



Impactos ambientales en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún en el periodo 2017-2024

Andrés Camilo Enriquez Trejo

Jorge Alberto Candamil García

Yulissa Tapia Coneo

Daniel Alejandro Meléndez Albarracín

Ana María Romero Martínez

Trabajo de grado presentado para optar al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Tutora: Ana María Giraldo, Magíster (MSc) en Teledetección

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias e Ingenierías
Especialización en Sistemas de Información Geográfica - Virtual
Manizales, Caldas, Colombia
2025

Cita	(Enríquez Trejo et al, 2025)
Referencia	Enríquez Trejo et al (2025). <i>Impactos ambientales en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún en el periodo 2017-2024</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Manizales. RIDUM: Repositorio Institucional Universidad de Manizales.
Estilo APA 7 (2020)	



Seleccione posgrado UManizales (A-Z), II

Grupo de Investigación y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones

Línea de Investigación Territorios Inteligentes y Sostenibles.

Seleccione centro de investigación UManizales (A-Z).

Declaración de inteligencia artificial: el o los autores de este trabajo de grado declaran que han utilizado herramientas de inteligencia artificial (IA), tales como [mencionar herramientas utilizadas, por ejemplo, ChatGPT, Grammarly, Turnitin, Copilot, Gemini, entre otras], de manera ética y responsable, tal como se establece en el Acuerdo UManizales 002 (julio 26 de 2023) sobre propiedad intelectual e IA. Estas herramientas son empleadas como apoyo en la redacción, revisión gramatical y generación de ideas, pero en ningún caso sustituyen el análisis crítico, la argumentación académica ni la originalidad del trabajo. Asimismo, cualquier contenido generado con asistencia de IA está citado y referenciado adecuadamente, garantizando la integridad académica y el cumplimiento de los principios éticos de la investigación.

Biblioteca y Centro de Recursos: <https://biblioteca.umanizales.edu.co/>

Repositorio Institucional: <http://ridum.umanizales.edu.co/>

Universidad de Manizales: www.umanizales.edu.co

Revistas: <http://revistasum.umanizales.edu.co/>

Fondo Editorial: <https://editorialum.umanizales.edu.co/>

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Manizales ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos

Tabla de contenido

Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
1 Planteamiento del problema	13
1.1 Antecedentes	15
2 Justificación.....	19
3 Objetivos	23
3.1 Objetivo general	23
3.2 Objetivos específicos.....	23
4 Marco teórico	24
4.1. Impactos ambientales por actividades antrópicas en áreas protegidas.....	24
4.2. Importancia ecológica de la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún.....	25
4.3. Sistemas de Información Geográfica (SIG) y percepción remota en la gestión ambiental.....	26
4.4. Clasificación supervisada como técnica para el análisis de coberturas	26
4.5. Estrategias de mitigación ambiental.....	27
4.6. Herramientas y metodologías aplicadas en el análisis geoespacial.....	27
4.6.1. ArcGIS Pro	27
4.6.2. Planet Scope	28
4.6.3. QGIS.....	28
4.6.4. Global Mapper.....	28
4.6.5. CTM-12.....	29
4.6.6. Metodología CORINE Land Cover.....	29
5 Metodología	30
5.1. Enfoque metodológico	30

6. Resultados	40
6.1 Identificación de cambios en la cobertura del suelo entre 2017 y 2024 mediante una clasificación supervisada y la metodología Corine Land Cover.	40
6.2 Principales actividades antrópicas presentes en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún, durante el periodo 2017–2024.....	60
6.3 Impactos ambientales asociados a las actividades antrópicas presentes en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún.....	68
6.4. Estrategias de mitigación orientadas a la recuperación de áreas críticas de transformación ambiental en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún, con base en los resultados del análisis multitemporal y la caracterización de actividades antrópicas.....	90
7 Discusión.....	95
8 Conclusiones	98
9 Recomendaciones.....	100
Referencias	102

Lista de tablas

Tabla 1	35
<i>Definición de la coberturas identificadas según Corine Land Cover</i>	35
Tabla 2	42
<i>Coberturas del suelo para el año 2017</i>	42
Tabla 3	53
<i>Especies de aves endémicas y casi endémicas reportadas para el Parque Nacional Natural Los Nevados y su Zona Adyacente</i>	53
Tabla 4	55
<i>Coberturas del suelo para el año 2024</i>	55
Tabla 5	59
<i>Cambios en las coberturas del suelo entre los años 2017 y 2024</i>	59
Tabla 6	65
<i>Deforestación y degradación forestal</i>	65
Tabla 7	77
<i>Matriz de impacto ambiental</i>	77

Lista de figuras

Figura 1	19
<i>Mapa de localización del área de estudio</i>	19
Figura 2	32
<i>Imágenes de Planet Scope año 2017 y 2024</i>	32
Figura 3	34
<i>Shapefile de puntos correspondiente a las coberturas a clasificar</i>	34
Figura 4	41
<i>Fotografías de lagunas, lagos y ciénagas naturales</i>	41
Figura 5	44
<i>Fotografías de zonas glaciares y nivales</i>	44
Figura 6	45
<i>Fotografía de afloramientos rocosos</i>	45
Figura 7	46
<i>Fotografía de pastos</i>	46
Figura 8	47
<i>Fotografía de herbazal denso alto de tierra firme no arbolado</i>	47
Figura 9	48
<i>Fotografías de herbazal denso bajo de tierra firme no arbolado</i>	48
Figura 10	49
<i>Fotografías de bosques</i>	49
Figura 11	50
<i>Mapa de Coberturas del suelo en la cuenca de La Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún para el año 2017</i>	50

Figura 12	51
<i>Gráfica de coberturas del suelo para el año 2017</i>	51
Figura 13	54
<i>Mapa de Coberturas del suelo en la cuenca de La Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún para el año 2024</i>	54
Figura 14	58
<i>Gráfica de coberturas del suelo para el año 2024</i>	58
Figura 15	61
<i>Mapa de Relación de coberturas del suelo con actividades antrópicas en la cuenca de La Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún para el año 2017</i>	61
Figura 16	62
<i>Mapa de Relación de coberturas del suelo con actividades antrópicas en la cuenca de La Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún para el año 2024</i>	63
Figura 17	74
<i>Mapa de cambios de coberturas del suelo en la cuenca de La Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún para el periodo 2017-2024</i>	74

Siglas, acrónimos y abreviaturas

APA	American Psychological Association
CARDER	Corporación Autónoma Regional de Risaralda
CORINE	CO-ORdination of INformation on the Environment
CTM	Coordinated Transverse Mercator
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia
HA	Hectáreas
MP	Magistrado Ponente
PNN	Parques Nacionales Naturales
SECOP II	Sistema Electrónico de Contratación Pública
UManizales	Universidad de Manizales

Resumen

Los impactos ambientales son alteraciones generadas por actividades humanas que afectan los ecosistemas y el entorno natural, comprometiendo elementos clave como la calidad del aire, el agua, el suelo y la biodiversidad. Estos impactos pueden ser directos —como la deforestación, la contaminación o la expansión de áreas agropecuarias— o indirectos, como la pérdida de hábitats y los efectos del cambio climático.

En la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún, ubicada en una zona estratégica del Parque Nacional Natural Los Nevados, se han evidenciado diversas presiones sobre los ecosistemas altoandinos, donde convergen actividades como el turismo, la agricultura, la ganadería y otras intervenciones humanas. Si bien el turismo no regulado ha sido un factor relevante de presión ambiental, no es el único, y se hace necesario ampliar el análisis hacia un enfoque integral de los impactos acumulativos que se han generado entre 2017 y 2024.

En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las técnicas de percepción remota representan herramientas clave para identificar, analizar y comprender los cambios territoriales y ambientales en la cuenca. Estas tecnologías permiten localizar las áreas más afectadas, evaluar la dinámica de las coberturas del suelo y establecer relaciones espaciales con las posibles causas de los impactos, contribuyendo a la toma de decisiones informadas para la conservación y gestión ambiental del territorio.

Palabras clave: área protegida, turismo, recuperación ambiental, sistemas de información geográfico, parque nacional

Abstract

Environmental impacts are alterations generated by human activities that affect ecosystems and the natural environment, compromising key elements such as air quality, water, soil, and biodiversity. These impacts can be direct—such as deforestation, pollution, or the expansion of agricultural areas—or indirect, such as habitat loss and the effects of climate change.

In the Otún Lagoon and Otún River basin, located in a strategic area of Los Nevados National Natural Park, various pressures on high Andean ecosystems have been evident, where activities such as tourism, agriculture, livestock farming, and other human interventions converge. While unregulated tourism has been a significant factor in environmental pressure, it is not the only one, and it is necessary to expand the analysis to a comprehensive approach to the cumulative impacts generated between 2017 and 2024.

In this context, Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing techniques represent key tools for identifying, analyzing, and understanding territorial and environmental changes in the watershed. These technologies make it possible to locate the most affected areas, assess land cover dynamics, and establish spatial relationships with the possible causes of the impacts, contributing to informed decision-making for the conservation and environmental management of the territory.

Keywords: protected area, tourism, environmental restoration, geographic information systems, national park.

Introducción

La cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún, que se encuentra en el departamento de Risaralda y hace parte del Parque Nacional Natural Los Nevados, enfrenta una creciente presión ambiental debido a diversas actividades humanas, acompañadas por las generadas por el cambio climático. Estas acciones han provocado transformaciones en la cobertura del suelo y afectaciones a ecosistemas estratégicos. Ante esta situación, el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y percepción remota se plantea como una herramienta clave para identificar los cambios ambientales, analizar sus posibles causas y contribuir a la gestión sostenible del territorio.

La presente investigación se centra en la protección ecológica y ambiental del Parque Nacional Natural Los Nevados, con el objetivo de salvaguardar su ecosistema y, en particular, la Laguna del Otún, un embalse natural de alta montaña que desempeña un papel crucial en la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad regional. El medio ambiente ha sido reconocido por la jurisprudencia colombiana como un derecho fundamental de las personas y un servicio público transversal al ordenamiento jurídico (Corte Constitucional, Sentencia C-123/10). Dentro de las conceptualizaciones teóricas, se destaca el enfoque ecocéntrico, que postula que la naturaleza posee un valor intrínseco y no es meramente un recurso al servicio del ser humano (Corte Constitucional, Sentencia T-622/16). Este enfoque impone a las entidades gubernamentales la obligación de actuar ante la materialización de un daño ambiental, implementando medidas para que el Estado planifique el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, garantizando su desarrollo sostenible y conservación, así como la prevención y control de factores de deterioro ambiental, exigiendo la reparación de los daños causado.

En este contexto, la presente investigación plantea la siguiente pregunta guía: ¿Cuáles son los principales impactos ambientales derivados de las actividades antrópicas desarrolladas entre 2017 y 2024 en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún, y cómo se reflejan en los cambios detectados en la cobertura del suelo?.

1 Planteamiento del problema

El cambio en la cobertura del suelo es uno de los principales indicadores de transformación ambiental en ecosistemas de alta montaña. En Colombia, estos cambios se han intensificado en áreas protegidas donde confluyen múltiples actividades humanas, comprometiendo el equilibrio ecológico y la provisión de servicios ecosistémicos esenciales. La cuenca de la Laguna del Otún, localizada dentro del Parque Nacional Natural Los Nevados, representa un ejemplo crítico de esta situación, al reunir condiciones de alta fragilidad ambiental y fuerte presión antrópica.

Investigaciones desarrolladas en áreas naturales protegidas en América Latina han demostrado que actividades como el turismo, la agricultura y la ganadería son causas relevantes en los procesos de conversión, fragmentación y modificación del suelo y la vegetación. Por ejemplo, en México se han utilizado imágenes satelitales multiespectrales, cartografía temática y trabajo de campo para evidenciar la expansión de coberturas antrópicas, siendo el turismo una de las principales fuentes de presión territorial (Villegas y Gómez, 2020). De manera similar, en Colombia el turismo ha sido promovido como motor de desarrollo en regiones rurales y zonas de alta biodiversidad, lo cual ha generado presiones ambientales significativas, especialmente en áreas protegidas como los Parques Nacionales Naturales (Martínez, 2019).

En el caso de la cuenca de la Laguna del Otún, los impactos no se limitan únicamente al turismo no regulado. También confluyen prácticas agrícolas, ganaderas y el tránsito informal de personas, que en conjunto han generado transformaciones en la cobertura vegetal, compactación del suelo, fragmentación del hábitat y posibles afectaciones a la calidad del agua superficial (Martínez, 2019). Estas alteraciones comprometen funciones ecológicas clave, como la

regulación hídrica, la estabilidad del suelo, la retención de carbono y el mantenimiento de la biodiversidad.

La Laguna del Otún fue declarada humedal de importancia internacional en el año 2008 por la Convención Ramsar, debido a su relevancia como hábitat de aves migratorias y su papel en la recarga de acuíferos (Ramsar, 2008). Sin embargo, pese a su reconocimiento, aún no se cuenta con estudios suficientes que integren técnicas avanzadas de análisis espacial para evaluar los cambios ocurridos en la cobertura del suelo de esta cuenca en los últimos años. Tampoco se ha delimitado con precisión las zonas más afectadas, ni existe una sistematización de las transformaciones que han ocurrido en el periodo comprendido entre 2017 y 2024.

Frente a este vacío, se plantea como problema de investigación la necesidad de identificar, analizar y delimitar los cambios en la cobertura del suelo en la cuenca de la Laguna del Otún, relacionándolos con las principales actividades humanas que actúan como factores de presión ambiental. Para tal fin, el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de percepción remota se considera fundamental, ya que estas herramientas permiten integrar datos geoespaciales, realizar análisis temporales y generar productos cartográficos que respalden procesos de gestión ambiental, planificación del territorio y conservación ecosistémica.

1.1 Antecedentes

Para el desarrollo de la presente investigación, se realizó una revisión de investigaciones previas que abordan temáticas relacionadas con los impactos ambientales, el cambio en la cobertura del suelo y el uso de herramientas de percepción remota y análisis espacial en áreas naturales protegidas. En particular, se priorizaron estudios aplicados al Parque Nacional Natural Los Nevados y, de forma más específica, a la cuenca de la Laguna del Otún, por su alta relevancia ecológica y su nivel de presión antrópica. Los antecedentes seleccionados permiten contextualizar la problemática y sustentar conceptualmente el enfoque metodológico adoptado en esta investigación.

Delgado López (2018) realizó una clasificación de la cobertura del suelo en el Parque Nacional Natural Los Nevados utilizando la metodología Land Cover y datos satelitales de Sentinel-2. Identificó ocho unidades paisajísticas, destacando la predominancia de pajonal-frailejónal y arbustal, y resaltó la efectividad de esta metodología para obtener una visión actualizada de la cobertura del suelo en el parque. Estos hallazgos son fundamentales para comprender la distribución actual de las coberturas vegetales y servirán como referencia para analizar los cambios en la cobertura del suelo en la Laguna del Otún.

Álzate Giraldo (2017) llevó a cabo un análisis multitemporal de los cambios en las coberturas del Parque Nacional Natural Los Nevados mediante teledetección, identificando transformaciones significativas en la cobertura vegetal. El estudio evidenció la utilidad de las imágenes satelitales para monitorear cambios ambientales y proporcionó información esencial para comprender las dinámicas de cambio en la Laguna del Otún.

González Arbeláez et al. (2014) propusieron una estrategia de recuperación paisajística y ambiental para el tramo urbano del río Otún en Pereira, identificando problemáticas ambientales

y planteando soluciones de diseño urbano. Aunque centrado en el área urbana, el estudio ofrece perspectivas sobre la gestión integral de la cuenca del río Otún, relevante para la Laguna del Otún.

Duque et al. (2005) caracterizaron las formaciones vegetales presentes en el complejo de humedales de la Laguna del Otún, identificando especies dominantes y su distribución.

Resaltaron la diversidad de microhábitats y su importancia ecológica, proporcionando datos fundamentales para entender la composición y estructura de la vegetación en el área de estudio.

Botero (2002) destacó la riqueza vegetal de los ecosistemas altoandinos y de páramo en Colombia, enfatizando la diversidad presente en áreas como la Laguna del Otún. Subrayó la importancia de estos ecosistemas para la conservación de la biodiversidad, información crucial para contextualizar la relevancia ecológica de la zona de estudio y justificar la necesidad de su protección y manejo adecuado.

Franco Maass (2006) analizó el cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México, entre 1972 y 2000, identificando una disminución significativa de las áreas de bosque debido a actividades agrícolas y urbanización. Este estudio destaca la importancia de implementar políticas de manejo sostenible en áreas protegidas y ofrece un referente metodológico para estudios similares en el Parque Nacional Natural Los Nevados.

Morales et al. (2022) determinaron la cobertura y uso del suelo en el Parque Nacional Natural Los Nevados y su zona amortiguadora utilizando imágenes RapidEye. Clasificaron 14 categorías homologadas con el esquema de clasificación de coberturas para Colombia y generaron cartografía a escala 1:25.000. Este estudio proporciona una línea base para futuras investigaciones sobre planificación de recursos naturales en la región andina.

Gualdrón et al. (2022) realizaron un análisis de cambio de coberturas antrópicas en los Parques Nacionales Naturales de Colombia entre 2021 y 2022 a escala 1:25.000, identificando áreas con mayor transformación debido a actividades humanas. Este estudio es relevante para entender las dinámicas de cambio en la cobertura del suelo en áreas protegidas y sugiere la necesidad de estrategias de conservación específicas.

Martínez-Bernal et al. (2020) evaluaron los impactos ambientales del turismo en los Parques Nacionales Naturales de Colombia, incluyendo Los Nevados, identificando afectaciones significativas en componentes como el suelo, flora y fauna debido a actividades turísticas. Los resultados subrayan la necesidad de implementar estrategias de manejo sostenible del turismo en áreas protegidas.

Tautiva y Giraldo (2022) diseñaron una estrategia para generar conciencia sobre las consecuencias del turismo no regulado en el Parque Nacional Natural Los Nevados, identificando necesidades que incentivan estas prácticas y proponiendo una metodología de sensibilización. El estudio destaca la importancia de la educación ambiental para mitigar impactos negativos, aportando herramientas conceptuales para abordar el turismo no regulado en la Laguna del Otún.

La Corporación Autónoma Regional del Tolima CORTOLIMA (2019) presentó un plan de ordenamiento participativo para la actividad de turismo de naturaleza en la zona de influencia del Parque Nacional Natural Los Nevados, específicamente en Anzoátegui. Identificaron actividades permitidas, condicionadas y prohibidas, y propusieron indicadores para monitorear impactos del turismo. El documento proporciona un modelo de gestión aplicable a otras áreas del parque, incluyendo la Laguna del Otún.

