Ciencia y Educación
(L-ISSN: 2790-8402 E-ISSN: 2707-3378)
Vol. 7 No. 10.1
Edición Especial X 2026

EXPANSIÓN URBANA, PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL Y VULNERABILIDAD SOCIOAMBIENTAL EN LA MICROCUENCA DE CUNDUANA UNA PERSPECTIVA MULTITEMPORAL (1993–2023)

URBAN EXPANSION, LOSS OF VEGETATION COVER, AND SOCIO-ENVIRONMENTAL VULNERABILITY IN THE CUNDUANA MICRO-WATERSHED: A MULTI-TEMPORAL PERSPECTIVE (1993–2023)

Autores: [1]Carla Sofia Arguello Guadalupe, [2]Felitza Doménica Díaz Olmedo, [3]Paulo César Tiupul Carrillo y [4]Vanessa Belén Morales León.

[1]ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2102-4290
[2]ORCID ID: https://orcid.org/0009-0000-6418-7204
[3]ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7808-6380
[4]ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-8047-1966
[1]E-mail de contacto: carguello@espoch.edu.ec
[2]E-mail de contacto: felitza.diaz@espoch.edu.ec
[3]E-mail de contacto: paulo.tiupul@espoch.edu.ec
[4]E-mail de contacto: vanessa.moralesl@espoch.edu.ec
Afiliación: [1]*Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, (Ecuador).
Artículo recibido: 15 de Septiembre del 2026.
Artículo revisado: 2 de Octubre del 2026.
Artículo aprobado: 2 de Octubre del 2026.
[1]Ingeniera en Ecoturismo, graduada de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, (Ecuador). Magíster en Economía Agraria, graduada de la Pontificia Universidad Católica de Chile, (Chile). Doctora dentro del Programa Conjunto de Doctorado en Análisis Económico y Estrategia Empresarial, graduada de la Universidad de Santiago de Compostela, (España).
[2]Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, graduado de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, (Ecuador).
[3]Ingeniero Agrónomo, graduado de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, (Ecuador).
[4]Ingeniera Química, graduada de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, (Ecuador). Magíster en Química con mención en Química-Física, graduada de la Universidad Técnica de Ambato, UTA, (Ecuador).

Resumen

La transformación de la cobertura del suelo en microcuencas periurbanas constituye un indicador relevante de presión territorial y deterioro ambiental. El objetivo de este estudio fue analizar la evolución de la cobertura vegetal en la microcuenca de la quebrada de Cunduana, cantón Riobamba, Ecuador, durante 1993–2023 mediante técnicas de teledetección. Se empleó un diseño no experimental, evolutivo y descriptivo, complementado con dos recorridos de campo. El periodo se organizó en tres intervalos decenales (1993–2003, 2003–2013 y 2013–2023). Se procesaron mosaicos Landsat en Google Earth Engine y se aplicó clasificación supervisada para cuatro clases: área urbana, bosque, agropecuario y suelo desnudo. La validación se realizó con matrices de confusión e índice Kappa; posteriormente se construyeron matrices de transición y mapas espaciotemporales. La exactitud global alcanzó 95 %, 92 % y 89 %, con valores Kappa de 0,93, 0,89 y 0,86, respectivamente. Entre el primer y el último periodo, el suelo desnudo aumentó de 7,03 a 13,50 km² y el área urbana de 1,21 a 3,13 km²; en contraste, el bosque disminuyó de 3,26 a 0,66 km² y la cobertura agropecuaria de 7,67 a 1,88 km². Los resultados evidencian una reconfiguración intensa del paisaje, caracterizada por pérdida de coberturas vegetadas y expansión de superficies desnudas y urbanizadas. Se concluye que la información multitemporal generada constituye una base técnica para fortalecer la planificación territorial, el control de ocupación y las acciones de restauración en la microcuenca.

Palabras clave: Cobertura vegetal, Teledetección, Landsat, Clasificación supervisada, Matriz de transición, Google Earth Engine, Microcuenca.

Abstract

Land-cover transformation in peri-urban micro-watersheds is a relevant indicator of territorial pressure and environmental

degradation. This study aimed to analyze vegetation-cover evolution in the Cunduana stream micro-watershed, Riobamba, Ecuador, from 1993 to 2023 using remote-sensing techniques. A non-experimental, evolutionary and descriptive design was applied and complemented by two field surveys. The study period was organized into three decadal intervals (1993–2003, 2003–2013 and 2013–2023). Landsat mosaics were processed in Google Earth Engine, and supervised classification was used to distinguish four classes: urban area, forest, agricultural land and bare soil. Validation relied on confusion matrices and the Kappa index; transition matrices and spatiotemporal maps were then produced. Overall accuracy reached 95%, 92% and 89%, with Kappa values of 0.93, 0.89 and 0.86, respectively. From the first to the last period, bare soil increased from 7.03 to 13.50 km² and urban area from 1.21 to 3.13 km², whereas forest declined from 3.26 to 0.66 km² and agricultural land from 7.67 to 1.88 km². These results reveal a marked landscape reconfiguration characterized by loss of vegetated cover and expansion of bare and urbanized surfaces. The multitemporal information generated provides a technical basis for territorial planning, land-occupation control and ecological restoration in the micro-watershed.

