



Evaluación de los cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo del Páramo La Rusia del municipio de Duitama

Héctor Edison Rodríguez Díaz

Nicolás Enciso Puerto

Diana Alejandra Torres Pinto

Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director: Alberto Boada Rodríguez, Doctor (PhD) en Investigación y Docencia

Codirector Danilo Vera

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica - Virtual

Manizales, Caldas, Colombia

2025

Cita	(Jiménez Quintero, 2021)
Referencia	Jiménez Quintero, J. D. (2021). <i>Evaluación de los cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo del Páramo La Rusia del municipio de Duitama</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Manizales. RIDUM: Repositorio Institucional Universidad de Manizales.
Estilo APA 7 (2020)	



Especialización en Sistemas de Información Geográfica - Virtual, I

Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo

Línea de Investigación Análisis y Modelamiento Espacial.

Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo - CIMAD.

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.....	7
Abstract	8
Introducción	9
1. Planteamiento del problema.....	11
1.1 Antecedentes	12
2. Justificación	14
3. Objetivos.....	16
3.1 Objetivo general.....	16
3.2 Objetivos específicos	16
6. Metodología	20
6.1. Enfoque y Diseño de la Investigación	20
6.1.1. Procedimientos y Técnicas para la Recolección de Datos	20
6.1.2. Organización y Sistematización de la Información	21
6.1.3. Análisis de los Datos	21
6.1.4. Interpretación y Presentación de Resultados	21
6.2 Enfoque metodológico	21
6.2.1. Tipo de estudio	22
6.2.2. Procedimiento.....	23
7. Resultados.....	26
7.1. Análisis Multitemporal De Los Cambios En La Cobertura Vegetal Del Páramo La Rusia Del Municipio De Duitama.....	30
7.2. Análisis Multitemporal De Los Cambios En El Uso Del Suelo Del Páramo La Rusia Del Municipio De Duitama	36
7. Discusión.....	48

8. Conclusiones	50
9.Recomendaciones	52
10. Referencias.....	54

Lista de tablas

Tabla 1. Características de las capas utilizadas	21
Tabla 2. Balance general Cambio de cobertura	32
Tabla 3. Cobertura.	39
Tabla 4. Uso de Suelo.	39
Tabla 5. Balance general Cambio de cobertura	40

Lista de figuras

Figura 1. Diagrama de flujo del procedimiento	24
Figura 2. Cambios de cobertura	26
Figura 3. Cambios de cobertura	27
Figura 4. Cambios de cobertura 2009	28
Figura 5. Cambios de cobertura 2012	29
Figura 6. Cambios de cobertura 2024	30
Figura 7. Cambios uso de suelo	33
Figura 8. Cambios uso de suelo 2009	34
Figura 9. Cambios uso de suelo 2012	35
Figura 10. Cambios uso de suelo 2024	36
Figura 11. Evidencia de encuesta realizada	41
Figura 12. Evidencia de encuesta realizada	41
Figura 13. Evidencia de encuesta realizada	42
Figura 14. Gráfica resultados encuesta años vividos en la zona	43
Figura 15. Gráfica resultados cobertura vegetal	43
Figura 16. Gráfica resultados uso de suelo	44
Figura 17. Gráfica resultados cambios en el uso de suelo	44
Figura 18. Gráfica resultados fauna	45
Figura 19. Gráfica cobertura vegetal	46
Figura 20. Gráfica uso del suelo	46
Figura 21. Gráfica uso del suelo	47
Figura 22. Gráfica cambios en la fauna	47

Resumen

El Páramo de La Rusia en el municipio de Duitama, Boyacá, Colombia, es un ambiente de alta montaña que experimenta un deterioro acelerado debido a las presiones antropogénicas tales como la agricultura o la ganadería intensiva las cuales inducen a una deforestación o degradación del suelo además de estas se observó una tendencia de urbanización que lleva a la extracción de recursos naturales para la subsistencia de estos, lo cual fragmenta el hábitat y reduce ampliamente la cobertura vegetal. Estos componentes han llevado al paramo de la Rusia a la desintegración del hábitat y a la pérdida de biodiversidad, arriesgando la funcionalidad de este ecosistema.

Este paramo es un ecosistema que desempeña un papel importante en el municipio, debido a que junto con el páramo de Pan de Azúcar representan aproximadamente el 60% del territorio de Duitama además de asegurar el suministro de agua. Los cambios de cobertura vegetal y uso del suelo presentan una grave amenaza en este ecosistema generando una afectación en el recurso del agua y en la erosión del suelo aumentando una vulnerabilidad en los ecosistemas frente a fenómenos climáticos como sequías o inundaciones siendo estos efectos climáticos .

La metodología utilizada se basó en enfoque mixto con el fin de combinar herramientas cuantitativas y cualitativas para analizar la cobertura vegetal y los cambios en el uso del suelo esto llevo a realizar un diseño no experimental donde se recolectaron datos a través imágenes satelitales y técnicas de teledetección para cuantificar e inventariar los cambios además de una observación directa en forma de visitas y encuestas permitiendo así la interpretación de los resultados para formular algunas recomendaciones.

Como resultado del análisis multitemporal se observó una disminución de la cobertura vegetal en bosques densos y un aumento en herbazales además de una expansión del suelo agropecuario estos cambios nos demuestran una tendencia hacia la transformación del ecosistema de páramo.

Este proyecto de investigación tuvo como propósito analizar los cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo del Páramo de La Rusia lo largo de 16 años teniendo datos de 2009 hasta el presente año, utilizando una metodología multitemporal y geoespacial por medio de herramientas de análisis de sistemas de información geográfica (SIG).

Los hallazgos nos demuestran la importancia de implementar estrategias de manejo para la conservación de estos ecosistemas.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica, Deforestación, Conservación, Biodiversidad.

Abstract

The Páramo de La Rusia, located in the municipality of Duitama, Boyacá, Colombia, is a high-mountain ecosystem undergoing accelerated degradation due to anthropogenic pressures such as agriculture and intensive livestock farming. These activities have driven deforestation and soil degradation. In addition, urban expansion has increased the extraction of natural resources for subsistence, further fragmenting habitats and significantly reducing vegetation cover. These factors have led to habitat loss and biodiversity decline, ultimately compromising the ecological functionality of the páramo.

This ecosystem plays a key role in the municipality, since together with the Páramo de Pan de Azúcar, it represents approximately 60% of Duitama's territory and ensures water supply. Changes in land use and vegetation cover pose serious threats to this ecosystem, affecting water resources and accelerating soil erosion, which in turn increases vulnerability to climate events such as droughts and floods.

The methodology was based on a mixed approach, combining quantitative and qualitative tools to analyze vegetation cover and land use changes. A non-experimental design was applied, with data collected through satellite imagery and remote sensing techniques to quantify and inventory the transformations. Direct field observations, including site visits and surveys, were also conducted to support the interpretation of results and the formulation of recommendations.

The multitemporal analysis revealed a decrease in dense forest cover, an increase in grasslands, and an expansion of agricultural land use. These changes highlight an ongoing trend toward the transformation of the páramo ecosystem.

The purpose of this research was to analyze changes in vegetation cover and land use in the Páramo de La Rusia over a 16-year period, from 2009 to the present, using multitemporal and geospatial methodologies supported by Geographic Information System (GIS) tools. The findings emphasize the importance of implementing management strategies aimed at conserving these critical ecosystems.

Keywords: Geographic Information Systems, Deforestation, Conservation, Biodiversity.

Introducción

Los páramos son ecosistemas únicos de la alta montaña, su conformación es el resultado de la asociación entre fenómenos geológicos y climáticos que permitieron la configuración de características y procesos de adaptación únicos que conformaron las comunidades florísticas y faunísticas actuales, las cuales contienen un importante número de especies endémicas que por lo general son exclusivas para cada páramo (Sarmiento, C., Cadena, M., Sarmiento, M., Zapata, J., & León, O, 2018), cubriendo aproximadamente el 2,5% del territorio colombiano los páramos son importantes ecosistemas para el desarrollo de la regulación hídrica y la mitigación del cambio climático.

Estos frágiles ecosistemas desempeñan un papel fundamental en la regulación hídrica, la conservación de la biodiversidad y la mitigación de los efectos del cambio climático (Buytaert W, et. 2016) además no es exagerado expresar que todos los sistemas fluviales nacen en los páramos en otros términos que los ecosistemas de paramo regulan las corrientes hídricas. En específico, el Páramo La Rusia, ubicado en el municipio de Duitama, Boyacá, es un páramo de gran relevancia ecológica y ambiental para la región.