García (2020) evaluó los impactos ambientales del turismo en la Laguna del Otún, identificando que el crecimiento en las visitas y la falta de conciencia ambiental han causado

alteraciones significativas en el ecosistema, especialmente en la cobertura vegetal y la calidad del agua. Este estudio destaca la necesidad de implementar estrategias de manejo sostenible del turismo para mitigar los efectos negativos en áreas protegidas.

López y Rodríguez (2017) analizaron el ecoturismo de alta montaña como estrategia de conservación en el Parque Nacional Natural Los Nevados, concluyendo que, aunque el ecoturismo tiene potencial para contribuir a la conservación, su implementación actual presenta desafíos que requieren ajustes para evitar impactos negativos en el ecosistema.

Martínez et al. (2021) investigaron los conflictos socioambientales en la cuenca alta del río Otún, identificando que las actividades económicas, incluyendo el turismo no regulado, han generado tensiones y afectaciones en los recursos naturales. Este estudio proporciona una perspectiva sobre las dinámicas sociales y ambientales que influyen en la gestión del área de estudio.

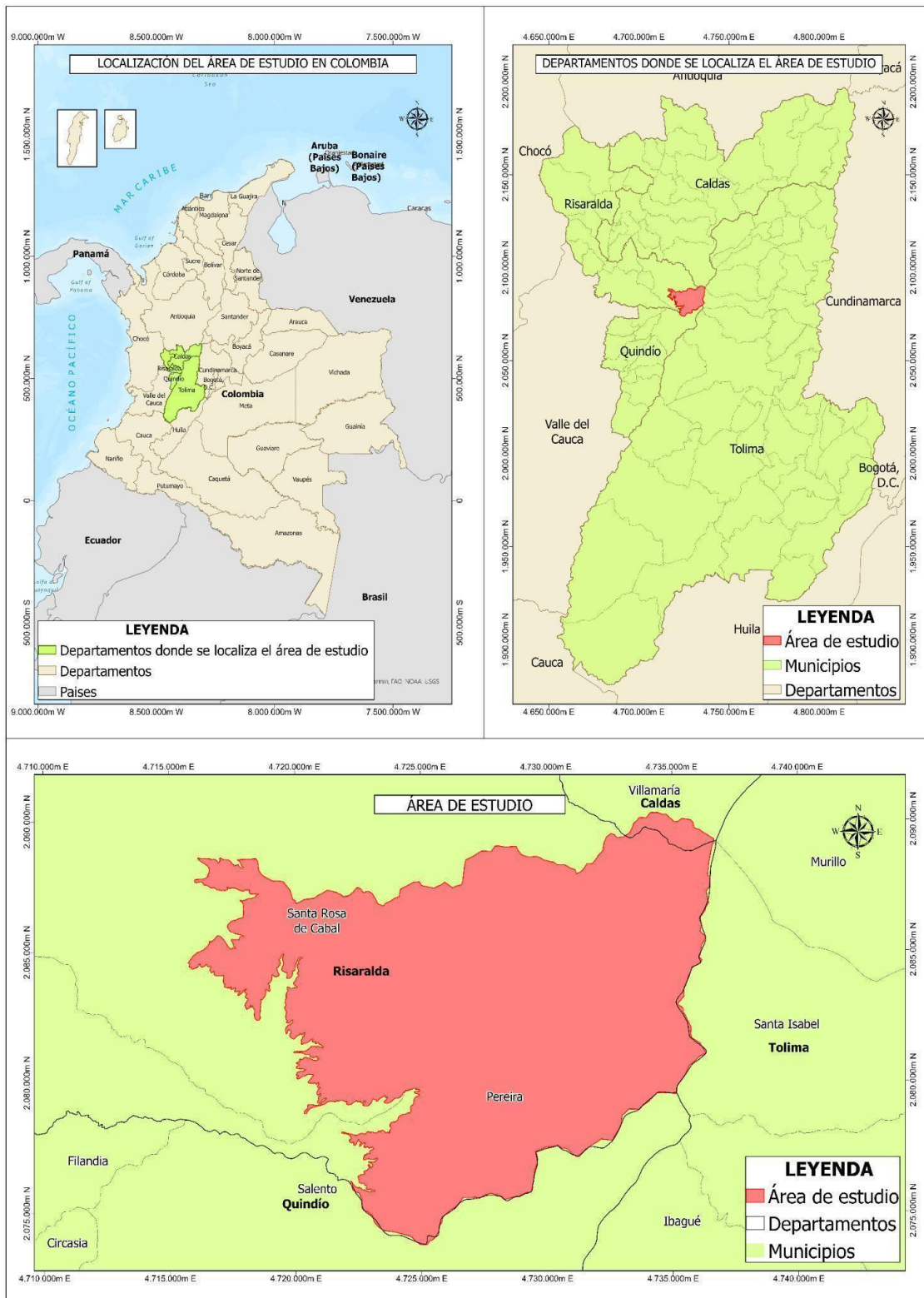
Parques Nacionales Naturales de Colombia (2017) elaboró el plan de manejo del Parque Nacional Natural Los Nevados, estableciendo directrices para la conservación y uso sostenible del área. Este documento es fundamental para comprender el marco de gestión y las estrategias implementadas en la zona de estudio.

2 Justificación

El análisis del cambio en la cobertura del suelo es una herramienta fundamental para comprender la dinámica territorial y sus implicaciones sobre los ecosistemas, especialmente en regiones de alta montaña como los páramos andinos. Estos ecosistemas cumplen funciones ecológicas clave, entre ellas la regulación hídrica, la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad. En este contexto, la cuenca de la Laguna del Otún, ubicada dentro del Parque Nacional Natural Los Nevados, se configura como un escenario estratégico para el estudio, debido a su sensibilidad ecológica, su función como fuente abastecedora de agua para municipios de cuatro departamentos (Risaralda, Caldas, Quindío y Tolima), y su creciente exposición a múltiples presiones antrópicas (Figura 1).

Figura 1

Mapa de localización del área de estudio



Fuente. Elaboración propia.

La Laguna del Otún, además de su valor ambiental, ha sido reconocida como uno de los destinos turísticos más visitados del parque. Esta condición ha generado una presión significativa sobre el ecosistema, evidenciada en la pérdida de cobertura vegetal, compactación del suelo, ampliación de senderos y afectación de la biodiversidad, producto del tránsito constante de visitantes, el uso de rutas no autorizadas y la falta de regulaciones efectivas (Tautiva & Giraldo, 2022; Martínez-Bernal et al., 2020). A estas presiones se suman actividades agrícolas y ganaderas que, de manera conjunta, han contribuido a la fragmentación del hábitat, el deterioro paisajístico y la posible alteración de la calidad del agua en la cuenca.

A pesar de la relevancia ambiental y social del área, los estudios que aborden sistemáticamente los cambios espaciales de la cobertura del suelo en la cuenca de la Laguna del Otún aún son limitados. En este sentido, el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de percepción remota se presenta como un recurso esencial para identificar áreas críticas de transformación, establecer tendencias de cambio y vincularlas con los factores de presión que actúan sobre el territorio. Estas herramientas permiten integrar imágenes satelitales, datos cartográficos y variables ambientales, generando productos temáticos que apoyan la toma de decisiones en conservación, ordenamiento territorial y gestión ambiental (Ulloa et al., 2017).

Asimismo, el uso de técnicas de clasificación supervisada en el procesamiento de imágenes ha demostrado alta efectividad para identificar y monitorear cambios en coberturas específicas. A través de esta metodología, es posible establecer patrones de transformación territorial con mayor precisión, lo que resulta clave en zonas complejas y de difícil acceso como los páramos altoandinos (Becerra-Fonseca, 2021). Su aplicación en la cuenca de la Laguna del

Otún puede aportar información técnica de alta calidad para orientar intervenciones y formular estrategias de manejo sostenible del territorio.

Por tanto, esta investigación se justifica no solo por la necesidad de evidenciar y delimitar los impactos ambientales actuales, sino también por su contribución a la consolidación de una base técnica sólida que pueda ser utilizada por las autoridades ambientales y entidades territoriales. La generación de conocimiento aplicado mediante SIG, con enfoque en la cuenca de la Laguna del Otún, contribuirá al fortalecimiento de los procesos de planificación, conservación y restauración ecológica en una de las áreas más frágiles y relevantes del Parque Nacional Natural Los Nevados.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar los impactos ambientales en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún, entre 2017 y 2024, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y percepción remota.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar los cambios en la cobertura del suelo entre 2017 y 2024 mediante una clasificación supervisada y la metodología Corine Land Cover.
- Caracterizar las principales actividades antrópicas presentes en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún, durante el periodo 2017–2024, con base en fuentes secundarias y análisis geoespacial.
- Analizar las áreas críticas de transformación ambiental, como pérdida de cobertura vegetal o expansión de actividades humanas, con el fin de determinar los impactos ambientales asociados.
- Proponer estrategias de mitigación orientadas a la recuperación de áreas críticas de transformación ambiental en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún, con base en los resultados del análisis multitemporal y la caracterización de actividades antrópicas.

4 Marco teórico

El referente teórico sustenta la comprensión del problema de investigación, aportando argumentos conceptuales y empíricos que justifican la necesidad del estudio y orientan la interpretación de los resultados. En este caso, el análisis de los impactos ambientales en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún requiere una revisión fundamentada sobre tres componentes esenciales: los efectos de las actividades antrópicas en áreas protegidas, la importancia ecológica de la cuenca en estudio, y el papel de las herramientas geoespaciales como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la percepción remota, especialmente las técnicas de clasificación supervisada.

Este marco se estructura a partir de fuentes primarias y secundarias actuales, con el fin de establecer una base sólida para la definición de las variables y la interpretación de los resultados. La perspectiva teórica que aquí se presenta tiene como propósito servir como soporte al análisis espacial de los impactos ambientales, orientar la formulación metodológica y facilitar la operacionalización de los datos recolectados.

4.1. Impactos ambientales por actividades antrópicas en áreas protegidas

Las áreas naturales protegidas enfrentan crecientes presiones derivadas de actividades humanas como la deforestación, la expansión agrícola, la ganadería y el turismo no regulado. Estos procesos han sido identificados como detonantes de transformación en los ecosistemas, alterando funciones ecológicas clave y reduciendo la capacidad de provisión de servicios ecosistémicos. La degradación ambiental se manifiesta, entre otros factores, a través de la

conversión, fragmentación y modificación de coberturas vegetales, fenómenos ampliamente documentados en áreas naturales protegidas de América Latina (Villegas y Gómez, 2020).

En Colombia, investigaciones recientes han evidenciado que la presión antrópica ha generado pérdida de cobertura vegetal, degradación del suelo y afectación de fuentes hídricas, especialmente en ecosistemas de montaña. Estos cambios comprometen el equilibrio natural y el abastecimiento de recursos vitales para las comunidades locales (Henao y Silva, 2024).

4.2. Importancia ecológica de la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún

El Parque Nacional Natural Los Nevados representa un sistema ecológico de gran valor por su diversidad biológica y por ser fuente hídrica de gran parte del Eje Cafetero. En su interior se encuentra la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún, un ecosistema de alta montaña que no solo abastece de agua potable a varios municipios, sino que alberga humedales, subpáramos y hábitats de especies amenazadas.

Desde el año 2008, esta laguna fue declarada sitio Ramsar, lo que la reconoce como humedal de importancia internacional por su rol en la conservación de la biodiversidad y la regulación hídrica (Ramsar, 2008). El Plan de Manejo del parque destaca que esta cuenca soporta el desarrollo de 13 municipios en cuatro departamentos y que ha sufrido presiones por actividades humanas como la ganadería extensiva y el aumento de visitantes en zonas ecológicamente frágiles (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2017). Asimismo, la autoridad ambiental regional CARDER ha identificado que la pérdida de vegetación, la compactación del suelo y la alteración del paisaje se relacionan con la expansión de actividades no planificadas en la cuenca alta (CARDER, 2019).

4.3. Sistemas de Información Geográfica (SIG) y percepción remota en la gestión ambiental

El uso de SIG y percepción remota ha permitido en las últimas décadas avanzar en el monitoreo de cambios territoriales, especialmente en áreas protegidas donde las dinámicas de cobertura del suelo son indicadores clave del impacto ambiental. Estas herramientas han sido empleadas por entidades como Parques Nacionales Naturales y el IDEAM para delimitar zonas afectadas, identificar patrones de cambio y apoyar la toma de decisiones en conservación ambiental (Ulloa et al., 2017; Herrera et al., 2018).

El monitoreo a escala 1:25.000 de coberturas antrópicas ha facilitado la construcción de bases de datos históricas y actualizadas sobre el uso del suelo, lo que permite observar las trayectorias de cambio en ecosistemas estratégicos y definir estrategias de restauración y manejo territorial. Esta sistematización también ha servido como soporte técnico en procesos de ordenamiento y control ambiental (Herrera et al., 2018).

4.4. Clasificación supervisada como técnica para el análisis de coberturas

Una de las técnicas más relevantes dentro del procesamiento de imágenes satelitales es la clasificación supervisada, que permite categorizar diferentes tipos de cobertura del suelo a partir de áreas de entrenamiento previamente identificadas. Este método se ha aplicado con éxito en el monitoreo de ecosistemas estratégicos como los páramos y subpáramos, al permitir detectar con precisión los cambios en las coberturas vegetales y los usos antrópicos del suelo.

La utilidad de esta técnica ha sido comprobada en distintos contextos rurales, como en el estudio de zonas agrícolas o de cultivos ilícitos, así como en el análisis de cobertura forestal en

áreas protegidas (Becerra-Fonseca, 2021). Además, se ha demostrado que algoritmos como Random Forest presentan altos niveles de exactitud en este tipo de análisis, siendo recomendados para estudios ambientales de alta resolución (Peña y Piedrahita, 2022).

4.5. Estrategias de mitigación ambiental

En el contexto de la gestión ambiental, los SIG posibilitan la identificación de áreas vulnerables, el monitoreo de cambios en el uso del suelo y la modelización de escenarios de riesgo, lo que resulta fundamental para definir estrategias de intervención, mediante la evaluación de las dinámicas especiales asociadas al deterioro ambiental, con el fin de evaluar los posibles riesgos de degradación y a su vez, identificar estrategias de mitigación y enmiendas para los mismos (Espinosa Quesada et al, 2024).

Mediante el análisis espacial y los datos que estos arrojen, es posible brindar recomendaciones sobre las medidas de protección del suelo que se pueden implementar para una gestión sostenible, desarrollando estrategias de conservación de los terrenos que contribuyan a una gestión ambiental más eficaz y adaptativa, que promuevan el cuidado de los ecosistemas (Galvez y Londoño, 2023) identificando las zonas críticas para la reforestación prioritaria, la restauración ecológica activa, y establecer senderos que minimicen el impacto ecológico en áreas de alto valor de conservación.

4.6. Herramientas y metodologías aplicadas en el análisis geoespacial

4.6.1. ArcGIS Pro

ArcGIS Pro es un software desarrollado por Esri que permite la gestión, análisis y modelamiento de datos geoespaciales en un entorno 2D y 3D. Su uso en investigaciones ambientales es fundamental debido a su capacidad para integrar bases de datos, generar mapas temáticos, realizar análisis multitemporales y aplicar modelos de geoprocésamiento avanzados (Esri, 2022).

4.6.2. Planet Scope

Planet Scope es una constelación de satélites de observación terrestre operada por Planet Labs, que proporciona imágenes de alta frecuencia temporal y resolución espacial cercana a los 3 metros. Su principal ventaja radica en la capacidad de generar series temporales consistentes que permiten identificar dinámicas rápidas en la cobertura del suelo y procesos ambientales de corta duración (Planet Labs, 2021).

4.6.3. QGIS

QGIS (Quantum GIS) es un software de código abierto que permite visualizar, editar y analizar datos geoespaciales. Se caracteriza por su accesibilidad y por contar con una amplia gama de complementos que facilitan la integración con otras plataformas. Su uso en estudios ambientales es estratégico al democratizar el acceso a información geográfica y facilitar análisis comparables con software privados (QGIS Development Team, 2022).

4.6.4. Global Mapper

Global Mapper es un software especializado en la visualización y conversión de datos ráster y vectoriales en múltiples formatos. Entre sus fortalezas se encuentra el manejo de grandes volúmenes de información, la generación de modelos digitales de elevación y el análisis

hidrológico de cuencas, aspectos clave en el estudio de ecosistemas de alta montaña (Global Mapper, 2020).

4.6.5. CTM-12

El sistema de coordenadas CTM-12 (Coordenadas Transversas de Mercator, Origen Bogotá) es una proyección cartográfica oficial en Colombia, empleada para garantizar precisión en la representación geográfica de datos. Su aplicación en este estudio asegura la interoperabilidad de la información con la cartografía oficial producida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2016).

4.6.6. Metodología CORINE Land Cover

La metodología CORINE Land Cover (Coordination of Information on the Environment), desarrollada por la Agencia Europea de Medio Ambiente, constituye un estándar internacional para la clasificación de coberturas del suelo. Su estructura jerárquica en tres niveles permite identificar y comparar transformaciones en el territorio con criterios homogéneos, lo que facilita análisis multitemporales y la gestión ambiental. En Colombia, esta metodología ha sido adaptada por el IDEAM y otras instituciones ambientales como base para el monitoreo de coberturas a escala nacional y regional (IDEAM, 2010).

5 Metodología

5.1. Enfoque metodológico

El presente trabajo de investigación adopta un enfoque metodológico mixto, integrando elementos cuantitativos y cualitativos, lo cual permite abordar de manera complementaria la complejidad del problema ambiental en la cuenca de la Laguna del Otún, dentro del Parque Nacional Natural Los Nevados.

Desde el enfoque cualitativo, se desarrolló una revisión documental y bibliográfica con el propósito de identificar, interpretar y contextualizar los impactos ambientales registrados en esta área, particularmente aquellos asociados al turismo no regulado, así como otras actividades antrópicas recurrentes en la zona. Esta etapa incluye el análisis de literatura científica, documentos técnicos de entidades ambientales, planes de manejo del parque y normativa vigente en materia de conservación, lo que permitió comprender las dinámicas socioterritoriales vinculadas al deterioro ecológico del ecosistema de alta montaña.

Por su parte, el componente cuantitativo se aplicó a través del análisis de datos geoespaciales, mediante el uso de imágenes satelitales, herramientas de percepción remota y Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este enfoque permitió identificar y medir cambios en la cobertura del suelo entre los años 2017 y 2024, con el fin de detectar áreas críticas de pérdida de vegetación, caracterizar patrones de transformación territorial y establecer relaciones espaciales entre las variables ambientales y las actividades humanas predominantes. La integración de estos métodos fortaleció la validez de los resultados, permitiendo generar información técnica confiable para la gestión y planificación del territorio.