Keywords: Land cover, Remote sensing, Landsat, Supervised classification, Transition matrix, Google Earth Engine, Micro-watershed.

Sumário

A transformação da cobertura do solo em micromarcas periurbanas constitui um indicador relevante de pressão territorial e deterioração ambiental. O objetivo deste estudo foi analisar a evolução da cobertura vegetal na microcuenca da quebrada de Cunduana, cantão Riobamba, Equador, durante 1993–2023 por meio de técnicas de teledetecção. Foi implementado um projeto não experimental, evolutivo e descritivo, complementado com dois percursos de campo. O período foi organizado em três intervalos decenais (1993–2003, 2003–2013 e 2013–2023). Ele processou mosaicos Landsat no Google Earth Engine e aplicou classificação supervisionada para quatro classes: área urbana, bosque, agropecuário e solo desnudo. A validação foi realizada com matrizes de confusão e índice Kappa; posteriormente são construídas matrizes de transição e mapas espaço-temporais. A precisão global atingiu 95%, 92% e 89%, com valores Kappa de 0,93, 0,89 e 0,86, respectivamente. Entre a primeira e o último período, o solo desnudo aumentou de 7,03 para 13,50 km² e a área urbana de 1,21 para 3,13 km²; em contraste, o bosque diminuiu de 3,26 para 0,66 km² e a cobertura agropecuária de 7,67 para 1,88 km². Os resultados evidenciam uma reconfiguração intensa da paisagem, caracterizada pela perda de coberturas vegetadas e expansão de superfícies desnudas e urbanizadas. Conclui-se que a informação gerada multitemporalmente constitui uma técnica básica para fortalecer o planejamento territorial, o controle da ocupação e as ações de restauração na microcuenca.

Palavras-chave: Cobertura vegetal, Sensoriamento remoto, Landsat, Classificação supervisionada, Matriz de transição, Google Earth Engine, Microbacia.

Introducción

Los cambios de uso y cobertura del suelo constituyen una expresión espacial de las relaciones entre crecimiento poblacional, expansión urbana, producción agropecuaria, infraestructura y conservación ambiental. Estas transformaciones reflejan la manera en que las sociedades utilizan y reorganizan el territorio y pueden producir modificaciones progresivas en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. En cuencas y microcuencas, su análisis adquiere especial relevancia debido a que las variaciones en la cobertura vegetal, las superficies agrícolas, el suelo desnudo y las áreas urbanizadas pueden modificar procesos asociados con la regulación hídrica, la infiltración, la escorrentía superficial, la

estabilidad del suelo y la conectividad ecológica. Asimismo, la sustitución de coberturas naturales por usos antrópicos puede incrementar la vulnerabilidad territorial frente a erosión, pérdida de biodiversidad e inundaciones, especialmente cuando el crecimiento urbano se produce sin una adecuada planificación.

A escala global, los estudios de cambio de uso y cobertura del suelo se han consolidado como una herramienta para analizar las transformaciones del territorio y sus implicaciones ambientales. La disponibilidad de series históricas de imágenes satelitales permite reconstruir patrones de cambio ocurridos durante varias décadas y reconocer procesos de expansión urbana, pérdida de vegetación, transformación agropecuaria y recuperación de determinadas coberturas. Souza et al. (2020), mediante el empleo del archivo Landsat y Google Earth Engine, demostraron la utilidad de las series temporales para reconstruir más de tres décadas de cambios de cobertura y uso del suelo, evidenciando el potencial de estos registros para apoyar la evaluación ambiental y la toma de decisiones. De manera complementaria, Chen et al. (2023) destacan que la integración de imágenes Landsat con plataformas de procesamiento en la nube permite desarrollar análisis espaciales y temporales de larga duración con niveles adecuados de precisión, aspecto especialmente relevante en territorios sometidos a transformaciones continuas.