No obstante, en los últimos años el Páramo La Rusia ha sido sometido a diversas presiones humanas las cuales han alterado su estructura tanto ecológica como geográfica y su funcionamiento. Estos fenómenos como la expansión de la frontera agropecuaria para cultivos como papa, la urbanización dispersa y sin permisos además del uso intensivo del suelo con fines productivos como ganadería y piscicultura han originado cambios significativos en la cobertura vegetal y el uso del suelo de este ecosistema . Estas prácticas han sido realizadas en su mayoría por la disponibilidad de agua y suelos fértiles, sin considerar que cualquier cambio representa un equilibrio en el ecosistema. Por otro lado la invasión del retamo espinoso, una planta exótica que se ha expandido rápidamente, desplazando a la vegetación nativa y alterando aún más la composición y estructura del páramo (Vargas, O., & Pedraza, P. 2019). Estos procesos de transformación suelen ser acumulativos, silenciosos y, en muchos casos, irreversibles, lo que representa un desafío para la conservación y el manejo sostenible de los páramos (Llambí, L. D., et 2020). Además de estas presiones este ecosistema presenta cambios de origen natural como cambio climático el cual altera patrones como la temperatura.

Debido a que los cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo no siempre son perceptibles de manera inmediata, el tener herramientas que permitan evaluar las transformaciones a través del tiempo es un beneficio. El análisis multitemporal, basado en el uso de imágenes satelitales y técnicas de teledetección, se presenta como una alternativa valiosa para identificar patrones de cambio en el ecosistema de páramo (Eastman, J. R. 2016). Este tipo de análisis permitió comprender cómo ha evolucionado el territorio geológicamente, cuáles son las zonas más impactadas y qué tipo de dinámicas están incidiendo en su transformación.

La pregunta que orienta esta investigación es: ¿ De qué manera los cambios en el uso del suelo, como la expansión agrícola o ganadera, han afectado la biodiversidad y los servicios ecosistémicos del páramo de La Rusia en el municipio de Duitama? Esta interrogante permite estructurar el análisis desde una perspectiva integral, combinando aspectos técnicos, ecológicos y territoriales.

Así pues, el presente documento tuvo como finalidad aportar una visión detallada de las transformaciones del paisaje del páramo, identificar los procesos que las han generado y proponer una base técnica que sirva como insumo para la planificación ambiental y la gestión sostenible de este ecosistema estratégico.

1. Planteamiento del problema

En Colombia, el páramo se localiza en las tres cordilleras y en la Sierra Nevada de Santa Marta, cubriendo un área de 14.434 km², equivalente al 49 % de los páramos del mundo y al 1,3 % de la extensión continental del país. El departamento con mayor extensión es Boyacá, con un 16 % de los páramos del mundo (Laura Garavito, 2015). No obstante, los páramos colombianos enfrentan diversas amenazas que ponen en riesgo su integridad ecológica

Los páramos del municipio de Duitama en específico el páramo de la Rusia forma parte de los ecosistemas que enfrentan problemáticas ambientales, este ecosistema ha sido sometido a múltiples presiones de origen tanto antrópico como natural, que han alterado gravemente su estructura y funcionamiento (Etter, A., McAlpine, C, et 2016)

Las actividades humanas han sido una de los principales amenazas frente a la alteración del Páramo de La Rusia. Entre estos cambios destacan la expansión de la frontera agropecuaria, especialmente con el cultivo de papa y la presencia de ganadería (Moreno Ortega, et 2022), así como la urbanización, y la invasión de especies exóticas como el retamo espinoso (Vargas, et. 2019). Estas dinámicas de ocupación y uso del territorio han provocado cambios significativos en la cobertura vegetal y el uso del suelo, impactando directamente la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos.

De igual manera este ecosistema también enfrenta presiones de origen natural, como los efectos del cambio climático, los cuales pueden alterar patrones de precipitación, temperatura y la frecuencia de eventos climáticos extremos tales como el fenómeno de la niña y el fenómeno del niño (Llambí, L. D., et 2020). Estos cambios en las condiciones ambientales pueden tener implicaciones importantes para la dinámica y el equilibrio del ecosistema; obteniendo así un cambio en el uso del suelo y en la cobertura vegetal.

Aunque existen estudios acerca de la intensificación de la agricultura (principalmente cultivo de papa), la ganadería, la tala indiscriminada, el aprovechamiento descontrolado de flora y fauna silvestre, la erosión por escorrentía, la eliminación de la capacidad de retención hídrica del páramo, la extinción de especies endémicas, la contaminación con residuos sólidos y líquidos por abonos y herbicidas, el deterioro del suelo y la pérdida de biodiversidad y el acelerado calentamiento global (Laura Natalia Garavito, 2015) el desconocimiento por parte de la comunidad en general sobre estos efectos acumulativos es muy poco, comprender la dinámica de

estos cambios orienta a la implementación de buenas estrategias de conservación y manejo del ecosistema.

Debido la importancia de este ecosistema en la regulación del ciclo hidrológico es importante generar información que permita evaluar los cambios de cobertura y uso del suelo para entender los factores que han llevado a las transformaciones y las implicaciones que esto conlleva para la conservación de biodiversidad, por esta razón los resultados de esta investigación llevaran a la orientación de toma de decisiones e implementación de estrategias de manejo para la protección del ecosistema.

1.1 Antecedentes

A nivel global, los ecosistemas de páramo y alta montaña han sido reconocidos como áreas estratégicas para la regulación hídrica, la captura de carbono y la conservación de biodiversidad. Sin embargo, diferentes investigaciones han advertido que estos ambientes enfrentan una degradación progresiva asociada al cambio climático, la expansión agrícola y la pérdida de cobertura vegetal (Hofstede et al., 2002; Buytaert et al., 2006; Ospina & Hofstede, 2008). En particular, los efectos del calentamiento global han modificado patrones de temperatura y precipitación, aumentando la vulnerabilidad de estos ecosistemas frente a fenómenos climáticos extremos (IPCC, 2014; Llambí et al., 2020).

En el contexto latinoamericano, los páramos de los Andes tropicales han sido objeto de numerosos estudios debido a su relevancia como fuentes hídricas que abastecen a millones de personas. Diversos autores han señalado que la expansión de la frontera agrícola, especialmente con el cultivo de tubérculos, junto con la ganadería extensiva, representan las principales causas de transformación de estos ecosistemas (Hofstede, 1995; Morales et al., 2007; Etter et al., 2016). Adicionalmente, procesos como la urbanización y la introducción de especies exóticas se han identificado como amenazas crecientes para la funcionalidad ecológica de los páramos andinos (Sarmiento et al., 2013; Vargas et al., 2019).

En Colombia, los páramos ocupan aproximadamente 14.434 km², equivalentes al 49 % de los páramos del mundo y al 1,3 % del territorio continental del país (Garavito, 2015). El departamento de Boyacá concentra la mayor extensión, con un 16 % de los páramos a nivel mundial, lo que resalta su importancia estratégica para la regulación hídrica y la conservación de biodiversidad (Moreno et al., 2022). Sin embargo, estos ecosistemas presentan un deterioro

progresivo derivado de la intensificación agrícola, la deforestación, la minería, la urbanización y el sobrepastoreo, lo que ha generado erosión de suelos, pérdida de especies endémicas y disminución en la capacidad de retención hídrica (Cuatrecasas, 1958; Van der Hammen, 1998; Garavito, 2015).

En el ámbito local, los páramos de Duitama, y en particular el Páramo de La Rusia, forman parte de las áreas que enfrentan las mayores presiones antrópicas en el departamento. Investigaciones han documentado la expansión de la frontera agropecuaria asociada principalmente al cultivo de papa y la presencia de ganadería, así como procesos de urbanización y el avance de especies invasoras como el retamo espinoso (Etter et al., 2016; Vargas et al., 2019; Moreno Ortega et al., 2022). Estas dinámicas de transformación han provocado cambios significativos en la cobertura vegetal, reduciendo la biodiversidad y afectando la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para la región. Asimismo, la variabilidad climática y fenómenos como El Niño y La Niña han generado modificaciones en los patrones hídricos y en la dinámica ecológica de este ecosistema, aumentando su vulnerabilidad (Llambí et al., 2020).

De esta manera, comprender la evolución de la cobertura vegetal y el uso del suelo en el Páramo de La Rusia resulta fundamental para orientar estrategias de conservación y manejo. Si bien existen investigaciones sobre problemáticas puntuales como la agricultura intensiva, la deforestación o la pérdida de biodiversidad, aún son limitados los estudios que integran un análisis multitemporal y geoespacial de los cambios ocurridos en este ecosistema, lo que evidencia la pertinencia de este trabajo de investigación.