Este enfoque mixto se justifica en la necesidad de abordar un objeto de estudio que, además de requerir precisión en el análisis espacial, demanda una comprensión integral del contexto ecológico, institucional y social en el que se inscriben los impactos ambientales. Por lo cual, el estudio se desarrolló a través de cuatro fases metodológicas, articuladas de forma secuencial:

Fase 1: Recolección de información

Se recopilaron datos geoespaciales y temáticos a partir de fuentes primarias, como imágenes satelitales multiespectrales de Planet Scope, seleccionadas por su resolución temporal y espacial adecuada para el análisis de coberturas vegetales. Asimismo, se consultaron fuentes secundarias, tales como cartografía oficial del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), registros de visitantes en el sector de la Laguna del Otún, y otros insumos disponibles en plataformas institucionales.

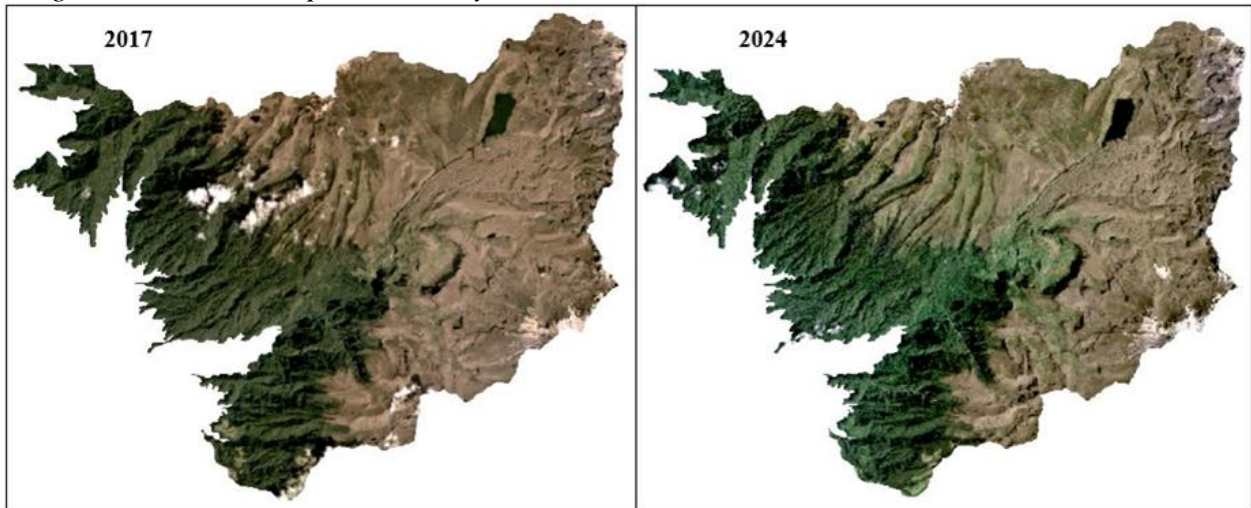
Fase 2: Procesamiento digital de imágenes

Se eligieron imágenes de los años 2017 y 2024, durante el mismo periodo del año. Las imágenes se obtuvieron de la plataforma de Planet Scope, que es un programa satelital operado por Planet Labs que utiliza una constelación de pequeños satélites para capturar imágenes diarias de casi toda la superficie terrestre. Sus imágenes tienen una resolución espacial de entre 3 y 3.7 metros, lo que permite observar con bastante detalle cambios en el uso del suelo, cultivos, cuerpos de agua y cobertura vegetal y lo que facilita análisis ambientales, agrícolas o territoriales.

Una vez definida el área de estudio y descargadas las imágenes, se usa la herramienta de Arcgis pro, Qgis y Global Mapper, para procesarlas. El inicio del proceso consistió en proyectar las imágenes al sistema de referencia CTM 12 de origen nacional, y posteriormente hacerles una extracción o recorte con el polígono de la cuenca (figura 2).

Figura 2

Imágenes de Planet Scope año 2017 y 2024



Fuente. Plataforma de Planet Scope.

Después que se realiza la extracción del raster, se procede a cargar la información en Arcgis Pro, y vincular la carpeta de trabajo por medio de la herramienta Catálogo, durante la visualización del área de trabajo, se debe identificar las coberturas que se tendrán en consideración para la clasificación supervisada y numerarlas. Verificadas las diferentes calidades de las imágenes, así como la información existente en páginas gubernamentales, se procede a seleccionar las coberturas a clasificar, identificando las siguientes:

- Bosques
- Lagunas, lagos y ciénagas naturales
- Zonas Glaciares y Nivales

- Herbazal Denso Alto
- Herbazal Denso Bajo
- Nubes
- Pastos
- Afloramiento Rocoso
- Sombra

Definidas las coberturas, se crea un archivo shapefile, asignando el sistema de coordenadas correspondiente. El siguiente paso consiste en activar el editor mediante la herramienta “Crear características” y con el shapefile creado previamente, se procede a digitalizar las áreas que comparten características comunes según las coberturas definidas.

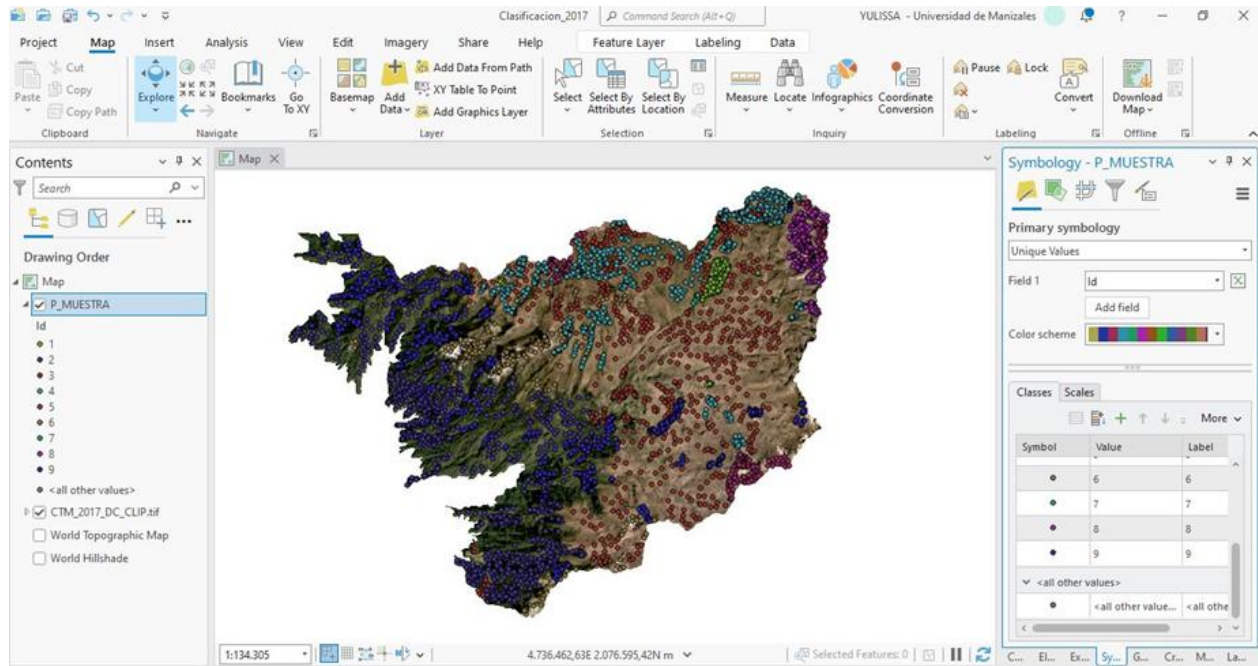
Al momento de digitalizar cada característica común en el shapefile de puntos, es fundamental asegurar una cobertura adecuada, de manera que se garantice un proceso preciso y con el menor margen de error posible. Asimismo, es importante tener en cuenta que estas características deben ser diferenciadas en la tabla de atributos, asignándoles un valor que permita su identificación y clasificación posterior.

En el momento de tener toda la información requerida y digitalizada, se continúa con la rutina para generar la Clasificación Supervisada, en la herramienta Tools > spacial analysis tools > multivariate > create signatures.

En esta rutina se usa los puntos digitalizados, usando valor Id para generar la firma de los valores espectrales, se visualizan mediante bloc de notas, y permite mirar la información estadística para cada una de las clases (ver figura 3).

Figura 3

Shapefile de puntos correspondiente a las coberturas a clasificar



Fuente. Elaboración propia con base en imágenes satelitales de Planet Scope.

Después del momento de revisar la estadística espacial, se continúa con la rutina, en la herramienta Tools > spatial analysis tools > multivariate > maximum likelihood classification. La herramienta usa todas las bandas que tiene la imagen satelital, las selecciona y las clasifica de acuerdo a los puntos o creación de firmas.

Al momento de crear la salida gráfica, se produce un archivo geográfico formato raster con una serie de píxeles con colores, los que corresponden a las coberturas seleccionadas anteriormente y la clasificación mediante los puntos y píxeles seleccionados.

Si se requiere modificar el color se puede hacerlo mediante la herramienta de simbología. Una vez generado el resultado preliminar se procede a realizar el mejoramiento de los píxeles mediante Majority Filter, para unir los píxeles sueltos a las coberturas con área predominante.

Después se convierte a polígono, se coloca el nombre de la cobertura estandarizada según Corine Land Cover las cuales se definen en la tabla 1, y se le realiza ajustes en las zonas donde se confunden las coberturas hasta obtener el resultado final. Es importante indicar que se identificaron zonas pertenecientes a nubes y sombras, pero estas cubiertas no están dentro de la clasificación de CORINE por eso no se evidencian en la siguiente tabla.

Tabla 1

Definición de la coberturas identificadas según Corine Land Cover

Código	Cobertura	Definición
5.1.2	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	Son superficies o depósitos de agua naturales de carácter abierto o cerrado, dulce o salobre, que pueden estar conectadas o no con un río o con el mar. En la zona andina hay cuerpos de agua (lagos y lagunas) situados en alta montaña que constituyen las áreas de nacimiento de ríos.
3.3.5	Zonas glaciares y nivales	Son áreas cubiertas por hielo en forma permanente y por nieve en forma ocasional. La cobertura de hielo se localiza en la cima y las laderas de algunas de las montañas más altas de los Andes colombianos, por encima de la cota de nivel de 4.900 msnm. Se caracteriza por presentar poca variación de su área en el tiempo, con tendencia a la lenta reducción debido al calentamiento de la atmósfera por el cambio climático, aunque eventos extremos como erupciones volcánicas pueden producir grandes pérdidas de las masas glaciares.

3.3.2	Afloramientos rocosos	Son aquellas áreas en las cuales la superficie del terreno está constituida por capas de rocas expuestas, sin desarrollo de vegetación, generalmente dispuestas en laderas abruptas, formando escarpes y acantilados; así como zonas de rocas desnudas relacionadas con la actividad volcánica o glaciaria. Asociados con los afloramientos rocosos se pueden encontrar depósitos de sedimentos finos y gruesos, de bloques o de cenizas.
2.3	Pastos	Integran las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística dominada principalmente por la familia Poaceae, dedicadas a pastoreo permanente por un período de dos o más años. Una característica de esta cobertura es que en un alto porcentaje su presencia se debe a la acción antrópica, referida especialmente a su plantación, con la introducción de especies no nativas principalmente, y en el manejo posterior que se le hace.
3.2.1.1.1.1.1	Herbazal denso alto de tierra firme no arbolado	Corresponde a aquellas superficies dominadas por vegetación natural herbácea de porte alto, con una cobertura mayor a 70% del área total de la unidad, donde no existe presencia de elementos arbóreos y/o arbustivos dispersos, o en caso de existir, en ningún caso superan el 2%, el cual se desarrolla en áreas que no están sujetas a períodos de inundaciones. Generalmente está rodeado de áreas de bosques riparios y hay predominancia de especies herbáceas.

3.2.1.1.1.1.2	Herbazal denso bajo de tierra firme no arbolado	Corresponde a aquellas superficies dominadas por vegetación natural herbácea de porte bajo con una cobertura mayor a 70% del área total de la unidad, donde no existe presencia de elementos arbóreos y/o arbustivos dispersos, o en caso de existir, en ningún caso superan el 2%. Generalmente está rodeado de áreas de bosques riparios y hay predominancia de especies herbáceas.
3.1	Bosques	Comprende las áreas naturales o seminaturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas. Los árboles son plantas leñosas perennes con un solo tronco principal, que tiene una copa más o menos definida. Esta cobertura comprende los bosques naturales y las plantaciones.

Fuente. Elaboración propia con base en IDEAM, 2010.

La metodología CORINE Land Cover (Coordination of Information on the Environment), desarrollada por la Agencia Europea de Medio Ambiente, es una herramienta estandarizada diseñada para la obtención, organización y análisis de información sobre la cobertura y el uso del suelo. Esta metodología se originó en 1985 con el objetivo de generar datos comparables a nivel europeo que permitieran una comprensión integral del territorio, facilitando la toma de decisiones en políticas ambientales, de ordenamiento territorial y de desarrollo sostenible (EEA, 1995; Bossard, Feranec & Otahel, 2000).

Se basa en la interpretación de imágenes satelitales, complementadas con otras fuentes de información como mapas topográficos, fotografías aéreas, datos estadísticos y verificaciones de campo. A partir de esta información, se elabora una cartografía temática que clasifica el territorio

en una estructura jerárquica de tres niveles, la cual permite una caracterización detallada de las diferentes clases de cobertura y uso del suelo, como áreas urbanas, tierras agrícolas, cuerpos de agua, bosques y espacios naturales (Feranec et al., 2007).

Uno de los valores más destacados de esta metodología es su coherencia y replicabilidad. Gracias a la definición precisa de criterios técnicos y a su sistema de clasificación estandarizado, permite realizar análisis espaciales consistentes a lo largo del tiempo, lo que facilita el seguimiento de cambios en el uso del suelo y la evaluación de tendencias territoriales. De esta forma, se convierte en una herramienta valiosa no solo para instituciones gubernamentales, sino también para investigadores, planificadores y gestores del medio ambiente (European Environment Agency [EEA], 2018).

Además, su aplicación no se limita exclusivamente al contexto europeo. Diversos países fuera del continente han adoptado o adaptado la metodología CORINE como una guía confiable para sus propios estudios, evidenciando su utilidad en contextos diversos y su capacidad para integrarse con tecnologías geoespaciales modernas, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Soukup et al., 2012).

En resumen, la metodología representa un enfoque riguroso y sistemático para el análisis del territorio, promoviendo el conocimiento detallado del espacio geográfico y contribuyendo de manera significativa a la toma de decisiones para la planificación del territorio con una visión de sostenibilidad y responsabilidad territorial.

Fase 3: Análisis espacial y modelamiento

A partir de los resultados de la clasificación, se realizó un análisis espacial detallado para identificar patrones de cambio, áreas críticas de transformación y posibles correlaciones entre las

variables ambientales y las actividades humanas predominantes en la cuenca. Esta fase también incluyó el análisis de series temporales y de estadísticas de ingreso turístico en el sector, a fin de establecer relaciones entre presión turística y cambio en la cobertura del suelo.

Fase 4: Organización, representación y síntesis de resultados

Los datos procesados se estructuraron en bases de datos geográficas (geodatabases) para su almacenamiento, consulta y análisis estructurado. Se utilizó software especializado como QGIS, ArcGIS Pro y ENVI, lo que permitió generar productos cartográficos temáticos, reportes de cambio, y visualizaciones orientadas a la toma de decisiones.

Los resultados permitieron identificar zonas prioritarias para la gestión ambiental, crear la matriz de impacto ambiental teniendo en cuenta la matriz de Evaluación de Aspectos Ambientales desarrollada por el Instituto De Planificación Y Promoción De Soluciones Energéticas para Las Zonas No Interconectadas -IPSE y el Estudio De Impacto Ambiental Contrato De Concesión No. FGS – 16306X Mina Encontrados, la cual fue adaptada al trabajo de investigación. Así como orientar acciones de restauración, regulación del uso público y conservación en la cuenca de estudio.

6. Resultados

6.1 Identificación de cambios en la cobertura del suelo entre 2017 y 2024 mediante una clasificación supervisada y la metodología Corine Land Cover.

El área de estudio se encuentra ubicada en el Parque Nacional Natural Los Nevados, en la cordillera Central, específicamente en el departamento de Risaralda. Se sitúa a una altitud aproximada de 3.950 metros sobre el nivel del mar y hace parte del complejo de ecosistemas de páramo y alta montaña.

La Laguna del Otún es alimentada principalmente por los deshielos del glaciar del Nevado Santa Isabel y es una fuente importante del río Otún, que abastece de agua potable a la ciudad de Pereira y otros municipios del eje cafetero. Además de su valor ecológico e hídrico, la Laguna del Otún es un sitio de gran interés turístico y científico, conocido por su biodiversidad, paisajes y por ser hábitat de especies endémicas.

Como se ha mencionado, el área de estudio tiene una diversidad de especies generadoras de riqueza ambiental, en la que se experimenta intervención del hombre por ser una zona turística y escenario de otras actividades económicas como la agricultura y ganadería. Es por ello, que se identificaron las coberturas del suelo mediante clasificación supervisada realizada en Arcgis Pro la cual fue adaptada a la metodología CORINE Land Cover, para los años correspondientes 2017 y 2024 en la misma temporalidad del año.

Para el año 2017, se identificaron 9 unidades de coberturas las cuales se llevaron al nivel de detalle permitido con la interpretación de la imagen satelital, el apoyo en Google Earth y SAS Planet; con la primera aplicación se visualizan imágenes de alta resolución, se explora algunas zonas del territorio en 3D y se pueden observar fotografías de algunos sitios visitados. Las

unidades se caracterizan a continuación, al nombre de la cobertura se le agrega el código que le pertenece el cual obedece al nivel de detalle llegado, estructura manejada por la metodología Corine Land Cover:

5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales

Esta cobertura abarca 99,33 HA representando el 0,52% del área total de la zona de interés, dentro de esta clasificación se encuentra la Laguna del Otún y otros cuerpos de agua que se localizan mayormente en el norte del área de estudio, estos albergan innumerables especies de fauna y flora, generan servicios ecosistémicos y uno de ellos son las actividades turísticas que se ejercen en ellos. En la laguna del Otún los visitantes pueden acampar y pescar, existen cabañas aledañas donde las personas tienen la oportunidad de alojarse (Ver figura 4).

Figura 4

Fotografías de lagunas, lagos y ciénagas naturales



Fuente. Google Earth.

Según la información estadística de las coberturas identificadas para el año 2017 contenida en la tabla 2, se puede observar que la cobertura en mención es la que menor área representa pero ambientalmente es una de las más importantes debido a que la Laguna del Otún hace parte del Sistema de Humedales del Otún (RAMSAR), que junto con los demás cuerpos de agua conforman el sistema hídrico del parque natural, permitiendo la regulación ecosistémica dentro del área protegida y en zonas aledañas para la población que se beneficia del recurso natural.