En Ecuador, esta problemática adquiere características particulares debido a la diversidad de ecosistemas y a las presiones derivadas de actividades agropecuarias, crecimiento urbano, infraestructura y aprovechamiento de recursos naturales. La configuración del territorio nacional comprende ambientes costeros, andinos, amazónicos e insulares que responden de manera diferenciada a las transformaciones del uso del suelo. Por ello, los análisis multitemporales permiten reconocer cambios que no siempre resultan perceptibles mediante observaciones puntuales y proporcionan información fundamental para establecer tendencias de ocupación y transformación territorial.

Arias et al. (2024) y Aray et al. (2024) destacan la utilidad de este tipo de análisis para interpretar procesos territoriales y ambientales dentro del contexto ecuatoriano. Asimismo, Pazmiño et al. (2024), al analizar cambios de uso del suelo y calidad de los servicios ecosistémicos en la zona andina central del Ecuador, evidenciaron que las transformaciones territoriales se encuentran estrechamente relacionadas con la calidad y funcionalidad de los ecosistemas, reforzando la necesidad de integrar información espacial en los procesos de planificación.

La importancia de esta problemática se incrementa en las cuencas hidrográficas, donde las modificaciones del territorio afectan simultáneamente componentes ecológicos, hidrológicos y sociales. La eliminación de coberturas vegetales puede reducir la protección superficial del suelo y favorecer procesos erosivos, mientras que la expansión de superficies impermeables puede modificar la infiltración y aumentar la escorrentía. De igual manera, la intensificación agropecuaria puede transformar la estructura del paisaje y ejercer presión sobre cauces y zonas de protección hídrica. En Ecuador, Amaya Márquez et al. (2024), mediante un análisis multitemporal desarrollado en la cuenca del río Zarumilla, utilizaron información de cobertura y uso del suelo para identificar transformaciones territoriales y desarrollar proyecciones futuras,

demostrando la utilidad de estas herramientas para anticipar escenarios y orientar procesos de planificación y manejo de cuencas.

En este contexto, la teledetección constituye una herramienta fundamental para observar de manera retrospectiva, sistemática y comparable las modificaciones de la superficie terrestre. Los sensores remotos permiten registrar información espectral asociada con diferentes tipos de cobertura, lo que facilita su identificación, clasificación y seguimiento en el tiempo. Entre las fuentes de información disponibles, las misiones Landsat poseen especial relevancia debido a la continuidad histórica de sus registros y a su aplicación recurrente en investigaciones relacionadas con vegetación, agricultura, expansión urbana y recursos hídricos.

La disponibilidad de imágenes pertenecientes a diferentes generaciones de sensores posibilita desarrollar análisis multitemporales de varias décadas bajo criterios relativamente homogéneos de resolución espacial y características espectrales. El procesamiento de grandes volúmenes de información satelital también se ha visto fortalecido por el desarrollo de plataformas de computación en la nube. Google Earth Engine permite acceder, procesar y analizar extensos archivos de datos geoespaciales sin depender exclusivamente de capacidades locales de almacenamiento y procesamiento.

Amani et al. (2020), a partir de una revisión amplia sobre las aplicaciones de esta plataforma, destacan su utilización en clasificación de coberturas, hidrología, planificación urbana, análisis climático y gestión de desastres, además del uso frecuente de imágenes Landsat y algoritmos de clasificación supervisada. Más recientemente, Alshehri et al. (2025) confirman que Landsat y Sentinel continúan siendo las fuentes predominantes en estudios de uso y cobertura del suelo desarrollados mediante Google Earth Engine y que algoritmos como Random Forest y Support Vector Machine se mantienen entre los métodos más utilizados.

Estas capacidades tecnológicas han permitido consolidar metodologías orientadas a identificar y cuantificar las transiciones entre diferentes categorías de cobertura. La clasificación supervisada parte de muestras previamente definidas que permiten asignar los píxeles de una imagen a determinadas clases temáticas. Posteriormente, la calidad de la clasificación debe evaluarse mediante procedimientos que permitan determinar el grado de correspondencia entre las categorías obtenidas y datos de referencia.

En este sentido, la matriz de confusión, la exactitud global y el índice Kappa constituyen herramientas utilizadas para evaluar la consistencia de los resultados y determinar la confiabilidad de los mapas generados (Cáceres, 2017; Borja Robalino et al., 2020). Estudios recientes basados en Landsat y Google Earth Engine continúan mostrando la importancia de incorporar procesos de validación para evitar interpretar como cambios reales aquellos que pueden derivarse de errores de clasificación. Chen et al. (2023), por ejemplo, obtuvieron elevados valores de precisión global e índice Kappa al combinar diferentes variables espectrales dentro del proceso clasificatorio.