2. Justificación

La investigación se desarrolló con el propósito de comprender la dinámica de transformación del Páramo de La Rusia en el municipio de Duitama, un ecosistema estratégico que cumple funciones fundamentales en la regulación hídrica, la conservación de biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos. La importancia ambiental de este ecosistema radicó en que, junto con otros páramos de Boyacá, constituye una de las principales fuentes de agua para el altiplano cundiboyacense, razón por la cual los cambios en su cobertura vegetal y uso del suelo representaron una amenaza directa para la sostenibilidad de la región.

Desde una perspectiva social, el estudio resultó relevante porque permitió evidenciar la presión ejercida por las actividades humanas principalmente la agricultura, la ganadería y la urbanización sobre los recursos naturales. Comprender esta relación fue fundamental para orientar procesos de sensibilización y fortalecer la gestión comunitaria y gubernamental frente a la conservación de los páramos.

En el ámbito científico, la investigación aportó al conocimiento sobre la dinámica de los ecosistemas de alta montaña mediante el uso de metodologías multitemporales y geoespaciales. Para ello se utilizaron imágenes satelitales Landsat y Sentinel procesadas con herramientas de teledetección y análisis en Sistemas de Información Geográfica (SIG), lo que permitió identificar y cuantificar los cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo ocurridos entre 2009 y 2024. Este periodo fue clave, dado que coincidió con la intensificación de la frontera agropecuaria, la introducción de especies invasoras y la variabilidad climática regional asociada a fenómenos como El Niño y La Niña, procesos que incidieron de manera directa en la estructura y funcionalidad del ecosistema.

La viabilidad del estudio se garantizó mediante la disponibilidad de imágenes satelitales de libre acceso y el empleo de software especializado en análisis geoespacial, lo cual hizo posible un abordaje riguroso y económicamente sostenible. De igual manera, la realización de salidas de campo y la aplicación de encuestas complementaron la interpretación de los datos, fortaleciendo la validez de los resultados.

En conclusión, la investigación se justificó por su relevancia ambiental, social y científica, así como por su factibilidad técnica y metodológica. Los hallazgos obtenidos constituyeron una base fundamental para la formulación de estrategias de conservación, manejo y restauración del

Páramo de La Rusia, aportando insumos para la toma de decisiones orientadas a la protección de este ecosistema estratégico.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar los cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo en el Páramo de La Rusia, municipio de Duitama, durante el periodo 2009-2024, con el fin de identificar los patrones espaciales y temporales de transformación y sus principales causas, aportando insumos para la conservación y el manejo sostenible del ecosistema.

3.2 Objetivos específicos

1. Analizar los cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo del Páramo de La Rusia mediante técnicas de análisis multitemporal de imágenes satelitales (2009-2024), con el propósito de cuantificar las áreas transformadas y la magnitud de dichos cambios.

2. Identificar los principales factores de cambio asociados a las presiones antrópicas (agricultura, ganadería, urbanización, especies invasoras) y naturales (variabilidad climática), relacionándolos con las transformaciones observadas en la cobertura y el uso del suelo.

3. Evaluar las implicaciones de los cambios en la biodiversidad y la funcionalidad del ecosistema, generando información cartográfica de las áreas más vulnerables a la degradación, como insumo para la formulación de estrategias de conservación y manejo sostenible del páramo.

5. Marco teórico

Los ecosistemas de páramo, al ubicarse en zonas de alta montaña, desempeñan un papel crucial en la regulación hídrica, la conservación de biodiversidad y la captura de carbono. Su capacidad para almacenar agua, mitigar los efectos del cambio climático y sostener comunidades vegetales y animales endémicas, los convierte en territorios estratégicos tanto ambiental como socialmente (Gómez Restrepo, Quiroga & Mesa, 2019). En consecuencia, el monitoreo y análisis de sus transformaciones territoriales resulta prioritario para garantizar su sostenibilidad.

En este contexto, dos conceptos fundamentales estructuraron el análisis espacial: la **cobertura vegetal** y el **uso del suelo**. La cobertura vegetal se refiere a las formaciones vegetales presentes en un área geográfica específica, y su estudio permite detectar procesos de fragmentación, regeneración o pérdida ecosistémica (Hurtado, 2021). Por su parte, el uso del suelo describe la forma en que las personas ocupan y transforman el territorio para fines agrícolas, urbanos, extractivos o de conservación. La interacción entre ambos aspectos permite comprender la dinámica de cambio que experimentan los ecosistemas de páramo bajo presión antrópica (Moreno Ortega, Rodríguez & Luna, 2022).

El análisis **multitemporal** constituye una herramienta clave para la evaluación de estos cambios a través del tiempo. Mediante la comparación de imágenes satelitales en distintos momentos, es posible identificar patrones de transformación y tasas de cambio. Estas técnicas se han consolidado como instrumentos eficaces para observar la evolución del paisaje y establecer correlaciones con las actividades humanas (Rodríguez, Gómez & Sánchez, 2022). Cuando el análisis multitemporal se integra con los **sistemas de información geográfica (SIG)**, se genera un modelo robusto de monitoreo espacial capaz de producir insumos útiles para la planificación territorial y la conservación ambiental (Pinto & Ramírez, 2023).

Desde el plano conceptual, la **ecología del paisaje** aporta una visión integral al estudio del territorio, al analizar cómo la distribución espacial de los ecosistemas afecta su funcionamiento ecológico. Aspectos como la conectividad entre fragmentos de vegetación, la estructura del hábitat o la pérdida de continuidad ecológica son indicadores clave para evaluar la resiliencia del ecosistema (Valencia Torres & Sandoval Quintero, 2021). La fragmentación del páramo, por ejemplo, puede comprometer procesos fundamentales como la filtración de agua o la regulación térmica.

Adicionalmente, la inclusión de componentes **sociales** en este tipo de estudios enriquece la comprensión de los procesos territoriales. Las percepciones de las comunidades locales, recogidas mediante entrevistas o encuestas, permiten reconocer transformaciones que no siempre son visibles en los registros espaciales, y ayudan a validar los hallazgos técnicos (Vargas & Jiménez, 2024). Esta triangulación entre datos espaciales, ecológicos y sociales favorece la formulación de estrategias de conservación más ajustadas a las realidades locales.

Por último, el concepto de **sostenibilidad ecológica** atraviesa transversalmente el análisis de estos sistemas. Esta se entiende como la capacidad de un ecosistema para mantener su estructura, composición y funcionalidad a largo plazo frente a perturbaciones internas o externas (Pérez & Londoño, 2022). En el caso de los páramos, garantizar esa sostenibilidad implica reconocer los límites del uso del suelo, restaurar áreas degradadas y promover prácticas compatibles con la conservación.

En síntesis, el análisis multitemporal de la cobertura vegetal y el uso del suelo en el Páramo La Rusia requirió un enfoque interdisciplinario. La integración de herramientas técnicas, enfoques ecológicos y dimensiones sociales permitió comprender a fondo las transformaciones de este ecosistema estratégico y diseñar intervenciones eficaces para su protección.

5.1 Marco legal

En Colombia, los páramos cuentan con un marco normativo amplio, que ha evolucionado a lo largo de las últimas décadas con el fin de garantizar su protección y manejo sostenible:

- **Constitución Política de 1991:** estableció que la diversidad biológica y el ambiente son patrimonio de la Nación, y que el Estado tiene la obligación de proteger las riquezas naturales (Art. 79 y 80).
- **Ley 99 de 1993:** creó el Ministerio de Ambiente y el Sistema Nacional Ambiental (SINA), sentando las bases de la política ambiental y reconociendo la importancia de los páramos como ecosistemas estratégicos.
- **Ley 373 de 1997:** estableció directrices para la conservación y uso eficiente del recurso hídrico, directamente relacionado con los servicios ecosistémicos que prestan los páramos.
- **Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (2012):** reconoció los páramos como áreas prioritarias de conservación por su papel en la regulación hídrica y la biodiversidad.

- **Ley 1450 de 2011 (Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014):** prohibió la minería en páramos y ordenó su delimitación.
- **Sentencia C-035 de 2016 de la Corte Constitucional:** ratificó la prohibición de actividades extractivas en los páramos, consolidando la protección legal de estos ecosistemas.
- **Resolución 2090 de 2014 (MinAmbiente):** adoptó la delimitación de varios complejos de páramo, incluido el complejo de **La Rusia, Belén y Guantiva**, estableciendo límites precisos para su protección.
- **Ley 1930 de 2018:** conocida como la "Ley de páramos", reguló su gestión integral, prohibió expresamente actividades agropecuarias de gran escala, y promovió la reconversión productiva sostenible.
- **Política Nacional para la Protección de los Páramos (2018):** complementó el marco normativo al establecer lineamientos específicos para su conservación y restauración.