Tabla 2

Coberturas del suelo para el año 2017

Código	Coberturas del suelo para el año 2017	Área (ha)	Porcentaje (%)
5.1.2.	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	99,33	0,52%
3.3.5.	Zonas glaciares y nivales	273,69	1,43%
No aplica	Nubes	444,74	2,33%
3.3.2.	Afloramientos rocosos	549,59	2,88%
2.3.	Pastos	1316,35	6,89%
No aplica	Sombra	1880,37	9,84%

3.2.1.1.1.1.1.	Herbazal denso alto de tierra firme no arbolado	4503,93	23,57%
3.2.1.1.1.1.2.	Herbazal denso bajo de tierra firme no arbolado	4676,85	24,48%
3.1.	Bosques	5362,26	28,06%
Total general		19107,12	100,00%

Fuente. Elaboración propia.

3.3.5. Zonas glaciares y nivales

Esta unidad tiene 273,69 HA representando el 1,43% de la zona de estudio, en la figura 11 se observa de color café claro y se ubica en el Nevado de Santa Isabel (Noreste) y Paramillo del Quindío (Este).

En relación con el volcán nevado de Santa Isabel se encuentra localizado en los límites de los departamentos de Risaralda, Caldas y Tolima, en las coordenadas geográficas 4° 47' N y 75° 24' O. Presenta una forma elongada en dirección NNE, alcanzando la cota de 4965 m, altura que permite la presencia de un casquete glaciar de 7 km². Presenta drenaje radial excéntrico y es fuente hídrica para los ríos Otún y Claro que drenan en el río Cauca, y Azul (afluente del río Recio) y Torarito (afluente del Totare), que brindan sus aguas al río Magdalena (Servicio Geológico Colombiano [SGC], 2005).

Por otro lado, el Paramillo del Quindío está situado sobre el eje de la Cordillera Central en el límite de los departamentos del Tolima, Quindío y Risaralda en las coordenadas geográficas 4.42°20" de latitud norte y 75.23°26" de longitud oeste. Corresponde a una estructura volcánica

con una altura aproximada de 4700 m, caracterizada por una morfología madura heredada de la acción glaciaria. La parte central del edificio volcánico ha sido afectada por intensa actividad hidrotermal, los flujos de lava presentan fuerte alteración y mineralización, actualmente no se observan evidencias de esta actividad por la ausencia de manifestaciones termales en el área (SGC, s.f.) (ver figura 5).

Al igual que la cobertura de lagunas, lagos y ciénagas naturales, esta no es representativa en cuanto a extensión, pero cumple un papel importante en la configuración del territorio y la regulación hídrica y climática, por ser ecosistemas de alta montaña que actúan como reservorios de agua dulce. Asimismo, albergan diversidad de especies de fauna y flora adaptadas a condiciones extremas. Las características ambientales contribuyen a que estos sitios sean visitados por las personas como actividades de ocio y también educativas para quienes les interesa el estudio de este tipo de complejos naturales.

Figura 5

Fotografías de zonas glaciares y nivales



Fuente. Google Earth.

Nubes

Esta cobertura como se indicó en la metodología, no hace parte de la clasificación de Corine Land Cover, pero por encontrarse en la imagen se tiene en cuenta para el análisis en el trabajo investigativo. Pues la nubosidad se refiere a la fracción del cielo que está cubierta por nubes. En el contexto de la cobertura del suelo, la nubosidad puede influir significativamente en la cantidad de luz solar que llega a la superficie terrestre, afectando la temperatura y otros factores ambientales.

Esta cobertura ocupa 444,74 HA representa el 2,33% de la zona de interés, en el mapa se observa de color blanco y se halla en mayor proporción en el noreste donde están las zonas de bosques, los cuales son sectores altos y húmedos, que generan evapotranspiración y la liberación de compuestos orgánicos volátiles (COV) que actúan como núcleos de condensación generando la nubosidad (DFM Directorio Forestal Maderero, 2016).

3.3.2. Afloramientos rocosos

Esta cobertura cubre 549,59 HA representa el 2,88% de la zona de interés, se observa de color café claro en el mapa y se localiza en el Nevado de Santa Isabel (Noreste), Paramillo del Quindío (Este) y Paramillo de Santa Rosa (Noroeste) (Ver figura 6). Es una unidad de cobertura que hace parte de los glaciares, cuando esta cobertura aumenta indica que el glaciar disminuye.

Figura 6

Fotografía de afloramientos rocosos



Fuente. Google Earth.

2.3. Pastos

Esta cubierta abarca 1316,35 HA representando el 6,89% de la extensión en estudio, en el mapa limita con la zona de bosques y herbazales; según la imagen de satélite y fuentes secundarias consultadas se pudo identificar actividades ganaderas e infraestructura asociada como fincas y corrales (ver figura 7). Con la existencia de esta cubierta en el área de estudio, se comprueba la intervención del hombre al cambiar la dinámica natural del suelo para el establecimiento de parcelas en donde se ejercen prácticas ganaderas.

Figura 7

Fotografía de pastos



Fuente. Google Earth.

Sombra

La cobertura de sombras ocupa 1880,37 HA con un porcentaje de 9,84; en el mapa se observa de color negro, se ubica mayormente en la zona de bosques y nevados que presentan altas pendientes.

3.2.1.1.1.1. Herbazal denso alto de tierra firme no arbolado

Esta unidad de cobertura tiene 4503,93 HA representa el 23,57% del área de estudio; se clasificó de esta manera por tener mayor vigorosidad y altura según la interpretación de la imagen satelital y la información contenida en Google Earth (Ver figura 8).

Figura 8

Fotografía de herbazal denso alto de tierra firme no arbolado



Fuente. Google Earth.

3.2.1.1.1.2. Herbazal denso bajo de tierra firme no arbolado

La unidad de cobertura alcanza las 4676,85 has que representan el 24,48% del área de estudio, de acuerdo con la interpretación que se le hizo a la imagen de satélite este tipo de vegetación presenta menor vigorosidad que el herbazal alto, en las fotografías de Google Earth del año 2023 se pueden observar frailejones en estado de crecimiento mezclado con pajonales y otros tipos de vegetación (ver figura 9).

Figura 9

Fotografías de herbazal denso bajo de tierra firme no arbolado



Fuente. Google Earth.

3.1. Bosques

Esta unidad es la más extensa dentro de la zona de interés, para el año 2017 ocupa 5362,26 has es decir el 28,06%, en el mapa se observa de color verde oscuro y se ubica en la zona más baja de la cuenca alta del río Otún el cual es atravesado por una red hídrica conformada por el río Otún, Azul, Barbo, quebrada El Oso, La Calera, El Paraíso, La Pastora, San Pacho, Las Delicias, Morolindo, Aguazul, La Selva, entre otras. Que abastecen a las comunidades aledañas y constituyen el hábitat de innumerables especies de fauna (figura 10).

Figura 10

Fotografías de bosques



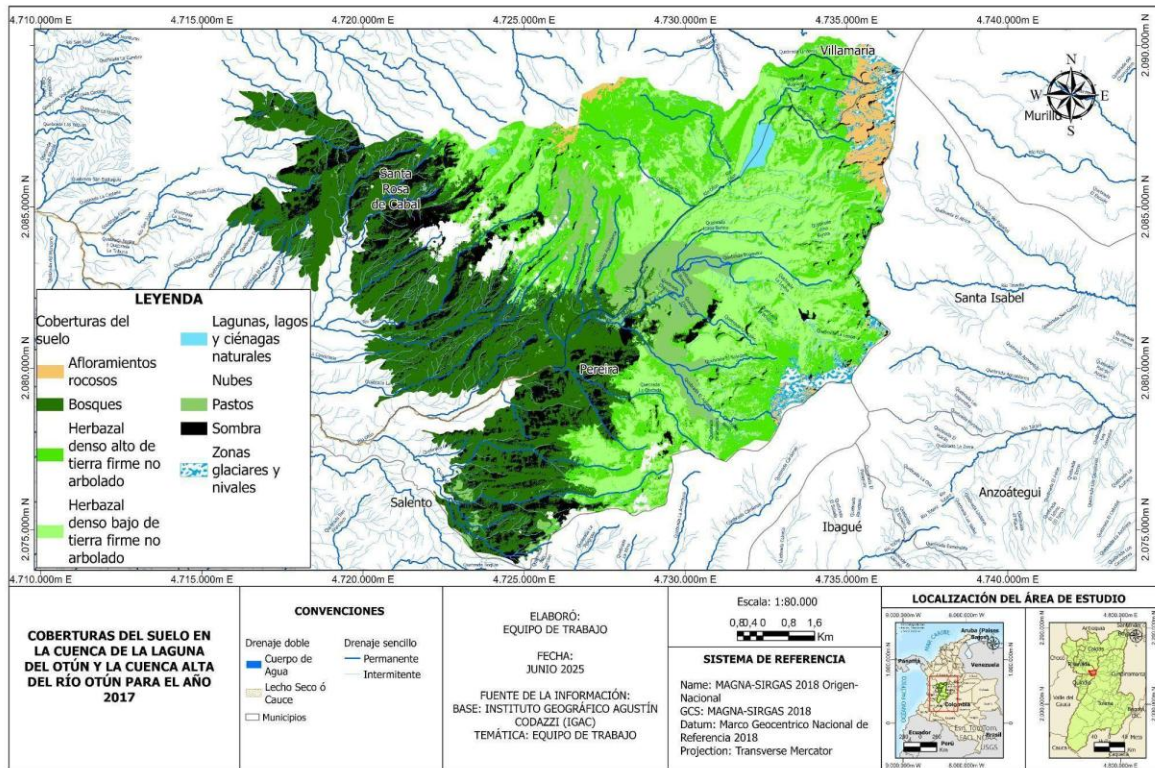
Fuente. Google Earth.

En la figura 11, se observan las coberturas que fueron descritas anteriormente y en relación con las zonas de bosques, se puede observar la red de drenajes que se distribuyen por toda la cubierta en la cual habitan innumerables especies de flora y fauna, por las sombras que se

proyectan se incide que es un relieve de altas pendientes, permitiendo el desarrollo de geformas que crean paisajes que son llamativos para prácticas turísticas.

Figura 11

Mapa de Coberturas del suelo en la cuenca de La Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún para el año 2017



Fuente. Elaboración propia con base en imagen satelital de Planet Scope del año 2017.

La gráfica de la figura 12, representa la información estadística de las coberturas del año 2017, la cual demarca la prevalencia de unas coberturas con relación a otras, sobresalen las de mayor extensión como son bosques y herbazales en donde se localiza la vegetación de páramo y mayormente las actividades antrópicas. En los herbazales se halla el frailejón que es una de las especies emblemáticas de los páramos de Colombia, aquellos frailejones cuyos tallos están recubiertos de hojas muertas, hacen las veces de un edificio que da hogar y alimento a muchos insectos. En la medida en que la neblina paramuna va pasando por la montaña, los frailejones van

atrapando la humedad y formando pequeñas gotas que, poco a poco, van escurriendo y anegando los suelos de los páramos. Así, estas plantas son seres de trascendental importancia para captar y entregar el tan necesario recurso hídrico; tanto para la regulación ambiental del parque como las comunidades que aprovechan los recursos ambientales (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2022).

Figura 12

Gráfica de coberturas del suelo para el año 2017



Fuente. Elaboración propia.

En el desarrollo de la investigación no está contemplado el trabajo de campo pero a través de la consulta de fuentes secundarias como el Plan de manejo 2017–2022: Parque Nacional Natural Los Nevados, en el que se encontró la caracterización de las especies de flora y fauna que se encuentran en los pisos altitudinales dentro del Parque Nacional Natural los Nevados y las zonas circundantes.

Aproximadamente existen 19 tipos de vegetación con varias estructuras. Nueve tipos pertenecen a ecosistemas de páramo y superpáramo, y diez pertenecen a bosques altoandinos. Los

ecosistemas muestran estructuras bajas, densas o abiertas, dominadas por herbáceas, gramíneas o arbustos pequeños. Las comunidades existentes son: *Baccharis caespitosa* - *Lachemilla nivalis*, *Senecio isabelis* - *Lupinus allopecuroides*, *Werneria humilis*, *Pentacalia vernicosa*, *Calamagrostis effusa* - *Calamagrostis recta* - *Espeletia*, *Agrostis haenkeana* - *Lupinus microphyllus*, *Lachemilla orbiculata* - *Trifolium amabile*, *Plantago rigida*, *Pentacalia* - *Hypericum* - *Gynoxis* (Parques Nacionales Naturales De Colombia, 2017).

Hay 10 tipos de bosques. *Gynoxis* - *Hesperomeles*, bajos, densos o abiertos, con una gran cantidad de musgos y líquenes, dominados por los géneros que le dan su nombre y por *Diplostephium*, *Hypericum*, *Monina*, *Rubus* y *Escallonia*. Bosques de *Weinmannia* - *Fuchsia*, densos relativamente altos, dominados claramente por el género *Weinmannia* que se encuentra asociado con *Fuchsia*, *Miconia* y otras *Melastomataceae*. También es abundante en líquenes y musgos. Bosques de *Weinmannia* - *Hesperomeles*, densos relativamente altos, dominados por el género *Weinmannia*, asociado con *Hesperomeles*, *Rubus* y *Chusquea*. Abundan también los musgos y los líquenes. Bosques de *Weinmannia* - *Pilea*, densos relativamente altos, donde *Weinmannia* está presente, pero no siempre domina (Parques Nacionales Naturales De Colombia, 2017).

Hay otros árboles como *Brunellia*, *Vernonia*, helechos arbóreos del género *Cyathea* y una gran cantidad de *Melastomataceae*. Bosque de *Quercus* - *Viburnum*, altos densos, dominados por *Quercus*, asociado con algunos géneros de *Lauraceae*. El arbusto *Viburnum* es un acompañante constante del Roble. Bosques de *Lauraceae*, densos altos a muy altos, que presentan una gran variación en la dominancia de los árboles. Siempre hay especies de la familia *Lauraceae* en el dosel superior (Parques Nacionales Naturales De Colombia, 2017).

Bosques de *Lauraceae* - *Ladenbergia* con un grupo de 55 géneros que aparentemente son exclusivos de este tipo. Bosques de *Lauraceae* - *Ulmaceae* con menos géneros asociados que el tipo anterior y con preponderancia de la familia *Ulmaceae*. Bosques de *Lauraceae* - *Croton* donde, aparte de grandes árboles de *Lauraceae*, aparecen varios géneros de las familias *Papilionaceae* y *Mimosaceae*. Bosques de *Lauraceae* - *Coccoloba* donde, en adición al género *Coccoloba*, aparecen varios géneros de la familia *Sapotaceae*. Y bosques de *Randia*, este tipo es totalmente diferente de los anteriores porque son bosques densos altos que presentan un número de especies caducifolias de las familias *Sterculiaceae* y *Bignoniaceae* (Parques Nacionales Naturales De Colombia, 2017).

La biodiversidad del Parque cuenta con el 27% de las especies de mamíferos, el 23% de los quirópteros, el 50% de los ratones del género *Oryzomys*, el 11% de los primates y casi el 31% de las especies de aves reportadas en el territorio nacional (Parques Nacionales Naturales De Colombia, 2017). En la tabla 3 se observan las aves endémicas que posee en área protegida.

Tabla 3

Especies de aves endémicas y casi endémicas reportadas para el Parque Nacional Natural Los Nevados y su Zona Adyacente

Aves endémicas	Aves endémicas compartidas con otros países		
<i>Cyclarhis nigrirostris</i>	<i>Hapalopsittaca fuertesi</i>	<i>Anthocephala floriceps</i>	<i>Trogon compus</i>
<i>Cinclodes excelsior</i>	<i>Penelope perspicax</i>	<i>Odontophorus hyperythrus</i>	<i>Leptopogon rufipectus</i>
<i>Saltator atripennis</i>	<i>Grallaria alleni</i>	<i>Habia cristata</i>	<i>Thamnophilus multistriatus</i>
<i>Oxipogon stubelli</i>	<i>Hypopyrrhus pyrohypogaster</i>	<i>Ognorhynchus icterotis</i>	<i>Myioborus ornatus</i>
<i>Metallura williami</i>	<i>Bolborhynchus ferrugineifrons</i>	<i>Hapalopsittaca amazonina</i>	<i>Eriocnemis mosquera</i>
<i>Malacoptila mystacalis</i>	<i>Grallaria milleri</i>	<i>Eriocnemis derbyi</i>	<i>Tangara vitriolina</i>
<i>Helianthus exortis</i>	<i>Grallaria rufocinerea</i>	<i>Chloropipo flavicapilla</i>	
<i>Buteo albicaudatus</i>	<i>Leptotila conoveri</i>	<i>Cacicus uropygialis</i>	

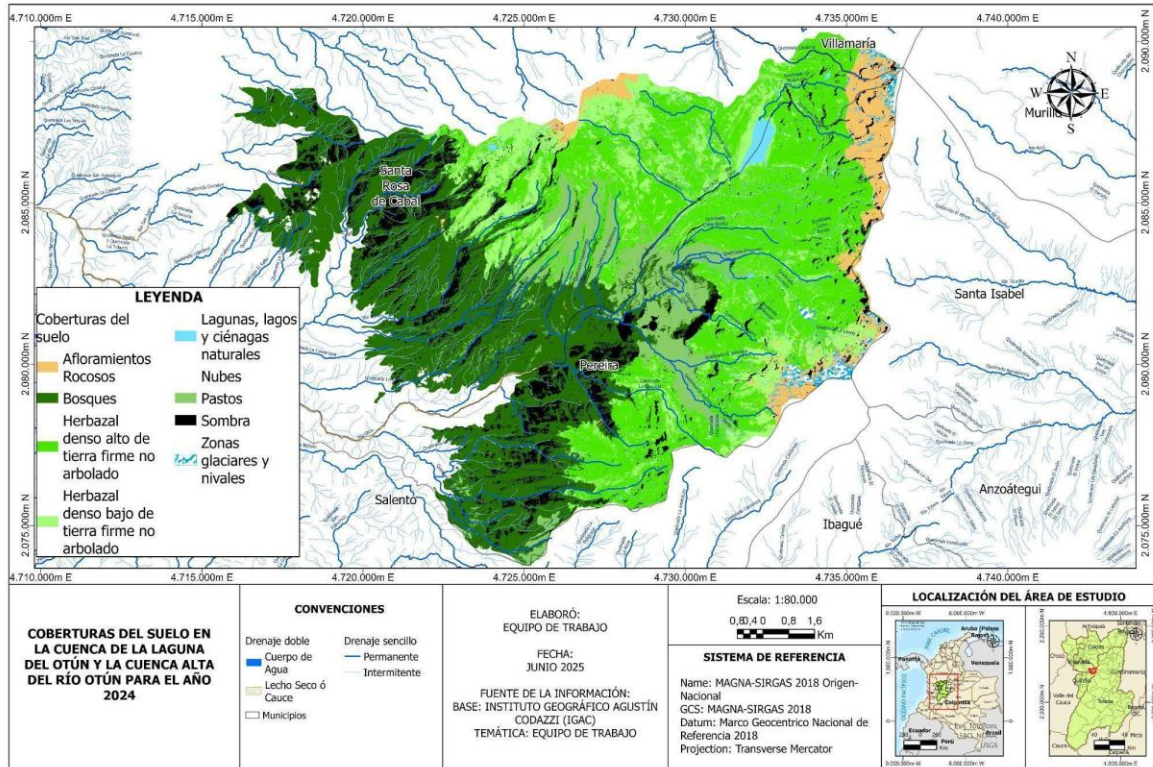
Fuente. Parques Nacionales Naturales De Colombia, 2017.