Además, la disponibilidad de series continuas facilita la construcción de cartografía comparable entre diferentes periodos. Iniciativas como MapBiomas han demostrado que es posible reconstruir la evolución anual del uso y cobertura del suelo empleando archivos

Landsat y técnicas de clasificación procesadas mediante Google Earth Engine. Souza et al. (2020) desarrollaron este enfoque para reconstruir cambios de cobertura durante más de tres décadas, estableciendo una metodología posteriormente empleada en diferentes contextos latinoamericanos. En Ecuador, actualmente existen series anuales de cobertura y uso del suelo derivadas de Landsat que abarcan desde 1985, lo que confirma la creciente disponibilidad de información geoespacial para analizar tendencias territoriales de largo plazo.

En la región andina ecuatoriana, estos análisis adquieren particular importancia debido a la interacción entre expansión urbana, actividades agropecuarias, ecosistemas de montaña y disponibilidad hídrica. Las zonas próximas a Riobamba presentan una dinámica territorial en la que convergen procesos urbanos y rurales que pueden modificar progresivamente la estructura del paisaje. En la provincia de Chimborazo se han desarrollado investigaciones que demuestran la utilidad de la teledetección para evaluar estas transformaciones. Salazar Loor y Robalino Moreno (2021), al estudiar la dinámica de cambio de uso del suelo y cobertura vegetal en la microcuenca del río Chibunga, utilizaron imágenes Landsat y clasificación supervisada para cuantificar cambios relacionados con actividades antrópicas. Este antecedente resulta especialmente relevante debido a la proximidad geográfica y a la similitud de las presiones territoriales existentes en microcuencas asociadas al entorno de Riobamba.

La microcuenca de la quebrada de Cunduana se localiza en la provincia de Chimborazo y atraviesa sectores correspondientes a San Juan, Calpi, Licán y el área urbana de Riobamba. Por su posición territorial, constituye un espacio en el que convergen dinámicas rurales, periurbanas y urbanas. La tesis de base identifica como problemas centrales la expansión de los asentamientos humanos, el avance de las actividades agropecuarias, la pérdida de bosque, la presencia de suelo desnudo y la ocupación de espacios próximos al cauce.

Estas presiones se relacionan con deficiencias en los procesos de planificación y control territorial y con transformaciones progresivas del paisaje que pueden incrementar el deterioro ambiental de la quebrada. La proximidad entre áreas productivas, zonas construidas y espacios de importancia hídrica hace necesario comprender no solo cuánto ha cambiado cada cobertura, sino también hacia qué categorías se han producido las principales conversiones. El análisis multitemporal resulta especialmente apropiado para responder a esta necesidad porque permite comparar momentos históricos, cuantificar ganancias y pérdidas de superficie e identificar trayectorias de transformación.

La lectura conjunta de las áreas ocupadas por cada categoría y de las matrices de transición permite diferenciar, por ejemplo, la pérdida de cobertura vegetal asociada con expansión agrícola de aquella vinculada al crecimiento de áreas urbanizadas. Esta información proporciona una visión más completa de la dinámica territorial que una comparación limitada a valores absolutos de superficie y permite reconocer procesos persistentes, aceleraciones o posibles recuperaciones de determinadas coberturas.

Desde la perspectiva del ordenamiento territorial, disponer de este tipo de evidencia contribuye a sustentar decisiones relacionadas con protección de cauces, recuperación de cobertura vegetal, control de expansión urbana, manejo agropecuario y delimitación de zonas

prioritarias para conservación. El valor de la información geoespacial no se limita, por tanto, a representar cartográficamente el territorio, sino que reside en su capacidad para documentar procesos y proporcionar indicadores comparables para la gestión ambiental. La identificación de tendencias históricas puede constituir una línea base para evaluar futuras intervenciones y orientar acciones dirigidas a disminuir presiones sobre ecosistemas y recursos hídricos.

En consecuencia, el objetivo de este artículo fue analizar la dinámica multitemporal de la cobertura vegetal y del suelo en la microcuenca de Cunduana durante el periodo 1993–2023, identificar las clases que aumentaron o disminuyeron y describir los principales patrones de transición. El aporte del estudio radica en sintetizar tres décadas de evidencia geoespacial mediante indicadores comparables, con el propósito de proporcionar una línea base que contribuya a la comprensión de las transformaciones territoriales y apoye los procesos de gestión ambiental y ordenamiento de una microcuenca periurbana.