Este marco legal ha permitido avanzar en la delimitación, regulación y protección de los páramos, aunque su implementación sigue enfrentando retos asociados a las dinámicas socioeconómicas de las comunidades que habitan estos territorios. En el caso del Páramo de La Rusia, estas disposiciones han sido fundamentales para orientar procesos de conservación, pero también han generado tensiones sociales debido a las restricciones sobre el uso del suelo.

6. Metodología

La metodología de la investigación fue diseñada como un proceso secuencial y estructurado, orientado al cumplimiento de los objetivos específicos del estudio. Se adoptó un enfoque mixto (cuantitativo, cualitativo y espacial), que integró el análisis multitemporal de imágenes satelitales, el procesamiento en entornos SIG y la incorporación de percepciones locales. Esta combinación permitió interpretar los cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo del Páramo La Rusia desde una perspectiva integral.

A continuación, se presentan las fases metodológicas y los procedimientos aplicados:

6.1. Enfoque y Diseño de la Investigación

La investigación correspondió a un diseño no experimental de tipo transversal, en el que no se manipularon variables, sino que se analizaron las transformaciones ocurridas en distintos momentos temporales. El enfoque mixto permitió articular datos cuantitativos derivados del análisis espacial con información cualitativa obtenida en campo, fortaleciendo la interpretación de los resultados.

6.1.1. Procedimientos y Técnicas para la Recolección de Datos

- La información se obtuvo a partir de fuentes confiables y complementarias:
- Descarga de capas vectoriales de cobertura terrestre de la serie CLC-Colombia (IDEAM) para los años 2009, 2012 y 2024.
- Revisión de bases de datos de instituciones como el Instituto Humboldt (IAvH) y el SIB Colombia.
- Observación directa en territorio mediante salidas de campo.
- Entrevistas semiestructuradas a habitantes con más de 10 años de residencia.
- Procesamiento de datos en ArcGIS Pro, empleando herramientas de análisis espacial. En algunos casos se implementaron scripts en Python para automatizar cálculos específicos.

Año	Fuente	Resolución espacial	Escala de análisis
2009	IDEAM - CLC Colombia	30 m	1:100.000

2012	IDEAM - CLC Colombia	30 m	1:100.000
2024	IDEAM - CLC Colombia	30 m	1:100.000

Tabla 1. Características de las capas utilizadas

6.1.2. Organización y Sistematización de la Información

Los datos fueron organizados en estructuras compatibles con SIG, asegurando trazabilidad y consistencia espacial. La información cualitativa derivada de entrevistas fue categorizada e integrada al análisis espacial, aportando una visión complementaria desde la comunidad local.

6.1.3. Análisis de los Datos

El análisis se desarrolló mediante una comparación multitemporal entre 2009, 2012 y 2024. Las principales acciones incluyeron:

- Clasificación y cuantificación de coberturas y usos del suelo.
- Identificación de zonas con mayor transformación, regeneración o deterioro.
- Cálculo de tasas de cambio y construcción de matrices de transición.
- Validación cruzada con percepciones de los habitantes locales.

6.1.4. Interpretación y Presentación de Resultados

Los resultados fueron organizados con base en los objetivos específicos, a través de:

- Mapas temáticos multitemporales.
- Gráficas y tablas comparativas.
- Análisis espacial de áreas críticas.

La interpretación integró datos espaciales y aportes comunitarios, lo que permitió una lectura contextualizada del estado actual del ecosistema.

6.2 Enfoque metodológico

Se implementó una metodología descriptiva, correlacional y explicativa:

- Descriptiva: caracterización de coberturas y usos actuales.
- Correlacional: relaciones entre cambios físicos y presiones antrópicas.
- Explicativa: causas y consecuencias del deterioro o regeneración.

La combinación de SIG, datos oficiales, trabajo de campo y percepción comunitaria permitió construir un diagnóstico robusto y orientado a la acción.

6.2.1. Tipo de estudio

La investigación correspondió a un estudio de carácter descriptivo, correlacional y explicativo, orientado a comprender los cambios ocurridos en la cobertura vegetal y el uso del suelo en el Páramo de La Rusia durante el periodo 2009-2024.

Estudio Descriptivo:

Objetivo: Caracterizar las condiciones del ecosistema y documentar los cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal en el Páramo de La Rusia.

Actividades: Se analizaron series temporales de imágenes satelitales correspondientes a los años 2009, 2012 y 2024.

Estudio Correlacional:

Objetivo: Establecer relaciones entre las transformaciones del uso del suelo y sus impactos sobre el ecosistema del Páramo de La Rusia.

Actividades:

- Se cuantificaron y mapearon los cambios en la cobertura vegetal a lo largo del periodo de estudio.
- Se identificaron y analizaron las principales transformaciones en el uso del suelo, determinando las áreas más afectadas por la expansión agrícola, la ganadería, la urbanización y la presencia de especies invasoras.

Estudio Explicativo:

Objetivo: Reconocer por qué ocurren los cambios observados en el ecosistema del páramo.

Actividades:

- Se integraron datos cuantitativos y resultados del análisis espacial con la información cualitativa recolectada en campo.

- Se interpretaron las interacciones entre los cambios en la cobertura vegetal, el uso del suelo y las presiones antrópicas y naturales, explicando sus implicaciones sobre la biodiversidad y la funcionalidad ecológica.

6.2.2. Procedimiento

• Fase 1: Recolección y Preparación de Información

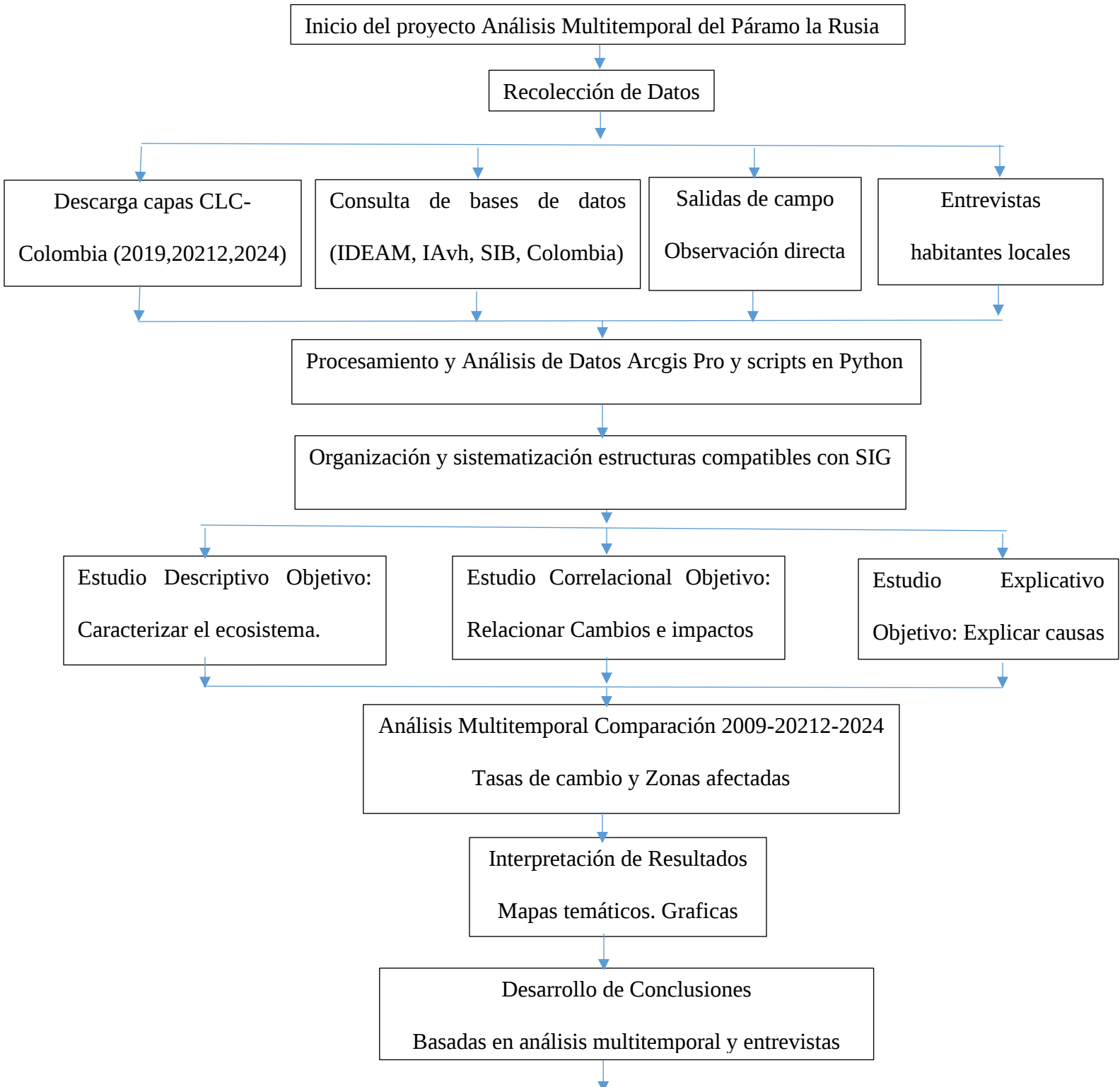
- Recolección de capas vectoriales de cobertura de la tierra (CLC-Colombia) correspondientes a diferentes años (2009, 2012 y 2024) desde el portal del IDEAM.
- Ajuste de la información al área de estudio mediante herramientas SIG (QGIS y ArcGIS Pro).
- Estandarización de categorías temáticas y verificación de consistencia espacial para garantizar precisión en el análisis.