Existen 8 endemismos de mamíferos, (*Sciurus*) *Microsciurus pucheranii*, *Microsciurus santanderensis*, *Aepeomys fuscatus*, *Akodon affinis*, *Cryptotis colombiana*. Otros 3 del grupo de los roedores presentan alta probabilidad de poder considerarse como endémicos los cuales son *Oryzomys munchiquensis*, *Akodon tolimae* y *Thrinacodus albicauda* (Parques Nacionales Naturales De Colombia, 2017). La zona de estudio al hacer parte del área protegida tiene muchas especies de fauna y flora, que deben ser conservadas.

Debido a que el área de estudio es biodiversa, pero también hay fuerza antrópica y cambios climáticos que alteran las coberturas del suelo, se hizo la clasificación de coberturas para el año 2024. Al igual que la del 2017 presenta 9 unidades de coberturas y se observan en la figura 13.

Figura 13

Mapa de Coberturas del suelo en la cuenca de La Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún para el año 2024



Fuente. Elaboración propia con base en imagen satelital de Planet Scope del año 2024.

De acuerdo con las salidas gráficas generadas, y la información que se extrae de ésta, se identificó como aspecto positivo, que la cobertura de bosques, en el año 2017, del área total se tenía un 28.06%, y en el 2024 se cuenta con 31.44%, por lo que existe un incremento de 3.38% (tabla 4). La abundante área de bosque en el límite occidental del área de estudio debe llevar a formular un planeamiento que preserve los servicios ambientales de esta cobertura, asegurando su conectividad con los sectores aledaños, con el objetivo de generar una conexión interterritorial, tanto del Parque Natural Nacional Los Nevados, como de la cuenca alta del río Otún. Resaltada esta cobertura del suelo, se revisarán las demás generando una comparación temporal.

Tabla 4

Coberturas del suelo para el año 2024

Código	Coberturas del suelo para el año 2024	Área (ha)	Porcentaje (%)
No aplica	Nubes	79,21	0,41%
5.1.2.	Lagunas, lagos y ciénagas Naturales	102,40	0,54%
3.3.5.	Zonas glaciares y nivales	152,48	0,80%
3.3.2	Afloramientos Rocosos	914,34	4,79%
2.3.	Pastos	1422,17	7,44%
No aplica	Sombra	1804,41	9,44%
3.2.1.1.1.1.2.	Herbazal denso bajo de tierra firme no arbolado	2493,89	13,05%
3.1.	Bosques	6007,42	31,44%
3.2.1.1.1.1.1.	Herbazal denso alto de tierra firme no arbolado	6130,79	32,09%
Total general		19107,12	100,00%

Fuente. Elaboración propia.

En la cobertura de Herbazal denso alto, del área generada en el año 2017, pasó de ocupar algo más de una quinta parte del área de estudio (23.57%), a contar con una tercera parte en 2024 con 32.09%, teniendo un incremento de 8.52%, que equivale a más de 1600 hectáreas adicionales.

En opuesto sentido, la cobertura de Herbazal denso bajo, conforme con la información resultante, tuvo una contracción en el sector de estudio, y que en el año 2017 contaba con 24.48% del total del área, y en 2024 se redujo a 13.05%, existiendo una disminución de 11.43%. Esa pérdida de más de dos mil hectáreas, puede indicar que espacios en el cual se encuentra

vegetación en regeneración han sido sometidos a compactación, siendo necesario verificar los motivos por las cuales esto ha ocurrido, ya que identificándose el sector, puede verificarse la existencia de ganadería, agricultura, turismo no regulado, u otra actividad no validada.

En la cobertura de Pastos, los que pueden entenderse como las áreas donde se encuentran las actividades ganaderas, en el año 2017 del área total se tenía un 6.89%, y en 2024 tiene un pequeño incremento de 7.44%, lo que representa más de 100 hectáreas. Si bien puede considerarse que una mayor cobertura en un 0.55% puede ser menor, lo que evidencia es la consistencia en este tipo de prácticas, las cuales deberían tener más control de las autoridades. Se evidencia entonces la necesidad de adoptar estrategias de reconversión silvopastoril, con el objetivo de no generar la fragmentación de la matriz natural del área.

Igualmente es necesario reducir los espacios que han sido utilizados por la ganadería, ya que esta actividad puede generar contaminación de las fuentes hídricas, que es el mayor valor agregado del área de estudio.

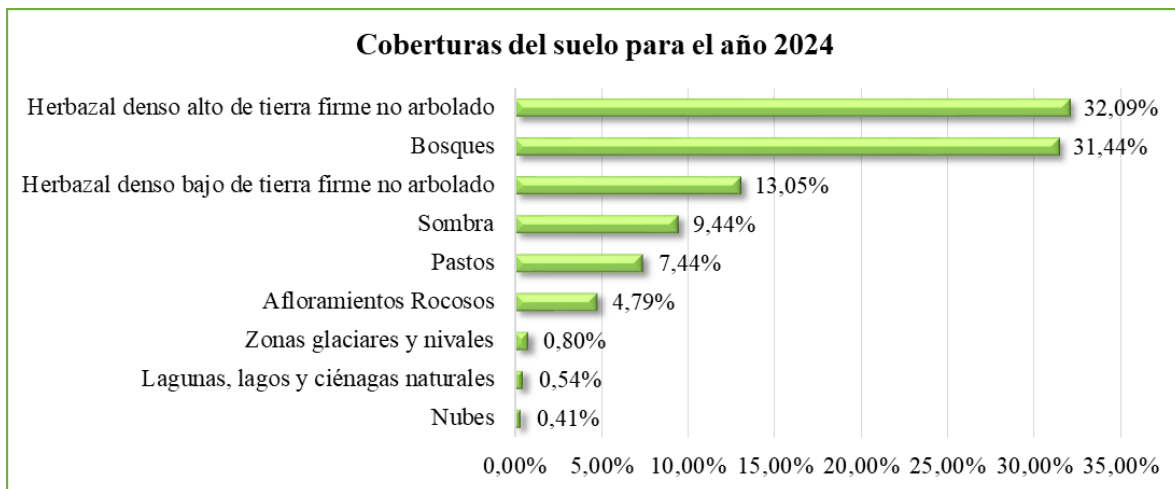
Por último, se presenta una disminución de zonas glaciares, ya que del 1,43% de cobertura en el año 2017, se disminuyó al 0,80% en 2024. Si bien puede parecer una cifra menor, la reducción de 0.63% equivale a más de 100 hectáreas, traduciéndose en la gran mayoría de casos en exposición de los afloramientos rocosos.

En este mismo sentido y con la información obtenida, se ha evidenciado un incremento simultáneo de afloramientos rocosos, pasando del año 2017 de un 2.88%, aumentando al 2024 en 4.79%, representando más de 365 hectáreas (1.91%), Estas áreas rocosas si no se revegetalizan o no recuperan su capa glaciaria, amplifican el efecto de borde sobre los sectores aledaños de importancia estratégica, afectando la recarga hídrica de la cuenca de la laguna y el río Otún.

Por último, se puede identificar que las áreas de lagunas permanecen prácticamente inalteradas, con un leve incremento de 0.02%, lo que presume un valor estadístico no representativo en cuanto a la estadística, debiéndose verificar en otros estudios el incremento de sedimentos finos y cargas de nutrientes, las cuales pueden deteriorarse por las actividades que se ejerzan en el área de influencia de la cuenca. (Figura 14).

Figura 14

Gráfica de coberturas del suelo para el año 2024



Fuente. Elaboración propia.

Las coberturas correspondientes a nubosidad y sombras no resultan representativas para este estudio, ya que responden principalmente a la posición del sensor en el momento de la captura de las imágenes. Por esta razón, pueden ser catalogadas como elementos irrelevantes dentro del análisis, al no aportar información significativa sobre los cambios reales en la cobertura del suelo.

La información obtenida mediante la aplicación de la metodología **CORINE Land Cover** permite interpretar la variación en el uso del suelo durante los años analizados. Entre los

cambios más significativos se destaca la **pérdida de cobertura glaciaria**, con una reducción del **0.63%**, y la disminución de los **herbazales densos bajos**, que registraron una pérdida del **11,43%**. Estos resultados evidencian transformaciones importantes en la dinámica del paisaje, posiblemente asociadas a procesos de cambio climático y presión antrópica sobre el ecosistema.

Los cambios más relevantes corresponden a un **incremento del 3,38% en la cobertura de bosques** y una **ganancia del 8.52% en herbazales densos altos** (ver tabla 5). Estos resultados reflejan dinámicas de transformación positiva en ciertas coberturas vegetales, posiblemente relacionadas con procesos de regeneración natural o prácticas de manejo sostenible del territorio.

Tabla 5

Cambios en las coberturas del suelo entre los años 2017 y 2024

Coberturas del suelo	Área 2017 (ha)	Área 2024 (ha)	Diferencias de áreas (ha) entre los años 2017 y 2024	Cambios
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	99,33	102,40	3,07	Aumentó
Zonas glaciares y nivales	273,69	152,48	-121,21	Disminuyó
Nubes	444,74	79,21	-365,53	Disminuyó
Afloramientos rocosos	549,59	914,34	364,75	Aumentó
Pastos	1316,35	1422,17	105,82	Aumentó
Sombra	1880,37	1804,41	-75,96	Disminuyó
Herbazal denso alto de tierra firme no arbolado	4503,93	6130,79	1626,86	Aumentó
Herbazal denso bajo de tierra firme no arbolado	4676,85	2493,89	-2182,96	Disminuyó
Bosques	5362,26	6007,42	645,15	Aumentó
Total general	19107,12	19107,12		

Fuente. Elaboración propia.

Las salidas gráficas o mapas generados con la metodología Corine Land Cover, necesitan integrar la fase de verificación en campo, lo que limitó la validación directa de los resultados obtenidos. Con la información obtenida y la bibliografía revisada, se procederá a caracterizar las actividades presentes en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún.

6.2 Principales actividades antrópicas presentes en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún, durante el periodo 2017–2024.

Este objetivo tiene como propósito identificar y describir las principales actividades humanas que han influido en el estado ambiental de la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún, en el periodo comprendido entre 2017 y 2024. Para ello, se emplearon fuentes primarias y secundarias, con el fin de elaborar un diagnóstico que sustente la toma de decisiones orientadas a la conservación y el manejo sostenible del territorio.

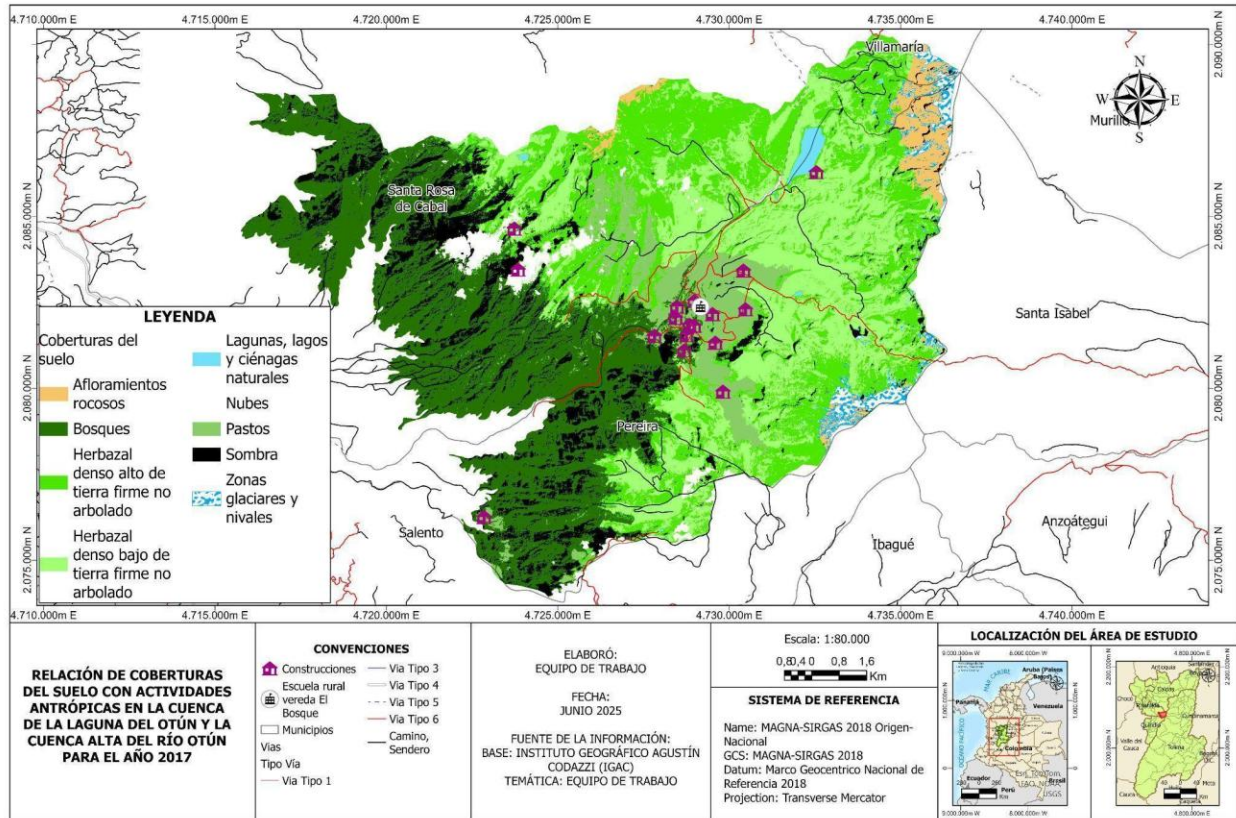
A partir del análisis de imágenes satelitales, se identificaron diversas infraestructuras cuya configuración y ubicación permiten inferir diferentes usos del suelo, como actividades agrícolas, turísticas, educativas y habitacionales. Para el año 2017, se registraron 18 edificaciones en el área de estudio, entre las que se encuentra la Escuela Rural de la vereda El Bosque.

En cuanto a la red vial, se identificaron cuatro tipos de vías con base en la cartografía básica a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2017). El área de estudio cuenta con 1,5 kilómetros correspondientes a vías tipo 4, las cuales se caracterizan por no estar pavimentadas, tener entre dos y cinco metros de ancho, contar con afirmado, uno o dos

carriles, y pocas obras de drenaje (principalmente cunetas). Asimismo, se identificaron 3,6 kilómetros de vías tipo 5, clasificadas como carreteables sin pavimentar, transitables únicamente en tiempo seco y con escasas obras de drenaje. Adicionalmente, se observaron 42,2 kilómetros de vías tipo 6, denominadas trochas, que corresponden a vías naturales sin mejora estructural, empleadas generalmente por vehículos tipo campero. Finalmente, se contabilizaron 69,2 kilómetros de caminos o senderos rurales, los cuales presentan condiciones mínimas de adecuación vial y son utilizados principalmente por peatones y animales. Estas vías son más estrechas que las anteriores y reflejan una infraestructura propia de entornos rurales, como se ilustra en la figura 15 (IGAC, s.f.).

Figura 15

Mapa de Relación de coberturas del suelo con actividades antrópicas en la cuenca de La Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún para el año 2017

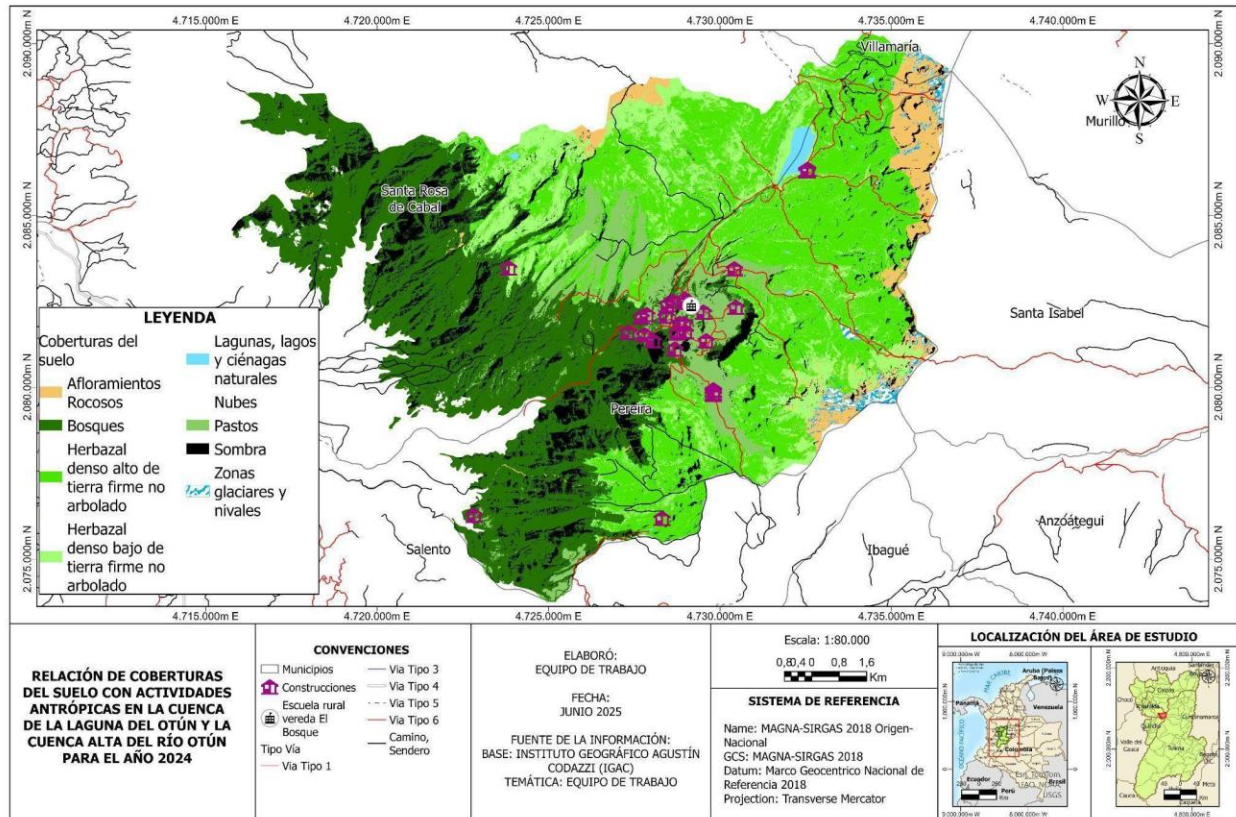


Fuente. Elaboración propia con base en imagen satelital de Planet Scope e IGAC, 2017.