Materiales y Métodos

La microcuenca de la quebrada de Cunduana forma parte del sistema aportante de la microcuenca del río Chibunga, en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, Ecuador. El área analizada comprende aproximadamente 19,17 km². La parte alta se origina en la parroquia San Juan; la zona media atraviesa Calpi y parte de Licán; y la parte baja se extiende por Licán hasta sectores urbanos de Riobamba. La red hídrica descrita en la investigación alcanza aproximadamente 26 km. Esta configuración integra espacios rurales, agropecuarios y urbanos, condición que hace especialmente pertinente el seguimiento de los cambios de cobertura. Se desarrolló una investigación no experimental, evolutiva y descriptiva, con componentes cualitativos para la caracterización territorial y cuantitativos para el cálculo de superficies, exactitud temática y transiciones. La caracterización se apoyó en revisión documental, información geoespacial y dos salidas de campo en las zonas alta, media y baja. El análisis temporal abarcó 30 años y se dividió en tres intervalos: 1993–2003, 2003–2013 y 2013–2023.

Las imágenes se obtuvieron mediante Google Earth Engine. Debido a la nubosidad, se construyeron composiciones o mosaicos por periodo aplicando filtros temporales y de nubes. Para el primer intervalo se utilizó Landsat 5; para el segundo, Landsat 7; y para el tercero, Landsat 8. La clasificación supervisada distinguió cuatro clases: (1) área urbana, (2) bosque, (3) agropecuario y (4) suelo desnudo. La tesis reporta aproximadamente 300 puntos de entrenamiento por clase, buscando maximizar la similitud entre la clasificación y los mosaicos satelitales.

La exactitud temática se evaluó mediante matrices de confusión. Se emplearon 40 muestras por clase, para un total de 160 puntos en cada periodo. La precisión global se complementó con el índice Kappa. Como criterio operativo del estudio se consideró aceptable una precisión superior al 70 %. Este procedimiento permitió comprobar la consistencia de las clasificaciones antes de efectuar el análisis de cambio.

Las clasificaciones ráster se transformaron a formato vectorial en ArcGIS Pro y se intersectaron entre periodos. Las áreas resultantes fueron sistematizadas para construir matrices de transición e identificar permanencias y sustituciones. Los mapas temáticos permitieron interpretar espacialmente

los cambios. La metodología se fundamentó en el uso de matrices de transición para cuantificar cambios entre coberturas en periodos sucesivos (Calderon, 2019).

Resultados y Discusión

Las observaciones de campo mostraron un gradiente territorial. En la parte alta se registraron bosque, pastizales, pequeñas áreas agrícolas y sectores de suelo desnudo asociados a pendientes. En la parte media predominó la expansión agrícola —principalmente cultivos de papa, maíz y cebada— junto con edificaciones incluso en laderas. En la parte baja se identificó una presencia más intensa de infraestructura, vías, puentes y zonas residenciales, evidenciando la expansión urbana desde Licán hacia Riobamba.

Tabla 1. *Exactitud global e índice Kappa de las clasificaciones supervisadas.*

Periodo	Exactitud global	Índice Kappa
1993–2003	95 %	0,93
2003–2013	92 %	0,89
2013–2023	89 %	0,86

Fuente: Elaboración propia.

Las tres clasificaciones superaron ampliamente el umbral mínimo definido en el estudio. Aunque la exactitud disminuyó de 95 % a 89 % entre el primer y el tercer periodo, los valores Kappa se mantuvieron elevados (0,86–0,93), lo que respalda el uso de las capas clasificadas para el análisis multitemporal.

Tabla 2. *Superficie por clase de cobertura en los tres periodos analizados. Fuente: elaboración a partir de la tesis.*

Periodo	Área urbana	Bosque	Agropecuario	Suelo desnudo
1993–2003	1,21 km²	3,26 km²	7,67 km²	7,03 km²
2003–2013	1,75 km²	2,64 km²	5,56 km²	9,22 km²
2013–2023	3,13 km²	0,66 km²	1,88 km²	13,50 km²

Fuente: Elaboración propia.

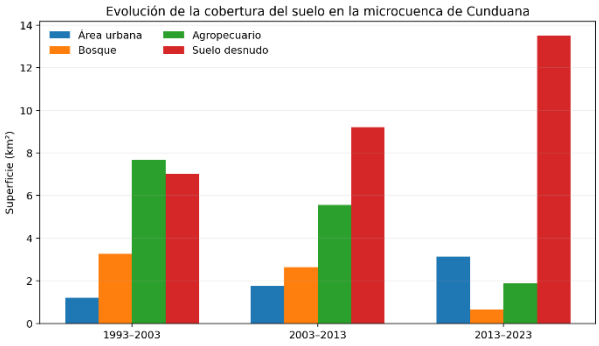


Figura 1. Evolución de las cuatro clases de cobertura en la microcuenca de Cunduana. Fuente: elaboración a partir de los datos reportados en la tesis.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. *Cambio entre el primer y el último periodo. Los porcentajes son cálculos derivados de las superficies reportadas en la tesis.*

Clase	Inicial (km²)	Final (km²)	Cambio (km²)	Cambio relativo
Área urbana	1,21	3,13	+1,92	+158,7 %
Bosque	3,26	0,66	-2,60	-79,8 %
Agropecuario	7,67	1,88	-5,79	-75,5 %
Suelo desnudo	7,03	13,50	+6,47	+92,0 %

Fuente: Elaboración propia.