Fase 2: Análisis multitemporal

- Identificación y comparación de las coberturas en los tres periodos de análisis.
- Clasificación de los principales tipos de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo, considerando distintas dinámicas como la expansión agropecuaria, la remoción de cobertura boscosa y otros procesos de transformación identificables mediante análisis multitemporal.
- Cuantificación de superficies afectadas y cálculo de tasas de cambio espacial a través de herramientas estadísticas y geográficas disponibles en ArcGIS Pro.

Fase 3: Integración de resultados

- Análisis combinado de información cuantitativa y cualitativa.
- Elaboración de productos visuales: mapas, gráficas, cuadros.
- Interpretación de los hallazgos en función de los objetivos específicos del estudio.
- Formulación de conclusiones y recomendaciones con base en los resultados obtenidos, enfocadas en la conservación y el manejo sostenible del ecosistema de páramo.
-

Figura 1.*Diagrama de flujo del procedimiento*

Formulación de Recomendaciones

Conservación y gestión del paramo

7. Resultados

El mapa realizado en el cual se muestran los cambios de cobertura vegetal en el Páramo de la Rusia se muestra a continuación:

Figura 2.
Cambios de cobertura

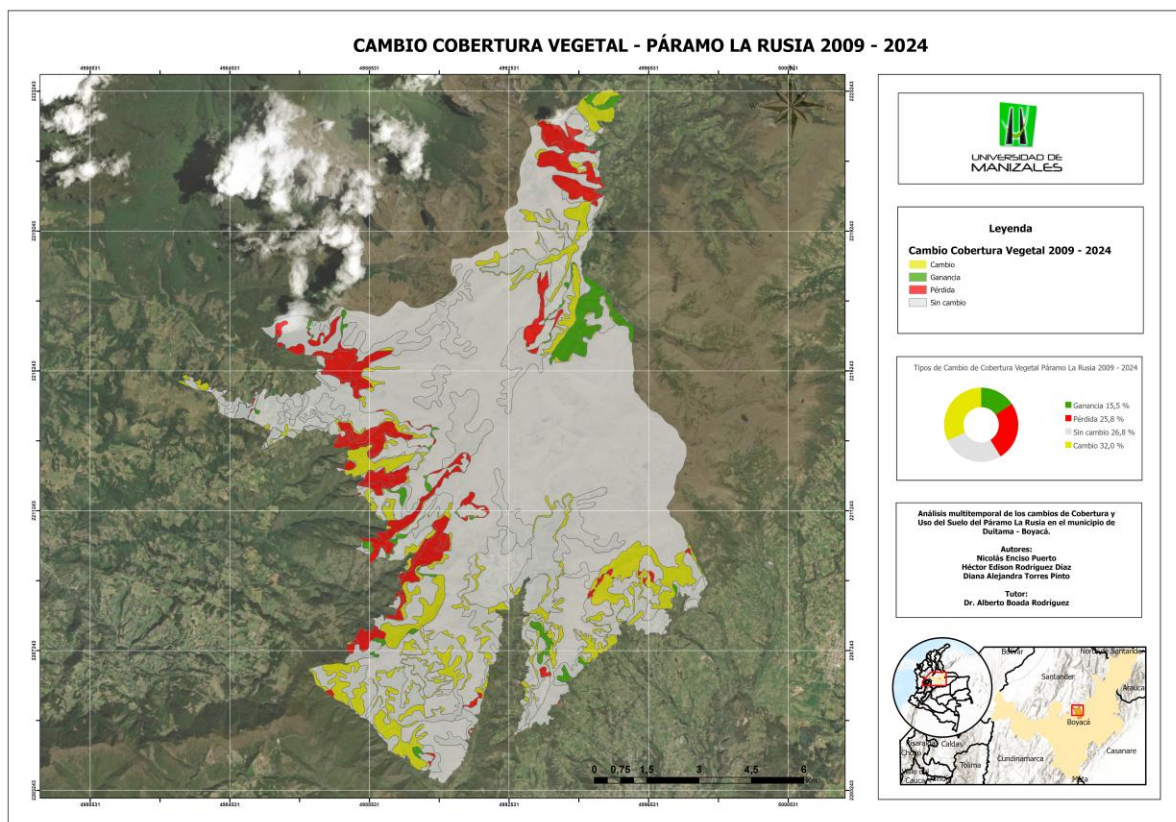


Figura 3.
Cambios de cobertura

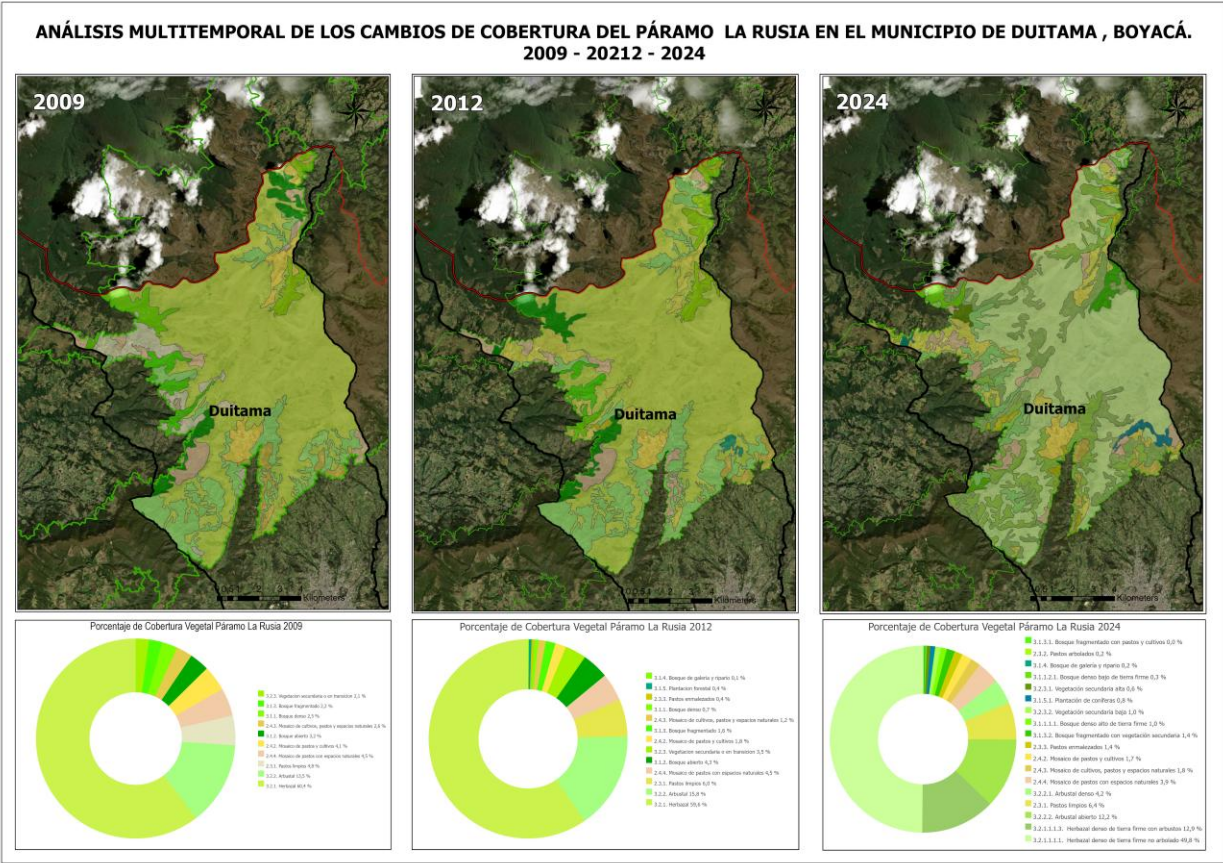


Figura 4.
Cambios de cobertura 2009

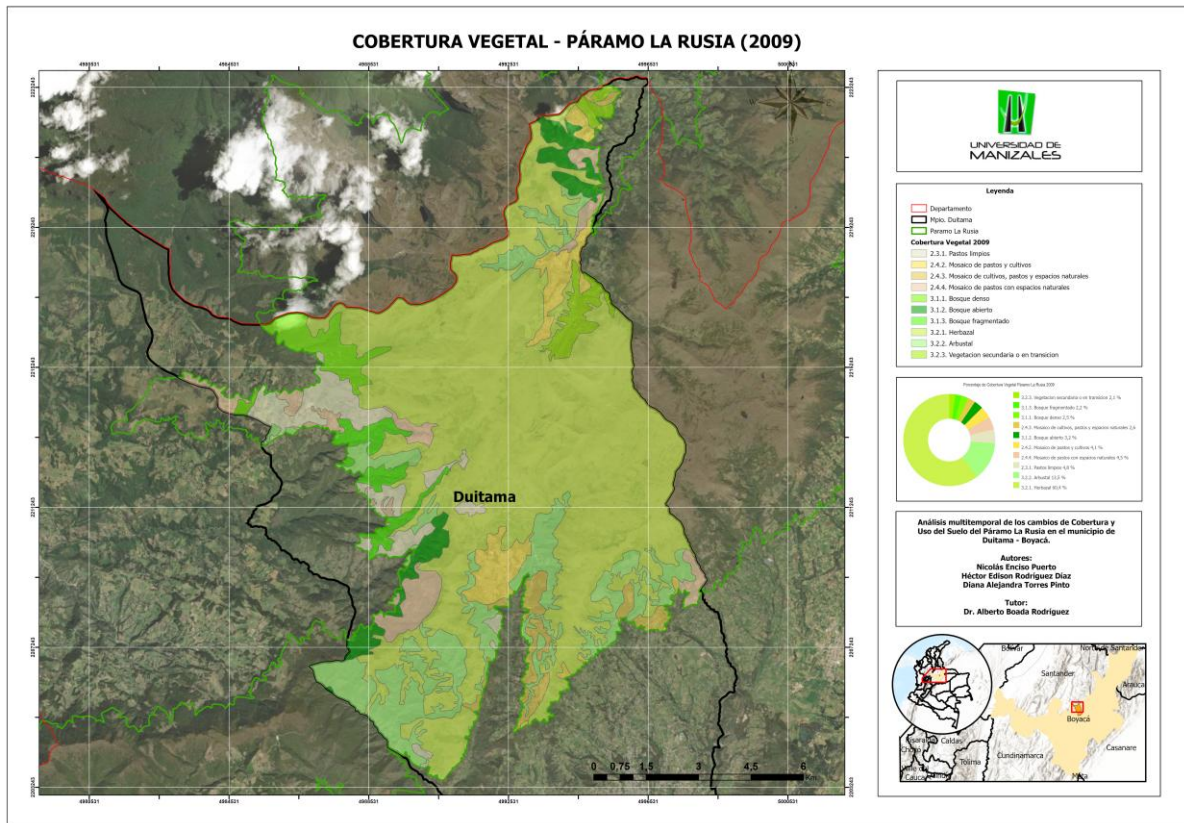


Figura 5.
Cambios de cobertura 2012

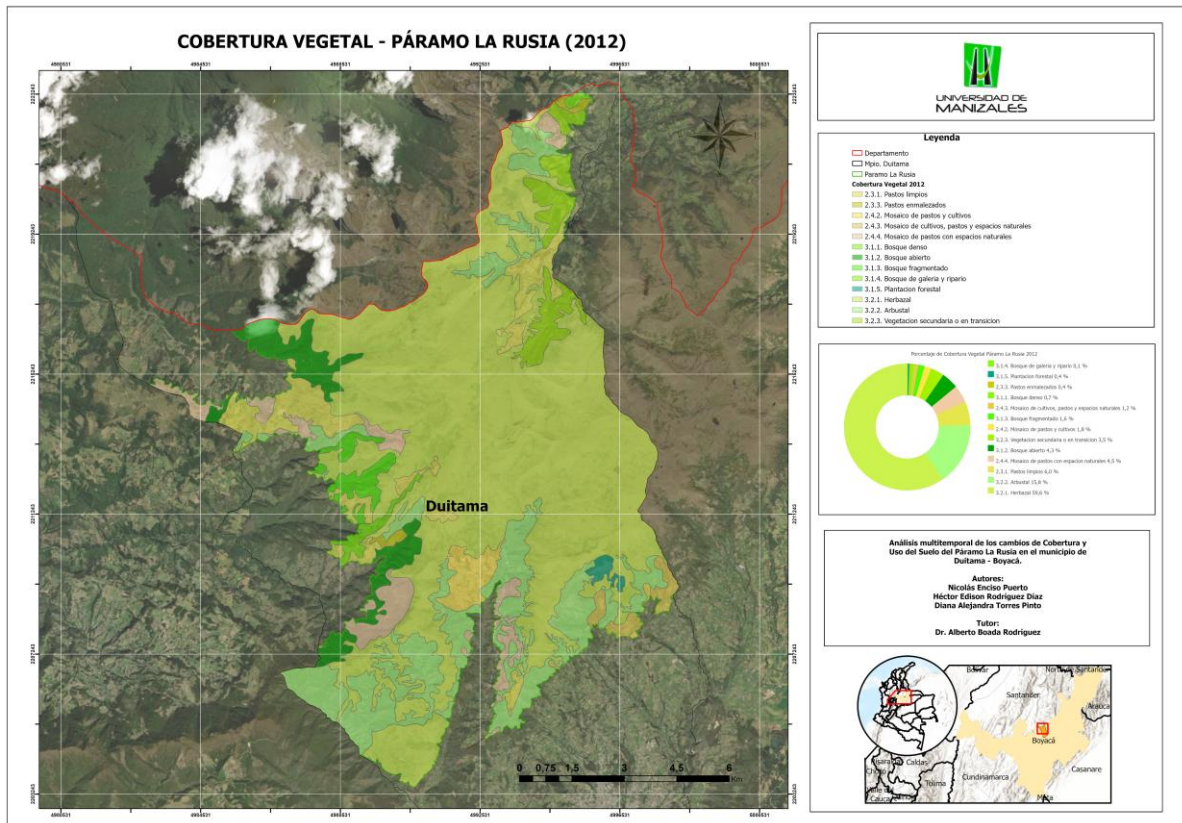
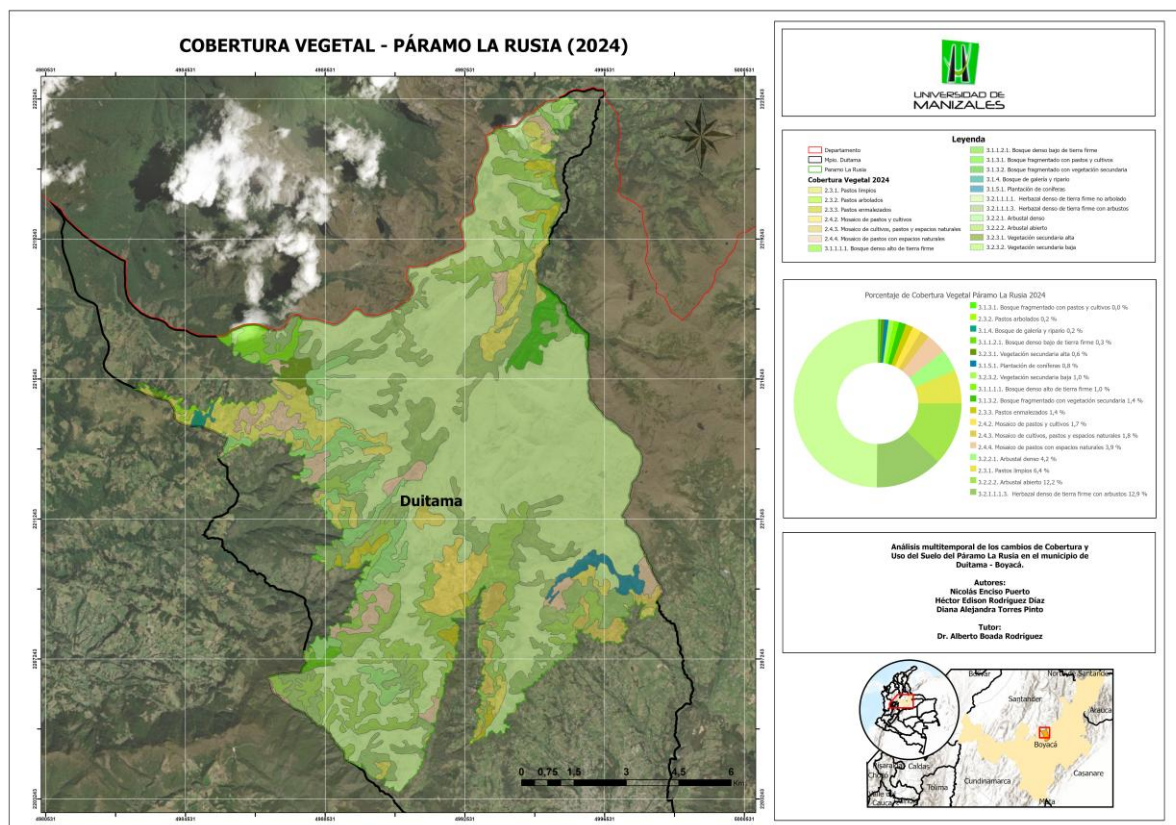


Figura 6.
Cambios de cobertura 2024



El Páramo La Rusia, ubicado en el municipio de Duitama, Boyacá, es una región ecosistémica de alta montaña, clave para la regulación hídrica y la biodiversidad. La transformación del uso del suelo en esta zona refleja dinámicas socioeconómicas, expansión urbana y actividades agropecuarias que afectan directamente los ecosistemas de páramo.