Para el año 2024, se reconocieron 32 infraestructuras entre ellas se encuentra la Escuela rural vereda El Bosque. Asimismo, se identificó una red vial mediante la interpretación de la imagen satelital, y la Base de Datos de cartografía básica a escala 1:25.000 del IGAC año 2017; abarca 0,03 km el tipo vía 4; 4,4 km el tipo de vía 5; 91,2 km el tipo de vía 6 y 64,9 km camino, sendero. Las cuales conectan y articulan las áreas dentro del territorio analizado. Una de ellas atraviesa el Parque de Los Nevados: Escuela El Bosque, Valle del Condor, Laguna Leona, La Línea, Termales Cañón-Juntas (ver figura 16).

Figura 16

Mapa de Relación de coberturas del suelo con actividades antrópicas en la cuenca de La Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún para el año 2024



Fuente. Elaboración propia con base en imagen satelital de Planet Scope e IGAC, 2024.

Con base en los resultados del análisis multitemporal de coberturas y las fuentes secundarias consultadas, se identificaron diversas presiones antrópicas sobre el territorio que han generado impactos significativos en componentes clave del ambiente como el suelo, la biodiversidad, los cuerpos de agua y la conectividad ecológica. Entre las principales actividades humanas que inciden negativamente sobre la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún se encuentran la expansión agrícola, la ganadería extensiva, el desarrollo de infraestructura vial, el turismo recreativo y la deforestación, las cuales se detallan a continuación.

La expansión de la frontera agrícola, motivada por la creciente demanda de productos agropecuarios a nivel regional y nacional, ha sido una de las principales causas de pérdida de cobertura boscosa en la zona. Según el Plan de Acción Cuatrienal 2024-2027 de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), se ha identificado una disminución anual promedio del 2,3 % en la cobertura forestal entre 2017 y 2024, afectando especialmente las zonas bajas y medias de la cuenca. Esta transformación ha implicado la conversión directa de bosque andino a cultivos permanentes, generando fragmentación del hábitat, pérdida de biodiversidad (incluyendo especies endémicas y sensibles), y alteraciones en el ciclo hidrológico que comprometen la regulación hídrica y aumentan la vulnerabilidad ante eventos extremos.

La ganadería extensiva también ha contribuido a la transformación del paisaje, particularmente en la cuenca alta. Esta práctica, caracterizada por una baja densidad animal en amplias superficies de terreno, ha promovido la conversión de bosque a pastizales, generando compactación y erosión del suelo, disminución de su fertilidad, sedimentación en ríos y lagunas, e interrupción de corredores biológicos esenciales para la fauna silvestre, como mamíferos medianos y aves.

Otra presión relevante está relacionada con la infraestructura vial. De acuerdo con la cartografía oficial del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), la cuenca presenta una red de caminos terciarios y senderos que han sido ampliados o intervenidos para facilitar el acceso a zonas rurales y turísticas. Aunque esta infraestructura mejora la conectividad, también ha fragmentado el paisaje, alterado los patrones naturales de escorrentía, incrementado el riesgo de deslizamientos y facilitado el acceso a zonas ambientalmente frágiles, lo que potencia actividades ilegales como la tala o la minería.

El turismo recreativo y el ecoturismo han registrado un crecimiento sostenido en la zona, especialmente en sectores como la Laguna del Otún y Yarumo Blanco. A pesar de que esta actividad puede contribuir al desarrollo local y la concienciación ambiental, también ha generado impactos negativos por el tránsito excesivo de visitantes, que produce erosión de senderos, compactación del suelo y generación de residuos mal gestionados. Asimismo, se ha documentado la perturbación de la fauna silvestre, con alteraciones en sus patrones de comportamiento y uso del hábitat.

Finalmente, la deforestación y la degradación forestal constituyen un fenómeno progresivo documentado tanto por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como por el análisis de imágenes satelitales Sentinel-2. Esta pérdida de cobertura se asocia a la tala (legal e ilegal), incendios forestales y otras prácticas extractivas que, en conjunto, comprometen la estructura ecosistémica del Parque Nacional Natural Los Nevados. Como consecuencia, se ha evidenciado una pérdida de servicios ecosistémicos fundamentales como la regulación climática, la provisión de agua y la conservación de la biodiversidad. Lo anterior evidencia una relación directa entre las actividades humanas desarrolladas en la cuenca y las alteraciones ambientales identificadas durante el periodo de estudio

Tabla 6

Deforestación y degradación forestal

Actividad	Indicador Clave	Valor	Fuente Oficial
Antrópica		Estimado	

Deforestación	Pérdida de cobertura forestal (ha)	1,100 ha	CARDER, Plan de Acción Cuatrienal 2024–2027
Uso agrícola	Área dedicada a cultivos (ha)	3,650 ha	Aguas y Aguas de Pereira, Cartilla POMCA
Infraestructura vial	Longitud de vías construidas o mejoradas (km)	7 km	IGAC, Datos Abiertos Cartografía y Geografía
Ganadería extensiva	Área utilizada para pastizales (ha)	2,600 ha	Aguas y Aguas de Pereira, Cartilla POMCA
Turismo recreativo	Número estimado de visitantes anuales	50,000	Reportaje de El País sobre ecoturismo en Yarumo Blanco

Fuente. Elaboración propia con base en Aguas y Aguas de Pereira (2023), Cartilla POMCA; IGAC (2023), Datos abiertos de cartografía y geografía; El País (2023), reportaje sobre ecoturismo en Yarumo Blanco; y CARDER (2024), Plan de Acción Cuatrienal 2024–2027.

El análisis realizado sobre las actividades antrópicas en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún durante el periodo 2017–2024 evidencia que estas han generado impactos ambientales significativos que afectan la integridad ecológica y funcionalidad hídrica de la región.

En primer lugar, la expansión agrícola representa una de las principales causas de pérdida de cobertura forestal, con una tasa anual cercana al 2.3% según reportes oficiales de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER). Esta transformación del territorio

implica la fragmentación del hábitat natural, con consecuencias negativas sobre la biodiversidad y los procesos hidrológicos locales. Resulta evidente la necesidad de fomentar prácticas agrícolas sostenibles y establecer límites claros para la expansión de cultivos en zonas críticas.

Por otro lado, la ganadería extensiva ha contribuido de manera considerable a la degradación del suelo y la fragmentación ecológica. La conversión de bosques en pastizales compromete la conectividad de los ecosistemas y facilita procesos erosivos que impactan directamente la calidad del agua y la salud de los sistemas acuáticos, como lo destaca el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca (POMCA) de Aguas y Aguas de Pereira.

Asimismo, la construcción y mejora de infraestructura vial, aunque limitada en extensión, ha provocado una fragmentación importante y alterado procesos naturales como la escorrentía y la estabilidad del suelo. Este aspecto resalta la importancia de incorporar criterios ambientales rigurosos en la planificación vial para minimizar los impactos sobre los corredores biológicos y las cuencas hidrográficas.

El crecimiento del turismo recreativo y ecoturismo en áreas protegidas, como Yarumo Blanco y la Laguna del Otún, ha generado beneficios económicos para las comunidades locales; sin embargo, también ha incrementado la presión sobre los ecosistemas sensibles. Los impactos observados, tales como la erosión de senderos y la generación de residuos, requieren una gestión responsable y programas de educación ambiental que permitan equilibrar el desarrollo turístico con la conservación.

Finalmente, la deforestación y degradación forestal continúan siendo problemas persistentes, particularmente en áreas protegidas. La reducción progresiva de la masa forestal afecta la provisión de servicios ecosistémicos esenciales, incluida la regulación hídrica y la

conservación de la biodiversidad. Por lo tanto, es fundamental fortalecer las estrategias de restauración ecológica y conservación participativa para garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

En conclusión, las evidencias recopiladas y analizadas reflejan la necesidad de implementar políticas integrales de gestión ambiental que armonicen el desarrollo socioeconómico con la protección y restauración del patrimonio natural en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún. Este diagnóstico fundamenta la importancia de diseñar e implementar acciones estratégicas orientadas a la conservación y manejo sostenible de esta región vital para el país.

6.3 Impactos ambientales asociados a las actividades antrópicas presentes en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún

La cuenca alta del Río Otún constituye un ecosistema de importancia mayor por encontrarse en el Parque Natural Nacional Los Nevados, caracterizado por contar con riqueza en biodiversidad, en especial por su fuente hídrica para las comunidades de las ciudades más importantes de Risaralda. Sin embargo, como se ha descrito, este ecosistema enfrenta diferentes presiones por la expansión de actividades humanas, las cuales han llevado a la pérdida de cobertura vegetal y expansión de actividades humanas, que se representarán a continuación.

Turismo

Parques Nacionales Naturales celebró el contrato de concesión 001 de 2019 con la Unión Temporal Operación Nevados, cuyo objeto es la prestación de los servicios ecoturísticos para operar la infraestructura física existente, explotar y prestar, por su cuenta y riesgo, los servicios ecoturísticos en el parque nacional natural los nevados (SECOP II). Dentro de las zonas en las

cuales se prestará este servicio, se encuentra la Laguna del Otún. Este contrato se celebró por quince (15) años, es decir que actualmente la operación de estas zonas referente a los servicios ecoturísticos está tercerizada.

Como factor de riesgo se identifica el turismo no permitido en el Plan de Ordenamiento Ecoturístico, ya que se ocupan senderos no permitidos para visitantes, quienes por desconocimiento o desinterés ingresan por zonas con ausencia de punto de control (Parque Nacional Natural Los Nevados, 2017), generando impactos ambientales que pueden afectar a futuro las condiciones ecosistémicas. El análisis de estas áreas críticas de transformación ambiental permitirá establecer medidas preventivas para mitigar la presión.

Se entiende que la concesión celebrada cuenta con un fin de que recaiga en un privado la prestación del servicio, para que al tener que generar un cobro se desincentive que esta actividad se realice de manera no regulada. Ahora, que la delegación se deje a un privado puede conllevar riesgos de corrupción o falta de control efectivo, especialmente cuando no existe un sentido de pertenencia, sino simplemente la obligación de cumplir un contrato. Esta situación podría facilitar la expansión de actividades turísticas irregulares en sitios no autorizados o con mayor importancia ecosistémica.

Como actividades que generan impactos sobre el parque están los incendios, los cuales aproximadamente el 99% tienen origen antrópico, de los cuales un 95% tienen su origen en las actividades agropecuarias en los páramos, humedales y bosque altoandinos, específicamente en la Laguna del Otún. Estos incendios contribuyen a la degradación del ecosistema, afectando la biodiversidad y la dinámica hidrológica de la cuenca.

Actividades agrícolas y ganaderas

Lo anterior llevó a la delimitación de zonas críticas con mayor pérdida vegetal y fragmentación, principalmente en las áreas de expansión agrícola y ganadera, haciendo necesario analizar las áreas críticas de transformación ambiental, debido a la expansión de actividades humanas, con el fin de determinar los impactos ambientales asociados y proponer medidas para su mitigación.

El análisis de riesgo sobre este ecosistema se evalúa desde la valoración de las presiones y amenazas intensas que llevan desde una afectación mínima hasta la destrucción total del recurso, entre las que se encuentran las actividades agropecuarias. Históricamente se ha evidenciado presencia de ganadería en la parte alta de las cuencas de los ríos del Parque Natural, entre ellos el Río Otún. También se encuentra que el departamento donde la agricultura ha presentado mayor intensidad es en Risaralda, en especial la vereda El Bosque, por donde transcurre el Río Otún, generando impactos por actividades humanas. (Parque Nacional Natural Los Nevados, 2017)

Como se ha identificado que la cuenca del río Otún en su parte alta tiene una presión muy fuerte por la ganadería e incendios relacionados con la ocupación de predios en las veredas el Bosque y Cortaderal, se genera vulnerabilidad para la totalidad del ecosistema, ya que, pese a que ha disminuido la población en la zona, al interior del parque se siguen presentando estas presiones (CARDER, 2019). Estos procesos de ocupación y uso inadecuado del suelo afectan directamente la estabilidad del sistema hidrológico de la laguna y la cuenca alta del Río Otún.

Esta presión antropogénica ha ocasionado la fragmentación del hábitat, evidenciándose la correlación espacial entre los corredores viales y puntos de mayor alteración ambiental, identificando áreas prioritarias para intervención, identificadas como zonas críticas, las cuales

requieren ser analizadas para determinar la magnitud de los impactos, buscando garantizar la conservación de los servicios ecosistémicos.

Afectaciones generadas

El escenario de riesgo generado para la cuenca alta del Río Otún es crítico, ya que se presentan presiones por ganadería e incendios generados por la ocupación en la vereda El Bosque. Este escenario se evidencia por la potrerización de diferentes zonas, encontrándose disminución y pérdida de espejos de agua y la pérdida de hábitat para especies de fauna (Parque Nacional Natural Los Nevados, 2017). Se observa una afectación directa en la conectividad ecológica, comprometiendo la conservación de la biodiversidad y la regulación hídrica.

El análisis temporal mostró una tendencia creciente de degradación en los últimos periodos, vinculado con la presión turística y actividades productivas, las cuales se ha demostrado que han incrementado la fragmentación y alteración de los paisajes naturales, dificultando los procesos de regeneración natural, aumentando el riesgo de erosión y praderización (Avellaneda-Torres et al, 2014).

Como impactos sociales asociados, se encuentra que las presiones identificadas en el Plan de Manejo 2017-2022 del Parque Nacional Natural Los Nevados plantean un escenario preocupante para las comunidades locales, ya que, de persistir el escenario de riesgo, se evidenciaría la disminución del recurso hídrico para las poblaciones que dependen del Río Otún como su fuente hídrica para consumo; conllevando a mayores costos por tratamiento o búsqueda de otras fuentes de aprovisionamiento, por lo que es necesaria la permanencia de la presencia institucional en estos sectores, para evitar el aumento de la ocupación de los predios en la parte alta de la cuenca.

Importancia de la conectividad ecológica

Incorporar las medidas preventivas frente a las presiones generadas por el aumento del consumo del agua del Río Otún, así como la expansión de la ganadería, agricultura y actividades turísticas no reguladas es clave para la protección de los ecosistemas estratégicos de la Laguna del Otún y la Cuenca Alta del Río Otún. La Laguna del Otún y los bosques altoandinos de manera asociada y conectados, cumplen un papel de conector ecológico que lleva a la amortiguación natural en las áreas críticas de recarga hídrica, así como la regulación de flujos hídricos y preservación de hábitats esenciales para la conservación de la biodiversidad y sostenibilidad ambiental, ambas actividades tienen conexión y servirán de provisión para las generaciones presentes y futuras de las poblaciones aguas abajo.

Es indispensable que en los instrumentos de ordenamiento territorial y restauración ambiental se ejecuten, en especial en las áreas que se identifiquen como de importancia por la recarga hídrica y de corredores ecológicos que garanticen la conectividad del ecosistema para garantizar la sostenibilidad de las poblaciones aguas abajo, generando beneficios ambientales, sociales y económicos que promueven el equilibrio entre el aprovechamiento de los recursos naturales y su conservación a mediano y largo plazo.

Respecto a la amenaza por incendios, los reportes que se encuentran tienen origen en el factor antrópico y, dadas las condiciones de pluviosidad y humedad presentes, no es un factor detonante de dichos eventos. La situación cambia cuando ocurre el fenómeno de El Niño, ya que el incremento en las temperaturas tiene efecto en el grado de amenazas de incendios, como se evidencia en el mapa de amenazas de incendios forestales. (POMCA 2019) De acuerdo con los reportes oficiales, es evidente que durante los periodos críticos se incrementa la vulnerabilidad de

la cuenca del Humedal y el Río Otún, y se potencializan las condiciones de riesgo para la cobertura vegetal, la fauna y las fuentes hídricas.

Se generaron reportes y mapas temáticos para apoyar la planificación ambiental y estrategias de restauración en la región, que servirán de insumo clave para identificar áreas prioritarias de intervención y para orientar acciones de restauración y rehabilitación de hábitat, ya que al categorizarse como bosque altoandino ubicado alrededor del humedal o del río cuentan con una importancia estratégica.

Análisis de los impactos ambientales

Para garantizar la recuperación de la cobertura vegetal y reducir la vulnerabilidad frente a los impactos de las actividades antrópicas, así como los efectos del cambio climático, es importante identificar las áreas más vulnerables mediante la generación de mapas donde se evidencian las diferentes temáticas, en especial por los efectos del cambio climático, tales como sequías prolongadas, precipitaciones constantes (fenómeno de La Niña), y lo que ocurriría si se presenta una constante incremento de incendios forestales.

