirma un reemplazo directo de la cobertura forestal por usos productivos. Este patrón coincide con una disminución promedio de 1,02 mm de precipitación anual y una mayor irregularidad en su distribución, factores que reducen la capacidad del sistema para regular el ciclo hídrico, tal como ha sido reportado en estudios de cambio de uso del suelo en sistemas tropicales (Lambin et al., 2003; Turner et al., 2007).

Desde una perspectiva funcional, la deforestación implica una disminución en la infiltración del agua, un aumento del escurrimiento superficial y una mayor susceptibilidad a la erosión, especialmente en las zonas medias de la microcuenca donde predominan pendientes moderadas. En este sentido, el estado geomorfológico maduro de la cuenca (HI = 0,528) refuerza esta condición, ya que favorece procesos erosivos cuando se combina con la pérdida de cobertura vegetal, particularmente en áreas donde el cambio de uso del suelo ha intensificado la exposición del suelo. Estos procesos no solo afectan la disponibilidad hídrica, sino que también aceleran la degradación del suelo, generando un círculo de retroalimentación negativa entre pérdida de cobertura vegetal y deterioro ambiental. Este comportamiento ha sido documentado en estudios similares, donde la reducción de la vegetación limita la recarga hídrica y agrava las condiciones de aridez en ecosistemas frágiles (Baque et

al., 2021; Donoso Agua & Yanchapaxi Merchán, 2024).

En este contexto, la relación entre cobertura vegetal y clima no es unidireccional, sino bidireccional y acumulativa. Por un lado, la disminución del bosque favorece procesos de aridización al reducir la evapotranspiración y la regulación microclimática; por otro, la disminución de las precipitaciones limita la capacidad de regeneración de la vegetación, afectando la resiliencia del ecosistema. Este tipo de interacción ha sido ampliamente reportado en cuencas andinas, donde los cambios de uso del suelo han alterado significativamente los balances hídricos y la estabilidad ecológica (Pabón Salazar, 2022; Lambin et al., 2003).

Asimismo, los resultados derivados de los índices espectrales (NDVI y BSI) confirman la fragmentación de la cobertura vegetal y el incremento de áreas con suelo expuesto, lo que refuerza la relación entre expansión agropecuaria y degradación ambiental. La distribución espacial de estos indicadores evidencia la coexistencia de áreas conservadas con zonas intervenidas, consolidando un patrón de transformación territorial que incrementa la vulnerabilidad del sistema (Lambin et al., 2003; Turner et al., 2007).

Adicionalmente, la ausencia de señales relevantes en el índice NBR indica que los incendios no han sido un factor determinante en la dinámica reciente del territorio, por lo que los cambios observados responden principalmente a procesos antrópicos y no a perturbaciones por fuego (Key & Benson, 2006).

A largo plazo, la continuidad de estas tendencias podría derivar en una simplificación estructural del paisaje, caracterizada por la dominancia de usos agropecuarios, la pérdida de conectividad ecológica y una mayor vulnerabilidad frente a eventos climáticos extremos, comprometiendo no solo la sostenibilidad ambiental, sino también la seguridad hídrica y alimentaria de las comunidades que dependen de estos sistemas (Turner et al., 2007).

En este sentido, los resultados obtenidos confirman que la problemática observada en la microcuenca del río Paján no constituye un caso aislado, sino que responde a un patrón regional donde la interacción entre cambio climático y uso del suelo intensifica los procesos de degradación ambiental. Por tanto, resulta imprescindible adoptar enfoques integrales de gestión que consideren simultáneamente la restauración de la cobertura vegetal, la regulación del uso del suelo y la adaptación a la variabilidad climática, con el fin de fortalecer la resiliencia socioecológica del territorio (Baque et al., 2021; Turner et al., 2007).

Conclusiones

La microcuenca del río Paján evidencia un proceso sostenido de transformación ambiental entre 1990 y 2022, caracterizado por la reducción del bosque nativo en 14,22 km² (≈35%) y la expansión de las áreas agropecuarias en 13,94 km². Estos cambios reflejan un reemplazo directo de la cobertura vegetal natural por usos productivos, configurando un paisaje progresivamente más fragmentado y con menor capacidad de regulación ecológica.

En el ámbito climático, se identificó una disminución promedio de 1,02 mm de precipitación anual, acompañada de una alta variabilidad interanual de las lluvias, mientras que la temperatura se mantiene relativamente estable. Esta dinámica confirma que la disponibilidad hídrica en la microcuenca está principalmente condicionada por la irregularidad de las precipitaciones más que por cambios térmicos.