7.1. Análisis Multitemporal De Los Cambios En La Cobertura Vegetal Del Páramo La Rusia Del Municipio De Duitama

Tendencias Generales Observadas

A lo largo del periodo de análisis (2009-2024), se identifican las siguientes tendencias:

- Disminución sostenida de coberturas naturales estructuralmente complejas, como el bosque denso, bosque de galería y bosque fragmentado con vegetación secundaria.
- Transformación de coberturas herbáceas abiertas hacia formas arbustivas o mixtas, lo que sugiere procesos de sucesión secundaria, abandono agropecuario o presión indirecta.

- Incremento en la fragmentación del paisaje, evidenciado por una mayor diversidad de coberturas en 2024, incluyendo categorías de transición y mezclas como "herbazal con arbustos" o "bosques fragmentados con pastos".
- Permanencia de actividades agropecuarias dispersas, con fluctuaciones leves en categorías como mosaicos de cultivos y pastos, pastos limpios, y pastos arbolados o enmalezados.

Cambios potencialmente beneficiosos:

- El aumento de coberturas como herbazales densos con arbustos puede interpretarse como un indicio de regeneración natural o transición hacia etapas más maduras del ecosistema, si no están asociados a especies invasoras o uso ganadero extensivo.
- La reducción leve de pastos limpios y otros usos agropecuarios sugiere una disminución parcial de la presión directa sobre el suelo, lo cual es favorable si se acompaña de procesos de restauración.

Cambios desfavorables:

- La pérdida de coberturas forestales, en especial bosques densos y de galería, representa una clara señal de degradación ecosistémica. Estas coberturas son clave para la captura de carbono, regulación hídrica y conservación de biodiversidad.
- La aparición de múltiples coberturas fragmentadas denota inestabilidad del sistema ecológico, posible avance del borde agropecuario o efectos indirectos del cambio climático (como mayor presión sobre especies vegetales sensibles).

Balance General del Cambio (2009–2024)

Tabla 2. *Balance general Cambio de cobertura*

TIPO DE CAMBIO	EVALUACIÓN
Pérdida de bosques naturales	Grave y regresiva para la conservación
Expansión de coberturas arbustivas y mixtas	Ambigua: puede ser regenerativa o degradativa según contexto
Reducción de pastos limpios	Ligeramente positiva
Aumento de fragmentación y diversidad de coberturas	Negativa para conectividad ecológica

El mapa realizado en el cual se muestran los cambios de uso de suelo en el Páramo La Rusia se muestra a continuación