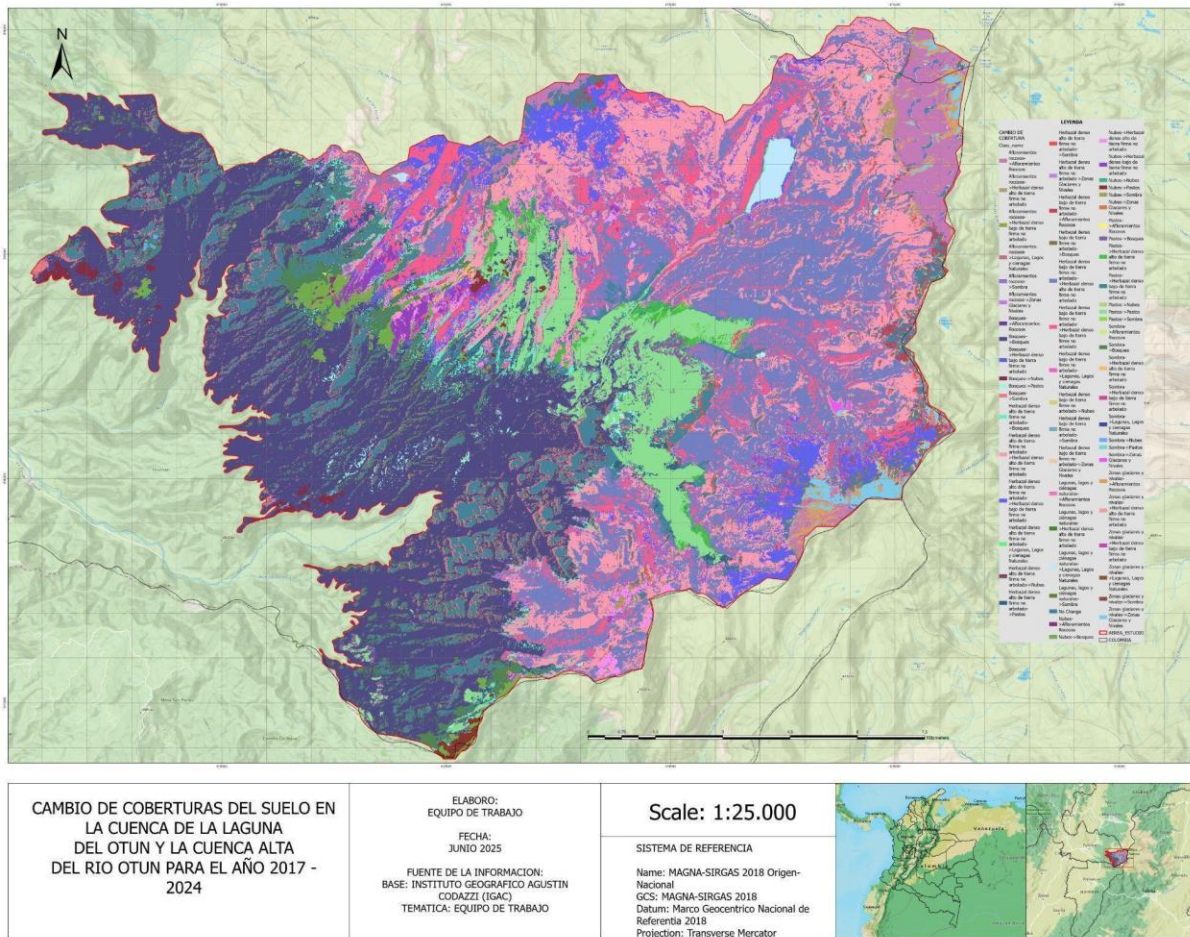
Estos mapas no solo deben detallar la ubicación y extensión de las zonas que pueden resultar afectadas, sino que también deben evidenciar si estas son generadas por actividades humanas, o si por el contrario son generadas por efectos de variabilidad climática que impacte tanto el Parque Natural Nacional, como la región. La información resultante de estos análisis multitemporales se convierte en una herramienta clave para la planificación ambiental y territorial, puesto que facilita el conocimiento de las áreas más críticas, apoyando a la preparación de diferentes políticas públicas que tengan mayor eficacia.

Los insumos que se generen a través de estrategias de conservación permitirán fortalecer la estructura ecológica principal en la cuenca alta del río Otún (CARDER 2019), esto posibilita la toma de decisiones basadas en evidencia y diferentes formas de implementar condiciones de restauración que responda a los nuevos desafíos impuestos por el cambio climático. Igualmente, la intención es general la difusión entre comunidades locales y autoridades que tengan injerencia en la cuenca estudiada, fomentando la apropiación del conocimiento con experiencias de intervención social comunitaria, las cuales, generando procesos de participación ciudadana, se podrán retroalimentar y mejorar para ayudar a la conservación y restauración de este ecosistema.

A continuación se presenta un mapa que muestra los cambios en la cobertura del suelo ocurridos entre los años 2017 y 2024 (figura 17), resultado del análisis multitemporal realizado mediante herramientas SIG. Esta representación espacial permite identificar las áreas con mayor transformación ambiental, evidenciando la pérdida de cobertura vegetal natural y la expansión de actividades humanas en sectores estratégicos del ecosistema.

Figura 17

Mapa de cambios de coberturas del suelo en la cuenca de La Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún para el periodo 2017-2024



Fuente. Elaboración propia

El análisis multitemporal de coberturas del suelo realizado para el periodo 2017–2024, a partir del procesamiento de imágenes satelitales y la generación de mapas temáticos en plataformas SIG, permitió identificar espacialmente los principales focos de transformación ambiental dentro de la cuenca de la Laguna del Otún y su zona de influencia. Los resultados obtenidos evidencian una tendencia clara hacia la modificación del paisaje, donde las coberturas naturales, como el bosque altoandino y los herbazales propios de ecosistemas de páramo, han sido progresivamente reemplazadas por coberturas asociadas a usos productivos, vegetación secundaria y pastos cultivados.

Uno de los hallazgos más relevantes fue la transición de áreas clasificadas inicialmente como “sombra” —zonas que no habían podido ser caracterizadas en análisis anteriores por obstrucción de nubes o condiciones topográficas— hacia nuevas coberturas, principalmente herbazales densos no arbolados, que representaron aproximadamente el 73 % del área transformada. A esto se suman otras transiciones importantes, como el paso a bosques (12 %) y a zonas glaciares o nivales (4 %), lo que evidencia procesos complejos de intervención, recuperación o reclasificación vegetal.

Estos cambios, al ser visualizados en un mapa, permiten identificar con mayor precisión los sectores de la cuenca donde se concentran los impactos más intensos, muchos de ellos coincidiendo con las zonas de presión por actividades agropecuarias o turísticas no reguladas. De igual forma, se logra establecer la correlación espacial entre los corredores viales existentes y los puntos de mayor alteración ambiental, lo que facilita la priorización de áreas críticas para intervención ambiental.

La herramienta cartográfica, además de aportar una lectura visual de la transformación del territorio, se convierte en un insumo clave para orientar las decisiones de gestión ambiental, ya que permite sustentar de manera objetiva los procesos de restauración, protección y manejo sostenible del ecosistema. El uso de mapas temáticos no solo permite delimitar las zonas más afectadas, sino que también fortalece la toma de decisiones en escenarios de riesgo frente al cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la disminución de los servicios ecosistémicos.

Tabla 7

Matriz de impacto ambiental

Proceso	Actividad específica	Impacto ambiental	Categoría	Aspecto ambiental alterado	Evaluación de los impactos ambientales							Valoración	Valoración	Medida de manejo	Indicador
					Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Reversibilidad	Importancia	Valoración				
Turismo	Tránsito por senderos no autorizados	Fragmentación de herbazales y bosques	Medio socioeconómico	Fragmentación de la cobertura vegetal	1	5	1	1	1	1	10	No significativo	Se recomienda delimitar, señalar y promover el uso exclusivo de senderos autorizados, acompañando esta acción con procesos de educación ambiental dirigidos a visitantes, así como establecer mecanismos de monitoreo participativo	Porcentaje de senderos debidamente señalizados y delimitados respecto al total de rutas identificadas en la zona.	

													con apoyo comunitario o de guardabosques.	
	Incremento desproporcionado de turistas	Erosión de suelos	Degradación de suelo y uso de servicios básicos	Cambio en la distribución de la cobertura vegetal	1	1	1	1	1	1	6	No significativo	Es necesario implementar un plan de manejo de visitantes que contemple la capacidad de carga turística del área, incluyendo la regulación del ingreso diario, el mejoramiento de infraestructura de bajo impacto y el desarrollo de campañas de sensibilización sobre la conservación del ecosistema.	Número promedio de visitantes por día en temporada alta comparado con la capacidad de carga del área.

Ganadería	Pastoreo extensivo o sobrepastoreo	Conversión de herbazales a pastizales	Medio socioeconómico y degradación de suelos	Cambio en la extensión (área) de la cobertura vegetal	5	5	5	1	5	5	26	No significativo	Se deben definir zonas permitidas para el pastoreo con base en criterios ecológicos, implementar la rotación de potreros para evitar el sobrepastoreo y fomentar la recuperación de los herbazales mediante prácticas de restauración ecológica con especies nativas y el uso de cercas vivas.	Se puede medir el avance de esta medida a través del porcentaje de áreas de pastoreo donde se han implementado prácticas de rotación y restauración ecológica, como el uso de especies nativas y cercas vivas. Este dato permite evaluar si se está promoviendo un uso más sostenible del suelo.
-----------	------------------------------------	---------------------------------------	--	---	---	---	---	---	---	---	----	------------------	--	--

		Incremento de terraceo, incremento de susceptibilidad de procesos erosivos fuertes o denudacionales.	Medio socioeconómico	Disminución y cambio en la biomasa vegetal	5	5	5	5	10	5	35	Significativo	Es prioritario fomentar el manejo silvopastoril que combine árboles, pasturas y ganado, restringir el pastoreo en zonas con pendientes pronunciadas y capacitar a los productores sobre prácticas sostenibles de manejo del suelo que reduzcan la susceptibilidad a procesos erosivos.	Un indicador útil es el número de productores que han sido capacitados en manejo silvopastoril y prácticas sostenibles. Este dato refleja el grado de apropiación comunitaria y la transferencia de conocimientos para prevenir la degradación del suelo.
--	--	--	----------------------	--	---	---	---	---	----	---	----	---------------	--	---

Infraestructura	Apertura de vías terciarias improvisadas	Aumento de efecto de borde	Medio biótico	Incremento o disminución del efecto de borde							0		Se debe proceder con el cierre de vías no autorizadas y promover su restauración ecológica, así como establecer procedimientos técnicos para la evaluación previa de impactos antes de cualquier nueva apertura, priorizando el diseño de vías que reduzcan los efectos de borde.	Se recomienda utilizar como indicador el número de kilómetros de vías cerradas o restauradas bajo criterios ecológicos. Esto permite hacer seguimiento a las acciones de mitigación frente a la fragmentación y el efecto de borde.
-----------------	--	----------------------------	---------------	--	--	--	--	--	--	--	---	--	---	---

		Fragmentación del paisaje	Medio biótico y uso del suelo	Fragmentación de la cobertura vegetal	5	5	5	5	10	5	35	Significativo	Se requiere planificar la infraestructura de forma que se preserve la conectividad ecológica del territorio, diseñando corredores biológicos y aplicando criterios de ordenamiento territorial que minimicen la fragmentación de hábitats y el aislamiento de especies.	Para esta medida, un indicador claro es el número de corredores biológicos diseñados, conservados o fortalecidos como parte de la planificación territorial. Este valor muestra el compromiso con la conectividad ecológica y la reducción del aislamiento de especies.
--	--	---------------------------	-------------------------------	---------------------------------------	---	---	---	---	----	---	----	---------------	---	---

Deforestación	Tala selectiva	Pérdida de bosques	Medio biótico	Cambio en la distribución de la cobertura vegetal, ampliación de fronteras ganaderas y agrícolas	5	5	5	5	10	5	35	Significativo	Es fundamental prohibir o regular estrictamente la tala selectiva mediante la aplicación de normativas ambientales, exigir procesos de compensación por pérdida de cobertura forestal y promover la reforestación con especies nativas	Para hacer seguimiento o a la regulación de la tala selectiva y la compensación ambiental, se puede utilizar como indicador el número de hectáreas reforestadas o restauradas mediante compensaciones por pérdida de cobertura boscosa.
---------------	----------------	--------------------	---------------	--	---	---	---	---	----	---	----	---------------	--	---

	Incendios forestales	Pérdida de cobertura por incendios	Medio biótico/Medio físico	Cambio en la extensión (área) de la cobertura vegetal	1	5	5	5	10	5	31	Significativo	Deben implementarse programas de capacitación comunitaria en prevención y control de incendios forestales, establecer sistemas alerta temprana, restringir prácticas de quema agrícola	Un indicador útil es el número de comunidades y es capacitadas en prevención de incendios forestales y control comunitario, así como la cantidad de sistemas de alerta temprana implementados en zonas de riesgo.
--	----------------------	------------------------------------	----------------------------	---	---	---	---	---	----	---	----	---------------	--	---

Agricultura	Labranza en áreas protegidas	Reducción de herbazal alto	Medio biótico	Incremento o disminución de la cobertura vegetal, ampliación de la frontera agrícola	5	5	5	1	5	1	22	No significativo	Es indispensable prohibir actividades agrícolas dentro de áreas protegidas, promover prácticas agroecológicas compatibles con la conservación, y recuperar suelos degradados mediante técnicas como barreras vivas, reforestación participativa y restauración de coberturas naturales.	Se recomienda usar como indicador el número de hectáreas dentro de áreas protegidas donde se han implementado prácticas agroecológicas compatibles con la conservación y procesos de restauración de suelos degradados.
-------------	------------------------------	----------------------------	---------------	--	---	---	---	---	---	---	----	------------------	---	---

		Fragmentación del hábitat	Medio biótico	Fragmentación de ecosistemas estratégicos	5	5	5	10	5	5	35	Significativo	Se recomienda planear el uso del suelo de manera que se combinen zonas de cultivo con áreas de vegetación natural, conservando espacios verdes que permitan el paso de animales y la conexión entre los diferentes ecosistemas.	Un buen indicador es el número de hectáreas donde se han implementado barreras vegetativas o franjas de amortiguación entre cultivos y ecosistemas naturales, para facilitar la conectividad y evitar el aislamiento biológico.
Cultivos temporales	Remoción de vegetación natural	Medio biótico/Medio físico	Incremento o disminución de la cobertura vegetal, ampliación de la	5	5	5	10	5	5	35	Significativo	Es necesario revisar y ajustar el uso del suelo para evitar cultivos en zonas de alta sensibilidad ecológica, establecer	Para esta medida, el indicador más adecuado es el porcentaje de áreas agrícolas	

La matriz ambiental elaborada permitió identificar una serie de actividades antrópicas que, aunque algunas no presentan impactos significativos en el corto plazo, evidencian un potencial creciente de transformación del paisaje y deterioro ambiental en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún. Entre los impactos más relevantes se encuentran la conversión de herbazales a pastizales, la fragmentación del paisaje, la tala selectiva, los incendios forestales y el establecimiento de cultivos temporales, todos ellos clasificados con una valoración significativa dentro del análisis realizado. Esto confirma que las presiones sobre el territorio no sólo se mantienen constantes, sino que tienden a intensificarse con el tiempo.

Algunos procesos, como el tránsito por senderos no autorizados o el incremento eventual del turismo, fueron calificados como de bajo impacto, en parte debido a que la infraestructura no ha mostrado cambios sustanciales en el periodo analizado. Sin embargo, la simple permanencia o el uso reiterado de estos caminos podría representar una amenaza a mediano plazo si no se cuenta con regulación clara y medidas de prevención adecuadas.

El uso agrícola y ganadero es, sin duda, uno de los factores más influyentes en la transformación del área de estudio. A partir de la valoración de impactos, se observa que estas actividades afectan no solo el medio biótico mediante la fragmentación y pérdida de coberturas vegetales, sino también el medio físico y socioeconómico, al incidir sobre los suelos, cuerpos de agua y el acceso a servicios básicos. Este resultado guarda coherencia con las observaciones hechas en los análisis multitemporales mediante SIG y percepción remota, donde se ha detectado un cambio paulatino en la distribución de coberturas naturales, asociado directamente al avance de la frontera agropecuaria.

Un aspecto crítico identificado en la matriz es la presencia de efectos acumulativos, como el aumento del efecto de borde y la fragmentación del hábitat. Aunque individualmente algunas actividades no superan el umbral de significancia, su combinación en el tiempo y el espacio puede intensificar los impactos, disminuyendo la resiliencia de los ecosistemas presentes. Esta condición es especialmente preocupante dado el carácter estratégico de esta cuenca como reguladora del recurso hídrico para áreas rurales y urbanas.

En cuanto a las medidas de manejo, se proponen acciones enfocadas en la planificación del uso del suelo, restauración ecológica, delimitación y regulación de actividades, así como educación ambiental dirigida tanto a comunidades locales como a visitantes. Los indicadores definidos para cada actividad permiten dar seguimiento cuantitativo a las intervenciones, fortaleciendo el monitoreo y facilitando la toma de decisiones.

En conjunto, la discusión derivada de esta matriz refuerza la necesidad de adoptar un enfoque preventivo y territorialmente diferenciado en la gestión ambiental de la cuenca. La integración de datos espaciales y ambientales, sumada a la participación comunitaria, emerge como una estrategia clave para evitar que estos impactos avancen hacia estados irreversibles. Así, el uso de herramientas SIG y percepción remota, combinado con metodologías cualitativas como las matrices de impacto, aporta una base sólida para proponer políticas y acciones de conservación con sustento técnico y social.

6.4. Estrategias de mitigación orientadas a la recuperación de áreas críticas de transformación ambiental en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún, con base en los resultados del análisis multitemporal y la caracterización de actividades antrópicas

El análisis multitemporal de las coberturas del suelo, sumado a la caracterización de actividades antrópicas presentes en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún, revela una transformación significativa de los ecosistemas altoandinos entre los años 2017 y 2024. Estos cambios, asociados principalmente a la expansión agrícola, la ganadería extensiva, el turismo no regulado y la ampliación de infraestructura vial, han generado presiones ambientales considerables, incluso de forma simultánea, cuyas consecuencias requieren ser mitigadas de manera prioritaria a través de estrategias integrales, sostenibles y territorialmente pertinentes.

En el frente turístico, se observa cómo los esfuerzos de la gestión ecológica se deben articular alrededor de la noción de capacidad de carga. Cuando los flujos de visitantes se mantienen dentro de los límites compatibles con la fragilidad de los suelos y la vegetación, la erosión disminuye y la dinámica del paisaje se recupera. Es necesario entonces delimitar las zonas de uso turístico, con base la identificación de las zonas que progresivamente han cambiado su cobertura vegetal, y así definir con claridad los límites admisibles de visitantes por sendero o sector.

Debe tenerse en cuenta que una de las limitaciones de Parques Nacionales es la falta de personal que se encuentre en todos los puntos donde puedan tener ingresos turistas a la zona de la cuenca de la laguna del Otún, lo que lleva a contar con diferentes puntos de ingreso al área protegida. La prevención no debe solo centrarse en los puntos de acceso a la zona de la laguna,

sino que es necesario que en las veredas y corregimientos exista personal que evidencie la fragilidad del sector, y la necesidad de acceder por las zonas autorizadas por la autoridad ambiental.

El turismo, al representar una de las principales presiones identificadas en la cuenca, tanto por su intensidad como por su carácter informal en algunos sectores, requiere de iniciativas que pueden parecer más drásticas, pero que ayudarán a implementar un modelo de gestión ecoturística sostenible (Buckley, 2012; Caviedes & Olaya, 2017), como es la instalación de nuevos puntos de control y monitoreo permanente, en coordinación con Parques Nacionales Naturales y la Unión Temporal Operación Nevados, para supervisar el ingreso de visitantes, garantizar la seguridad y prevenir el uso de rutas no autorizadas.

También se debe revisar la restauración ecológica como herramienta para recomponer la cobertura vegetal perdida, teniendo como eje central los servicios ecosistémicos que prestan los herbazales y los bosques andinos en este sector. El restablecimiento de especies nativas, junto con el aislamiento temporal de áreas frágiles, serían medidas apropiadas que no solo buscan reducir las afectaciones actuales, sino también establecer mecanismos preventivos que eviten su intensificación futura, permitiendo avanzar hacia una gestión ambiental más equilibrada, articulada y coherente con los objetivos de conservación del Parque Nacional Natural Los Nevados (MinAmbiente, 2018).