El cambio dominante fue el aumento del suelo desnudo, que pasó de 7,03 a 13,50 km², un incremento absoluto de 6,47 km². El área urbana aumentó 1,92 km², desde 1,21 hasta 3,13 km². En sentido contrario, la cobertura agropecuaria perdió 5,79 km² y el bosque 2,60 km². En términos relativos, el área urbana creció aproximadamente 158,7 %, mientras que el bosque se redujo cerca de 79,8 % y la superficie agropecuaria alrededor de 75,5 %. Estos cálculos refuerzan la magnitud de la reconfiguración territorial observada.

La comparación entre el primer y el último periodo muestra que la cobertura urbana final (3,13 km²) incluye 1,21 km² de permanencia, además de transiciones desde bosque (0,11

km²), agropecuario (0,58 km²) y suelo desnudo (1,23 km²). Para el bosque final (0,66 km²), 0,33 km² permanecieron sin cambio, 0,24 km² procedieron de cobertura agropecuaria y 0,09 km² de suelo desnudo. La cobertura agropecuaria final (1,88 km²) conservó 0,87 km², recibió 0,72 km² desde bosque y 0,29 km² desde suelo desnudo. El suelo desnudo final (13,50 km²) mantuvo 5,63 km², mientras que 2,00 km² procedieron de bosque y 5,87 km² de cobertura agropecuaria.

En conjunto, el patrón más fuerte corresponde a la conversión de superficie agropecuaria a suelo desnudo, seguido de la transformación de bosque a suelo desnudo. La tesis identifica nueve tipos de cambio y cuatro permanencias. Espacialmente, la sustitución del bosque por suelo desnudo se concentró principalmente en las zonas media y alta, mientras que en la parte baja la expansión urbana tuvo mayor protagonismo. Los resultados confirman que la microcuenca de Cunduana experimentó una transformación sostenida de su estructura de cobertura durante las tres décadas analizadas. La expansión simultánea del suelo desnudo y del área urbana, junto con la contracción del bosque y del uso agropecuario, sugiere que el proceso no puede interpretarse únicamente como urbanización: también existe una pérdida amplia de superficies vegetadas que quedan temporal o persistentemente sin cobertura.

El uso de clasificación supervisada es coherente con el procedimiento recomendado por Cáceres (2017), en el que las clases se definen a partir de información conocida y puntos de entrenamiento. La validación mediante matriz de confusión e índice Kappa aportó un control cuantitativo de la clasificación. Los valores obtenidos, exactitudes de 89 % a 95 % y Kappa de 0,86 a 0,93, muestran concordancia suficiente para sostener la interpretación de las tendencias, en línea con el uso de métricas de desempeño descrito por Borja et al. (2020). La comparación realizada en la tesis con cartografía del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica para 2000, 2014 y 2020 aporta un contraste externo de las categorías. Existen diferencias de nomenclatura, por ejemplo, vegetación herbácea y arbustiva frente a la agrupación utilizada en la clase agropecuaria, pero se mantiene una correspondencia general en bosque, tierras productivas y zonas antrópicas. Esta diferencia taxonómica debe considerarse al comparar superficies entre fuentes.

Desde la perspectiva territorial, la pérdida de bosque y la expansión del suelo desnudo son especialmente relevantes en una microcuenca con pendientes y un cauce que atraviesa áreas rurales y urbanas. La disminución de cobertura vegetal puede reducir la protección física del suelo y aumentar su exposición a procesos erosivos. A su vez, la expansión urbana en la parte baja incrementa la necesidad de controlar ocupaciones próximas al cauce y preservar zonas funcionales para el drenaje.

Los resultados también dialogan con estudios recientes sobre cambios de uso y cobertura en Ecuador, que destacan la utilidad de los enfoques geoespaciales para identificar transformaciones territoriales (Arias et al., 2024; Aray et al., 2024). Sin embargo, este estudio presenta limitaciones que deben explicitarse: los resultados representan composiciones por intervalos decenales y no mediciones anuales; las clases se agruparon en cuatro categorías amplias; y la comparación histórica depende de sensores Landsat distintos. Futuras investigaciones podrían incorporar índices espectrales, modelos de cambio, validación de campo estratificada y análisis de factores explicativos.