La integración de los análisis de cobertura vegetal, clima y geomorfología evidencia que la microcuenca se encuentra en una condición de vulnerabilidad ambiental, donde la pérdida de vegetación, la expansión agropecuaria y la susceptibilidad a la erosión (HI = 0,528) interactúan de manera sinérgica, afectando la regulación hídrica y la estabilidad del sistema.

En este contexto, los resultados confirman que la problemática no responde a un único factor, sino a la interacción entre presión antrópica y variabilidad climática, lo que intensifica los procesos de degradación ambiental y compromete la sostenibilidad del territorio a largo plazo.

Finalmente, se concluye que la recuperación de la cobertura vegetal, la implementación de prácticas de conservación de suelos y el fortalecimiento del monitoreo climático constituyen acciones prioritarias para reducir la vulnerabilidad de la microcuenca y mejorar su resiliencia socioecológica, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y a la seguridad hídrica de las comunidades en el largo plazo.

Bibliografía

- Acevedo Mejía, E. (2022). Vulnerabilidad frente a los cambios en la variabilidad climática entre productores cafeteros de la cuenca del río Chinchiná: una propuesta desde las Ciencias Sociales. Universidad de Antioquia. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10495/30721>
- Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T., & Witmer, R. E. (1976). A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. U.S. Geological Survey. A revision of the land use classification system as presented in U.S. Geological Survey Circular 671. <https://pubs.usgs.gov/pp/0964/report.pdf>
- Ávila Tumbaco, C. G. (2023). Análisis del déficit y consumo de agua potable en el cantón Paján, provincia de Manabí. Tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/5162/1/%c3%81vila%20Tumbaco%20Carlos%20Geovanny.pdf>
- Baque, M. A. P., Piguave, J. J. B., Pincay, J. I. T., & Villacreses, L. F. L. (2021). Servicios ecosistémicos y su relación con los cambios de cobertura y uso del suelo en microcuencas. *Revista Científica UISRAEL*, 8(1), 102–115. <https://doi.org/10.35290/rcui.v8n1.2021.353>
- Congedo, L., (2021). Complemento de clasificación semiautomática: una herramienta de Python para la descarga y el procesamiento de imágenes de teledetección en QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6(64), 3172, <https://doi.org/10.21105/joss.03172>
- Donoso Agua, E. M., y Yanchapaxi Merchán, J. E. (2024). Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en el área de influencia de la represa del cantón Paján. Tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí. 61 Pg. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/6618/1/Donoso%20Agua%20Edson%20Manuel%20-%20Yanchapaxi%20Merch%c3%a1n%20Jhon%20Eduardo.pdf>
- Gatti, I. A. (2014). Precipitaciones, sudestadas y su relación con el riesgo de inundación: Entre la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático. Caso del barrio de Belgrano, Ciudad de Buenos Aires (1981–2012). Tesis de grado, Universidad de Buenos Aires]. doi: 10.13140/RG.2.2.21080.16648
- Guerrero-Casallas, L. P., Arevalo-Cortés, A., & Oviedo-Trespalacios, O. (2020). Evaluación multitemporal del uso y cobertura del suelo mediante SIG. *Revista Facultad de Ingeniería*, 29(53), 97–106. <https://doi.org/10.19053/01211129.v29.n53.2020.10896>
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). Landscape assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index, and remote sensing of severity (NBR). USDA Forest Service
- Lambin, E. F., Geist, H. J., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 205–241. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>
- Pabón Salazar, E. D. (2022). Análisis de los procesos de cambio de uso y cobertura del suelo en la microcuenca del río Tabacay [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/communities/78e26000-e782-42f7-b6f2-8624ff82441b>
- QGIS Development Team. (2022). QGIS Geographic Information System (Version 3.40.1) [Software]. Open Source Geospatial Foundation. <https://www.qgis.org>
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117–1142. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2)

Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)

Turner, B. L., Lambin, E. F., & Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(52), 20666–20671. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704119104>

Cómo citar: Cabrera Verdesoto, C. A., Cano Zambrano , C. G., Chiquito Plúa, K. L., González González , P. G., & Lucio Villacreses, L. F. (2026). Cambio de cobertura vegetal y su relación con la variabilidad climática en la microcuenca del río Paján, Ecuador mediante análisis multitemporal. *Agrosilvicultura Y Medioambiente*, 4(1), 31–44. <https://doi.org/10.47230/agrosilvicultura.medioambiente.v4.n1.2026.31-44>