La ganadería extensiva y la agricultura de ladera son actividades con incidencia directa sobre la fragmentación del hábitat y la calidad del agua. Se conoce que las actividades señaladas forman parte del sustento económico de algunas familias rurales, sin embargo, es necesario

orientarlas hacia esquemas productivos compatibles con la conservación y los servicios ecosistémicos que presta la cuenca alta del río Otún y la Laguna del Otún.

Las evaluaciones realizadas en veredas como El Bosque y Cortaderal muestran que los acuerdos voluntarios de conservación, acompañados de incentivos y asistencia técnica, abren la posibilidad de un uso del suelo que mantiene la conectividad ecológica y mejora la calidad del agua, siendo posible la productividad a través de la introducción de sistemas agroecológicos y arreglos silvopastoriles (UPRA, 2022) que generen la conservación de corredores arbóreos. Bajo esta lógica, debe generarse una zonificación que tenga en cuenta a las comunidades a través de procesos participativos, ya que es importante que las comunidades comprendan cuales son los usos del suelo que son permitidos en este sector, y cómo debe definirse la carga de la actividad silvopastoril que se permitirá.

Esta reconversión de práctica agropecuaria debe implementarse, en primer lugar, como una herramienta social que haga visibles los acuerdos sobre las zonas de explotación y su capacidad, y segundo, utilizar éste como un instrumento cartográfico que permita entender a todos los interesados cuales son las decisiones administrativas que se deben tomar para preservar los procesos de regeneración natural (Infante et al, 2021).

Las vías no pavimentadas, trochas y caminos informales han generado fragmentación de ecosistemas y aumento del acceso a zonas vulnerables, siendo evidente que, en este sector, las vías carecen de función socioeconómica clara y afectan hábitats prioritarios (Silva et al, 2022), y su existencia se presenta a manera de explotación económica de actividades agrícolas o ganaderas. Se debe verificar mediante un inventario, cuales vías son las verdaderamente necesarias para cumplir con la función social del Parque Nacional, priorizando la recuperación

del suelo, y quedando habilitados únicamente los corredores que resulten indispensables para la movilidad rural.

Es necesario también identificar los pasos de fauna que mitigan la fragmentación ecosistémica del lugar, y si es posible realizar obras para la conexión natural de estos corredores. La literatura evidencia que cuando la planificación vial incorpora criterios de pendiente, cobertura boscosa y proximidad a nacimientos de agua, la infraestructura deja de ser una amenaza y pasa a convertirse en un componente neutral o incluso favorecedor de la conectividad, siempre que su mantenimiento se haga con rigor y responsabilidad (Forman & Alexander, 1998). Por su parte, la gestión ambiental de la red vial adopta un enfoque de ecología del paisaje que parte de la identificación y categorización de cada tramo, definiendo acciones diferenciadas de acuerdo con los criterios ambientales de cada sector, y evitando intervenciones en hábitats prioritarios por su importancia ambiental estratégica (MinAmbiente, 2022).

La implementación de las estrategias anteriores teje una narrativa de corresponsabilidad que trasciende a la prohibición total, buscando acuerdos donde lo primordial sea la protección ambiental del suelo por su importancia ecosistémica. Las comunidades locales, las autoridades ambientales, los operadores turísticos y las instituciones educativas deben acercarse a espacios de diálogo donde la fragilidad del ecosistema, la valoración de los servicios que presta y la búsqueda de alternativas productivas sostenibles configuren la base de una nueva relación de la sociedad con la naturaleza.

Es primordial que la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún se proyecten como laboratorio de gestión ambiental participativa, en consonancia con los lineamientos del Parque Nacional Natural Los Nevados y las directrices de ordenación vigentes.

Estas estrategias, fundamentadas en el diagnóstico territorial y el análisis multitemporal realizado, constituyen una hoja de ruta viable para avanzar hacia una gestión ambiental sostenible de la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún, en consonancia con los objetivos de conservación del Parque Nacional Natural Los Nevados y las directrices de los planes de ordenación vigentes.

7 Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten establecer una relación clara con lo expuesto en los antecedentes. La pérdida de cobertura boscosa en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún entre 2017 y 2024 confirma una tendencia que ya había sido advertida por la CARDER y el Ministerio de Ambiente. Sin embargo, el análisis espacial realizado en este estudio permite visualizar con mayor detalle las zonas más afectadas, especialmente en las partes bajas y medias de la cuenca, donde la transformación del uso del suelo ha sido más evidente.

El avance de la frontera agrícola y el aumento de la ganadería extensiva coinciden con lo planteado en documentos técnicos previos, donde se advertía sobre sus efectos negativos en la calidad del suelo y la pérdida de conectividad ecológica. En este estudio, los datos espaciales muestran cómo estas actividades han reemplazado áreas boscosas por cultivos y pastizales, lo cual ha generado fragmentación del paisaje y ha afectado directamente a la fauna y los procesos naturales del ecosistema. Esta información coincide con informes técnicos de entidades como la CARDER y Aguas y Aguas de Pereira, que han documentado estos mismos impactos.

En cuanto al desarrollo vial, aunque responde a necesidades de conectividad en la región, también ha traído consigo efectos ambientales negativos que fueron registrados tanto en la cartografía como en las fuentes documentales consultadas. La ampliación de caminos y la apertura de nuevas rutas han contribuido a dividir sectores de bosque continuo, alterar patrones de escorrentía y facilitar el ingreso a zonas de importancia ecológica, como lo señala el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

El turismo en la cuenca, especialmente en zonas como la Laguna del Otún y Yarumo Blanco, también ha mostrado un crecimiento sostenido. Aunque se reconoce su valor económico y educativo, tanto los antecedentes como los resultados de este trabajo evidencian que, sin una gestión adecuada, puede producir impactos negativos sobre el suelo, los senderos y la fauna silvestre. Esto refuerza lo ya reportado en monitoreos locales, donde se ha advertido sobre la necesidad de implementar medidas de control ambiental en sitios de alta visitación.

Por otra parte, la deforestación y degradación forestal, ya señaladas en reportes del IDEAM y el Ministerio de Ambiente, siguen siendo una preocupación relevante. Las imágenes satelitales utilizadas en este estudio muestran una pérdida progresiva de cobertura vegetal, incluso en áreas con algún grado de protección, lo cual pone en evidencia las limitaciones en la gobernanza y el control ambiental en el territorio.

A este análisis se suma el valor interpretativo de los mapas incluidos en este trabajo. Las representaciones cartográficas permiten visualizar claramente los cambios en la cobertura del suelo entre 2017 y 2024, lo que refuerza los hallazgos descritos y da soporte espacial a las tendencias detectadas. En las imágenes correspondientes a 2017 se observa una mayor continuidad del bosque andino, mientras que para 2024 se evidencian zonas fragmentadas y transformadas por usos agrícolas y ganaderos. Esto no solo confirma la presión sobre los ecosistemas, sino que también facilita la identificación de sectores específicos donde los impactos han sido más fuertes.

Los mapas también revelan la fragmentación de corredores ecológicos producto de la expansión vial, así como la aparición de nuevas áreas intervenidas por actividades humanas. Estos hallazgos concuerdan con lo señalado por las fuentes secundarias y actualizan la

información con evidencia reciente. Además, permiten identificar zonas prioritarias para restauración y conservación, lo cual es clave para orientar acciones futuras en el territorio.

En conjunto, los resultados y análisis cartográficos no solo validan las alertas expuestas en los antecedentes, sino que permiten actualizarlas y profundizar en la comprensión de las dinámicas de transformación ambiental en la cuenca. Esta comparación entre datos espaciales propios y fuentes documentales secundarias refuerza la necesidad de implementar estrategias de manejo y ordenamiento más efectivas, que reconozcan la complejidad del territorio y la urgencia de frenar su deterioro.

8 Conclusiones

El primer objetivo planteado en esta investigación fue identificar los cambios en la cobertura del suelo entre 2017 y 2024 mediante una clasificación supervisada y la metodología Corine Land Cover (CLC). A partir del análisis de imágenes satelitales de los sensores Sentinel-2 y Landsat 9, se logró evidenciar una pérdida progresiva de la cobertura vegetal natural, principalmente en las zonas medias y bajas de la cuenca. Estos cambios están relacionados directamente con el avance de actividades humanas como la agricultura, la ganadería y el desarrollo de infraestructura vial. La metodología CLC permitió clasificar de manera precisa las coberturas del suelo, facilitando la comparación multitemporal y aportando datos claves para identificar patrones de transformación. El análisis mostró una disminución considerable de los bosques andinos y un aumento de áreas destinadas a usos agropecuarios, lo que confirma un proceso sostenido de cambio en el paisaje, con implicaciones importantes para la funcionalidad ecológica del territorio.

Respecto al segundo objetivo, que consistió en caracterizar las principales actividades antrópicas presentes en la cuenca de la Laguna del Otún y la cuenca alta del río Otún durante el periodo de estudio, se logró establecer que la expansión agrícola, la ganadería extensiva, el desarrollo vial y el turismo recreativo son las principales presiones sobre el ecosistema. Estas actividades fueron identificadas tanto mediante la interpretación de imágenes como a través del análisis de fuentes secundarias, incluyendo planes de manejo, informes técnicos y documentos institucionales de entidades como la CARDER, el IGAC, Aguas y Aguas de Pereira y el Ministerio de Ambiente. La agricultura, en especial los cultivos de pancoger y el café, ha reemplazado zonas de bosque; la ganadería extensiva ha generado compactación y erosión de

suelos; la apertura de nuevas vías ha fragmentado la conectividad ecológica; y el turismo, si bien aporta al desarrollo local, ha generado impactos sobre la fauna, los suelos y los cuerpos de agua. Este conjunto de actividades muestra cómo las dinámicas humanas han alterado de forma estructural el equilibrio ambiental del territorio.

Finalmente, en relación con el tercer objetivo, que buscó analizar las áreas críticas de transformación ambiental y los impactos asociados, se identificaron zonas prioritarias en las cuales la presión antrópica ha provocado una degradación más severa. Mediante el cruce de capas cartográficas y el análisis multitemporal, se localizaron espacios donde la pérdida de cobertura vegetal, el fraccionamiento del bosque y la intervención de fuentes hídricas han sido más intensos. Estas áreas críticas se ubican, en su mayoría, en laderas con pendiente media y baja, que han sido ocupadas por prácticas agropecuarias sin medidas de manejo adecuadas. Los impactos asociados incluyen la pérdida de biodiversidad, la alteración de los ciclos hídricos, el aumento de sedimentos en quebradas y el debilitamiento de los servicios ecosistémicos. La información recolectada no sólo confirma lo planteado en los antecedentes institucionales, sino que proporciona insumos detallados que pueden ser utilizados para orientar procesos de restauración, planificación ambiental y fortalecimiento del ordenamiento territorial en el área de estudio.

9 Recomendaciones

Uno de los principales retos enfrentados al abordar el primer objetivo fue la disponibilidad y calidad de imágenes satelitales con baja nubosidad para todos los años del periodo 2017–2024. Esto limitó en algunos casos la precisión en la clasificación supervisada, especialmente en zonas de alta montaña. Se recomienda que futuros estudios contemplen la integración de imágenes de múltiples sensores, para mejorar la cobertura y continuidad de los datos. Además, sería útil consolidar un archivo histórico de imágenes satelitales depuradas y clasificadas desde instituciones ambientales regionales, para facilitar investigaciones futuras.

En el segundo objetivo, centrado en caracterizar las actividades antrópicas, se evidenció como limitación la escasa información sistematizada y actualizada en algunos sectores de la cuenca, lo cual dificulta la comparación entre datos cartográficos y fuentes secundarias. Para superar esta situación, se recomienda fortalecer los procesos de monitoreo y registro de actividades productivas, turísticos y de infraestructura en la región, mediante la creación de un sistema de información ambiental actualizado en tiempo real. También se debe promover alianzas con autoridades locales y actores comunitarios, quienes poseen conocimiento del territorio que puede complementar los datos técnicos y enriquecer la caracterización antrópica.

En relación con el tercer objetivo, el análisis de áreas críticas y los impactos ambientales asociados evidenció una dificultad en cuanto a la integración de capas de información espacial con escalas y fuentes diferentes. Esto generó un esfuerzo adicional en la validación y homogenización de datos para que el análisis fuera consistente. Para futuros estudios, se recomienda estandarizar los formatos de datos geospaciales y definir criterios de calidad mínimos para la información que se integre al análisis. Asimismo, sería pertinente realizar

trabajos de campo complementarios en las zonas críticas identificadas, con el fin de validar los hallazgos obtenidos mediante sensores remotos y detectar impactos no visibles a través de imágenes satelitales.

Finalmente, se recomienda que este tipo de estudios incluyan una mayor participación de las comunidades locales desde las fases iniciales, para fortalecer la gobernanza ambiental y asegurar que los resultados respondan a las necesidades del territorio. También es recomendable generar insumos cartográficos de libre acceso que sirvan como herramienta para la gestión ambiental, la toma de decisiones y la formulación de políticas públicas más efectivas en el área de influencia de la cuenca.

Referencias

- Aguas y Aguas de Pereira. (2023). Cartilla POMCA.
- Avellaneda-Torres, L. M., Torres, E., & León-Sicard, T. E. (2014). Agricultura y vida en el páramo: una mirada desde la vereda El Bosque (Parque Nacional Natural de Los Nevados). *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 11(73), 105–128.
- Buckley, R. (2012). *Sustainable tourism: Research and reality*. *Annals of Tourism Research*, 39(2), 528–546. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2012.02.003>
- Bossard, M., Feranec, J., & Otahel, J. (2000). CORINE Land Cover Technical Guide – Addendum 2000. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/tech40add>
- Caviedes Rubio, D. I., & Olaya Amaya, A. (2018). *Ecoturismo en áreas protegidas de Colombia: Una revisión de impactos ambientales con énfasis en las normas de sostenibilidad ambiental*. <https://doi.org/10.17151/luaz.2018.46.16>
- Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER). (2019). Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Otún (Libro técnico). Universidad Católica de Pereira.
- Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER). (2021). Acuerdo 035-2021: Acuerdo de manejo para el suelo de protección del recurso hídrico cuenca media-alta del río Otún y otras disposiciones.
- Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER). (2024). Plan de acción cuatrienal 2024–2027.
- Departamento de Risaralda, Secretaría de Desarrollo Económico y Competitividad. (2022). Estudio previo para la contratación con objeto “Realizar el perfilamiento de un proyecto de valor turístico para los municipios de Quinchía y zona de influencia de la Laguna del Otún y estudios y diseños en fase de factibilidad de un proyecto turístico en el municipio de Balboa”
- DFM Directorio Forestal Maderero. (6 de Mayo de 2016). Cuando los árboles producen nubes. Obtenido de Forestal Maderero: <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/cuando-los-arboles-producen-nubes.html>
- El País. (2024). Yarumo Blanco: referente del ecoturismo comunitario en Colombia.
- Esri. (2022). ArcGIS Pro overview: Desktop GIS software. Esri. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>
- European Environment Agency. (2018). CORINE Land Cover (CLC) 2018. <https://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>

- Espinosa, N. P., Ceballes, D. F. & Delgado, G. Y. (2024). *Caracterización y zonificación edáfica del municipio de Pitalito-Huila utilizando sistemas de información geográfica*. [Diplomado de profundización para grado]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/62264>
- Feranec, J., Jaffrain, G., Soukup, T., & Hazeu, G. (2007). Determining changes and flows in European landscapes 1990–2000 using CORINE land cover data. *Applied Geography*, 27(4), 247–257. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2007.07.001>
- Forman, R. T. T., & Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29, 207–231. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.207>
- Gálvez, L. C. & Londoño, J. C. (2023). *Identificación de riesgos de erosión de suelos por agricultura intensiva en el municipio de Tuluá - Valle del Cauca, aplicando herramientas de sistemas de información geográfica*. [Diplomado de profundización para grado]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/56125>
- Infante Osorio, C., Ramírez Cuetia, C. S., & Romero Pérez, J. L. (2021). Conceptualización de un sistema de información geográfica (SIG) para la educación ambiental en Bogotá D.C. (2002–2021) [Trabajo de grado, Especialización en Educación y Gestión Ambiental, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Universidad Distrital. <http://hdl.handle.net/11349/28753>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (s.f.). [Sin título específico].
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]. (2018). *Lineamientos para la restauración ecológica en Colombia*. <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistematicos/gestion-en-biodiversidad/restauracion-ecologica>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]. (2022). *Guía de manejo ambiental para vías terciarias* [Guía técnica]. Recuperado de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/07/15.-Guia-de-manejo-ambiental-para-vias-terciarias.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]. (2024). Parque Nacional Natural Los Nevados – Informe ambiental.
- Municipio de Pereira, Secretaría de Desarrollo Económico y Competitividad. (2020). Estudio previo para la contratación con objeto “Prestar los servicios de apoyo a la Secretaría de Desarrollo Económico y Competitividad para desarrollar acciones que contribuyan al fortalecimiento del sector turístico del municipio de Pereira y acceder a la certificación de la cuenca alta del río Otún como destino turístico sostenible”.

- Municipio de Santa Rosa de Cabal. (2000). Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT): Documento técnico de soporte – Componente rural.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2017). Plan de manejo 2017–2022: Parque Nacional Natural Los Nevados. Dirección Territorial Andes Occidentales.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (11 de Mayo de 2022). Los páramos de Colombia tienen más de 31.000 nuevos frailejones. Obtenido de Parques Nacionales Naturales de Colombia: <https://www.parquesnacionales.gov.co/sala-prensa/noticias/los-paramos-de-colombia-tienen-mas-de-31-000-nuevos-frailejones/>
- Planet Labs. (2021). PlanetScope imagery product specifications. Planet Labs. <https://developers.planet.com/docs/apis/data/sensors/ps/>
- QGIS Development Team. (2022). *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association. <https://www.qgis.org>
- Silva, E. R. Dos S. da, Oliveira, V. F. R. de, Vick, E. P., Lima, C. G. da R., Bacani, V. M. & Chávez, E. S. (2022). Geotecnologías aplicadas al análisis de la fragilidad ambiental a los procesos erosivos. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, 31(1), 222–240. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v31n1.85654>
- Soukup, T., et al. (2012). Land Cover Accounting for Europe 1990–2006. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/land-cover-accounting>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2022, 7 de junio). Bases conceptuales, metodológicas y lineamientos de la reconversión productiva agropecuaria (Versión 4). https://upra.gov.co/en/Documents/01_Proyectos_Normativos/202204_Documento_tecnico.pdf