Conclusiones

El análisis multitemporal evidenció una transformación profunda de la cobertura del suelo en la microcuenca de Cunduana entre 1993 y 2023. El suelo desnudo aumentó de 7,03 a 13,50 km² y el área urbana de 1,21 a 3,13 km², mientras que el bosque disminuyó de 3,26 a 0,66 km² y la cobertura agropecuaria de 7,67 a 1,88 km². Las clasificaciones supervisadas mostraron un desempeño consistente, con exactitudes globales de 95 %, 92 % y 89 % e índices Kappa de 0,93, 0,89 y 0,86. Estos indicadores respaldan la utilización de las capas obtenidas para describir la dirección general de los cambios.

Las transiciones muestran que la conversión de cobertura agropecuaria a suelo desnudo (5,87 km²) y de bosque a suelo desnudo (2,00 km²) fueron procesos relevantes. En la parte baja, la expansión urbana adquiere especial importancia, mientras que en las zonas media y alta destaca la pérdida de coberturas vegetadas. La evidencia generada constituye una línea base para la planificación y el control territorial. La conservación de remanentes de bosque, la restauración de áreas desnudas y el control de nuevas ocupaciones próximas al cauce deberían considerarse prioridades de gestión para reducir el deterioro progresivo de la microcuenca.

Referencias Bibliográficas

Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., Moghaddam, S. H. A., Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., Parsian, S., Wu, Q., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine cloud computing platform for remote sensing big data applications: A comprehensive review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 13*, 5326–5350. https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052

Alshehri, B., Zhang, Z., & Liu, X. (2025). A review of Google Earth Engine for land use and land cover change analysis: Trends, applications, and challenges. *ISPRS International Journal of Geo-Information, 14*(11), 416. https://doi.org/10.3390/ijgi14110416

Amaya Márquez, P. S., Girón Pucha, B. L., Maza Maza, J. E., & Luna, A. (2024). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo en la cuenca del río Zarumilla: Proyecciones al 2040. *Novasinergia, 7*(2). https://doi.org/10.37135/ns.01.14.05

Andreu, A., Carpintero, E., & González-Dugo, M. P. (2018). *Teledetección para la agricultura*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Junta de Andalucía. https://doi.org/10.14198/INGEO.25248

Aray, L, Cedeño, F., & Delgado, D. (2024). Evaluación del uso y cobertura del suelo en la provincia de Manabí: Aplicación de un modelo geoespacial. *Dominio de las Ciencias, 10*(1), 790–804. https://doi.org/10.23857/dc.v10i1.3742

Arias, P., Saz, M., & Escolano, S. (2024). Tendencias de cambio de usos y coberturas de suelo en la cuenca hidrográfica media-alta del río Mira en Ecuador. *Investigaciones Geográficas, 81*, 155–179. https://doi.org/10.14198/INGEO.25248

Borja, R., Monleón, A., & Rodellar, J. (2020). Estandarización de métricas de rendimiento para clasificadores Machine y Deep Learning. *RISTI–Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, E30*, 172–184. https://www.researchgate.net/publication/342009715_Estandarizacion_de_metricas_de_rendimiento_para_clasificadores_Machine_y_Deep_Learning

Bravo, D., Jaramillo, R., & Encalada, D. (2019). Valoración económica del recurso hídrico de la microcuenca Quillusara en el cantón Celica-Ecuador. *Ciencia y Tecnología, 12*(1), 43–49. https://doi.org/10.18779/cyt.v12i1.314

Cáceres, A. (2017). *Diseño del proceso de clasificación supervisada de cubiertas de suelo en imágenes satelitales* [Tesis de

posgrado, Universidad de Chile]. Universidad de Chile. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/145336

Carranza, J., & Tasilla, F. (2020). Pérdida de cobertura vegetal en el distrito de Morales, San Martín, Perú (periodo 1987–2017). *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo, 6*(1), 1–11. https://doi.org/10.17162/rictd.v6i1.1400

Chen, C., Yang, X., Jiang, S., & Liu, Z. (2023). Mapping and spatiotemporal dynamics of land-use and land-cover change based on the Google Earth Engine cloud platform from Landsat imagery: A case study of Zhoushan Island, China. *Heliyon, 9*(9), e19654. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19654

Cortes, C., & Zorro, D. (2023). *Análisis de cambio de coberturas de la tierra durante el periodo 2000–2023 en el Parque Nacional Natural El Tuparro, departamento del Vichada, Colombia* [Trabajo de grado, Universidad Antonio Nariño]. Repositorio Institucional de la Universidad Antonio Nariño. https://cienciaabierta.uan.edu.co/Record/repositorio.uan.edu.co-123456789-9089/Similar

Pazmiño, Y., de Felipe, J, Vallbé, M., Cargua, F., & Pazmiño, Y. (2024). Evaluation of the synergies of land use changes and the quality of ecosystem services in the Andean zone of Central Ecuador. *Applied Sciences, 14*(2), 498. https://doi.org/10.3390/app14020498

Souza, C., Jr., Shimbo, J., Rosa, M., Parente, L. L., Alencar, A, Rudorff, B.., Hasenack, H., Matsumoto, M., Ferreira, L. G., Souza-Filho, P., de Oliveira, S., Rocha, W., Fonseca, A. V., Marques, C. B., Diniz, C. G., Costa, D., Monteiro, D., Rosa, E. R., Vélez, E., … Azevedo, T. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. *Remote Sensing, 12*(17), 2735. https://doi.org/10.3390/rs12172735

United States Geological Survey. (2024). *Landsat satellite missions*. U.S. Geological Survey. Landsat mantiene un archivo continuo de observaciones de la superficie terrestre desde 1972.

Witting, N. (2019). *Cambio de cobertura y uso del suelo en diferentes períodos a partir del uso de imágenes satelitales en el distrito de Codo del Pozuzo, Huánuco* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/items/3dc656b6-b6e9-4440-afa9-18777a3e45a4

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Carla Sofia Arguello Guadalupe, Felitza Doménica Díaz Olmedo, Paulo César Tiupul Carrillo y Vanessa Belén Morales León.

Declaraciones éticas y editoriales del artículo

Contribución de los autores (Taxonomía CRediT)

Carla Sofia Arguello Guadalupe: conceptualización de la investigación, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, análisis formal de los datos, redacción del borrador original del manuscrito, revisión crítica del contenido científico y supervisión general del estudio.

Felitza Doménica Díaz Olmedo: curación y organización de los datos, participación en la recolección de información, validación de los resultados obtenidos y elaboración de representaciones gráficas y visualización de los datos.

Paulo César Tiupul Carrillo: provisión de recursos académicos y materiales para el desarrollo del estudio, apoyo en la administración del proyecto investigativo y revisión editorial del manuscrito antes de su publicación.

Vanessa Belén Morales León: conceptualización de la investigación, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, análisis formal de los datos, redacción del borrador original del manuscrito, revisión crítica del contenido científico y supervisión general del estudio.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con la investigación presentada, la autoría del manuscrito ni la publicación del presente artículo.

Declaración de financiamiento

La presente investigación no recibió financiamiento específico de agencias públicas, comerciales o de organizaciones sin fines de lucro. En caso de existir financiamiento institucional o externo, este deberá ser declarado explícitamente por los autores en esta sección.

Declaración del editor

El editor responsable certifica que el proceso editorial del presente artículo se desarrolló conforme a los principios de integridad científica, transparencia y buenas prácticas editoriales. El manuscrito fue sometido a un proceso de evaluación mediante revisión por pares doble ciego, garantizando la confidencialidad de la identidad de los autores y revisores durante todo el proceso de dictamen académico. Asimismo, el editor declara que el artículo cumple con los criterios científicos, metodológicos y éticos establecidos por la revista.

Declaración de los revisores

Los revisores externos que participaron en la evaluación del presente manuscrito declaran haber realizado el proceso de revisión de manera objetiva, independiente y confidencial. Asimismo, manifiestan que no mantienen conflictos de interés con los autores ni con la investigación evaluada, y que sus observaciones y recomendaciones se fundamentan exclusivamente en criterios científicos, metodológicos y académicos.

Declaración ética de la investigación

Los autores declaran que la investigación se desarrolló respetando los principios éticos de la investigación científica, garantizando la confidencialidad de los datos y el respeto a los participantes del estudio. En los casos en que la investigación involucre seres humanos, los procedimientos deben ajustarse a los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki y a las normativas institucionales correspondientes.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial

Los autores declaran que el uso de herramientas de inteligencia artificial, en caso de haberse utilizado durante el proceso de investigación o redacción del manuscrito, se realizó únicamente como apoyo técnico para mejorar la claridad del lenguaje o el análisis de información, manteniendo siempre la responsabilidad intelectual sobre el contenido del artículo. Las herramientas de inteligencia artificial no fueron utilizadas como autoras del manuscrito ni sustituyen la responsabilidad académica de los investigadores.

Disponibilidad de datos

Los datos que respaldan los resultados de esta investigación estarán disponibles previa solicitud razonable al autor de correspondencia, respetando las normas éticas y de confidencialidad establecidas por la investigación.