Figura 7.
Cambios uso de suelo

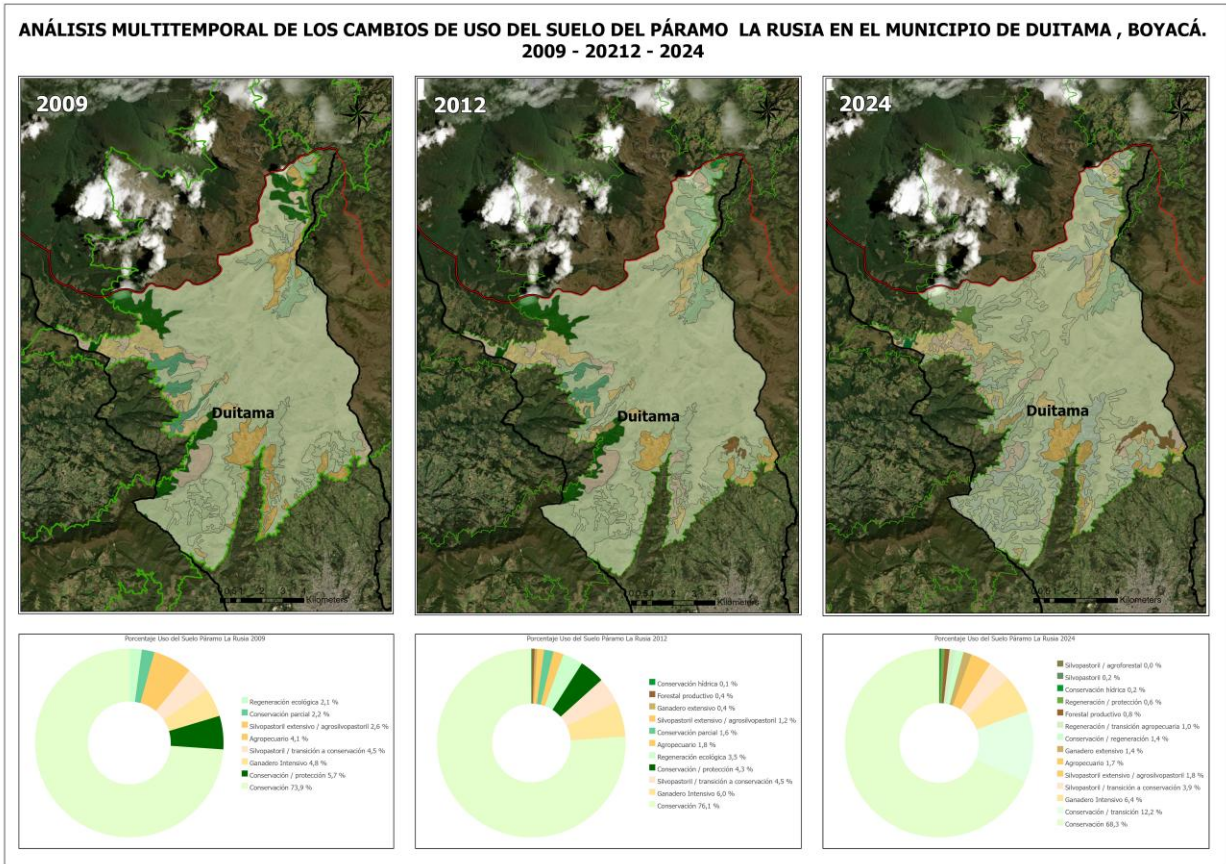


Figura 8.
Cambios uso de suelo 2009

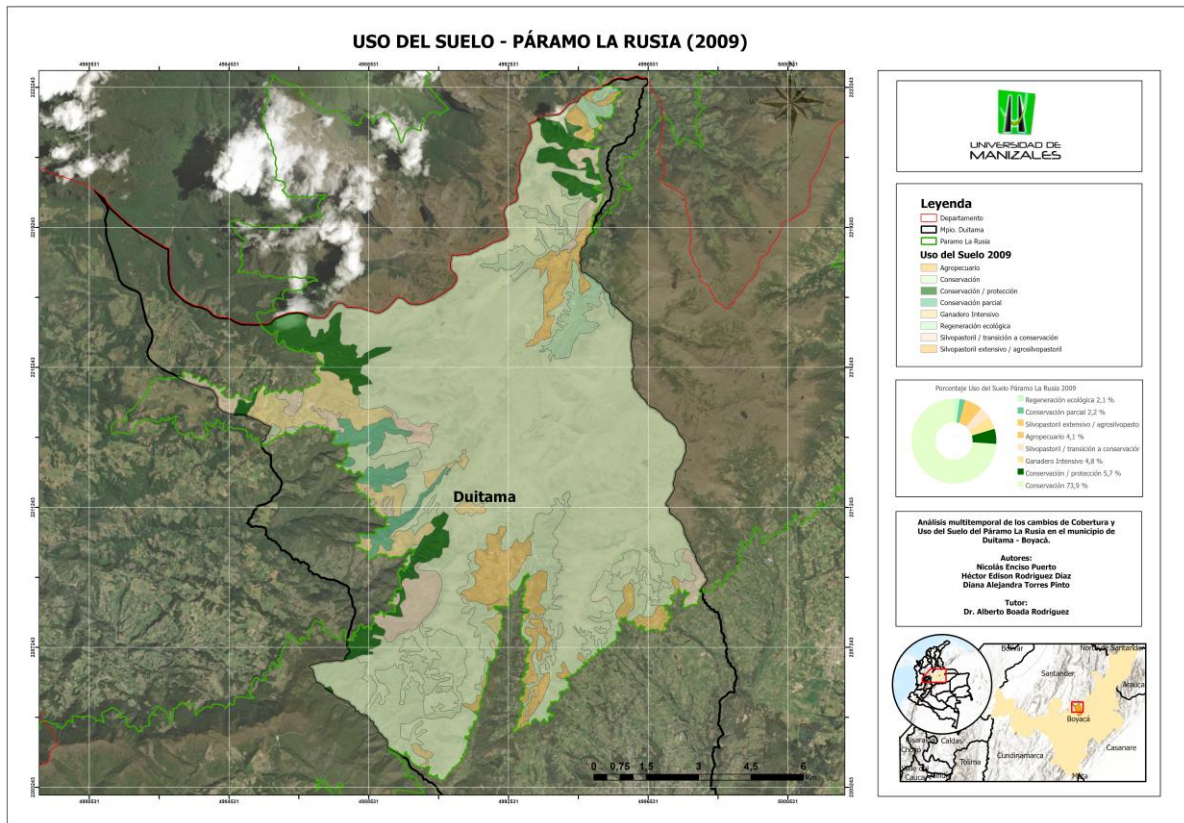


Figura 9.
Cambios uso de suelo 2012

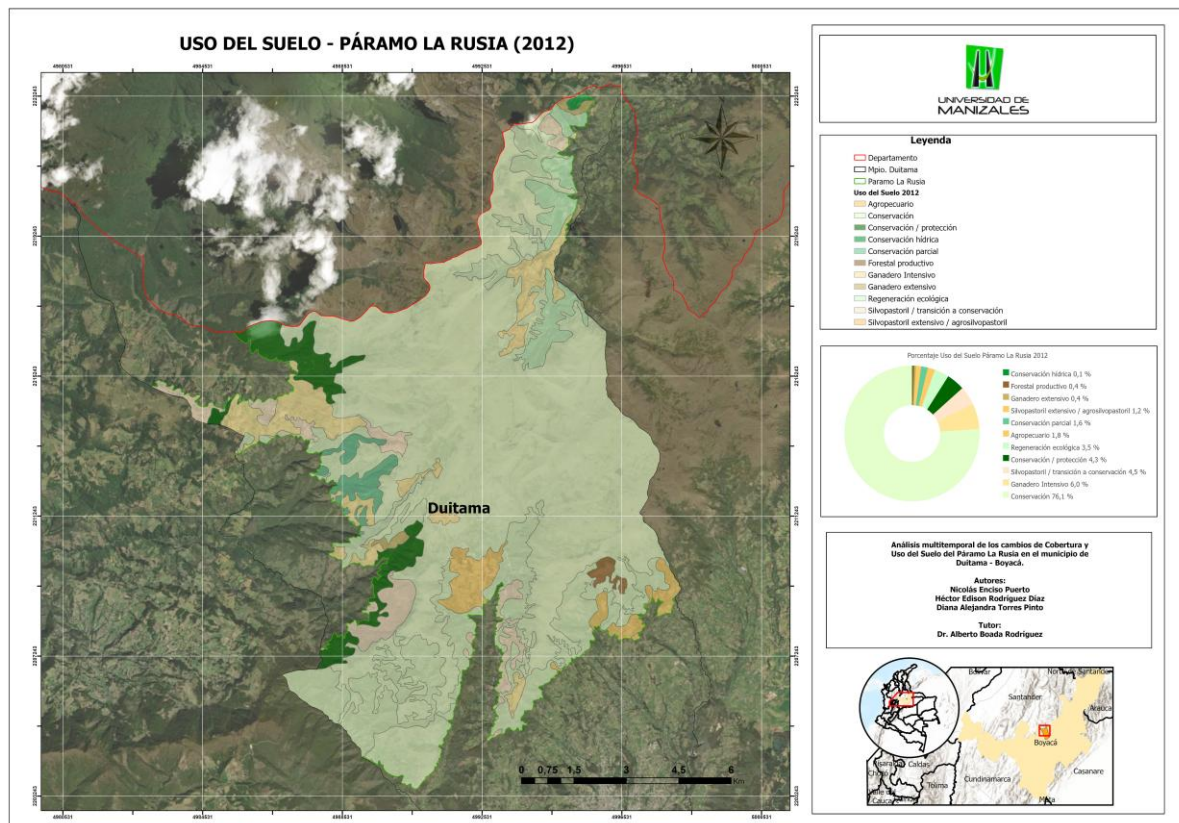
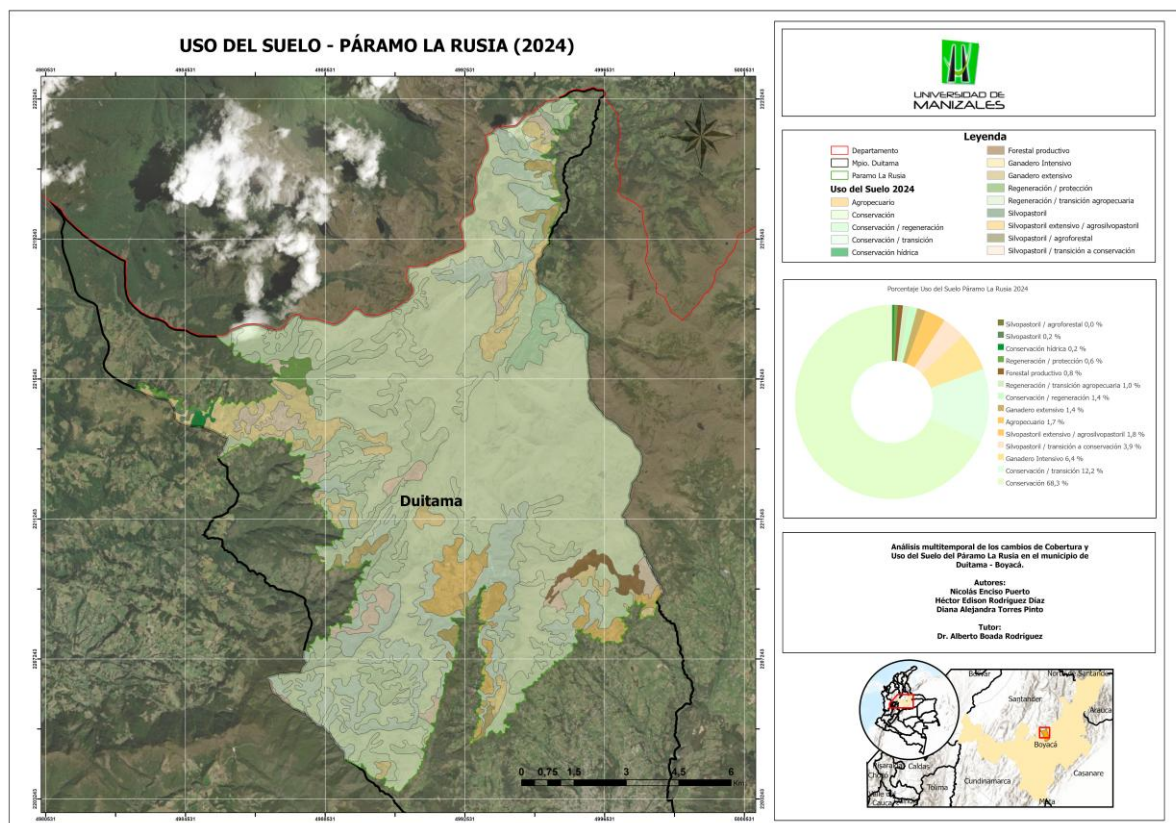


Figura 10.
Cambios uso de suelo 2024



7.2. Análisis Multitemporal De Los Cambios En El Uso Del Suelo Del Páramo La Rusia Del Municipio De Duitama

Páramo La Rusia, ubicado en el municipio de Duitama, Boyacá, cumple funciones ecológicas vitales: regulación hídrica, conservación de biodiversidad y captura de carbono. El análisis multitemporal revela cómo el uso del suelo ha sido transformado progresivamente por actividades humanas.

Tendencias Observadas

A partir del análisis multitemporal del uso del suelo en el Páramo La Rusia, se identifican los siguientes patrones significativos entre los años 2009, 2012 y 2024:

- Dominio sostenido de coberturas orientadas a la conservación, especialmente en las categorías de conservación, protección y regeneración.

- Persistencia de actividades ganaderas, tanto intensivas como extensivas, aunque en proporciones bajas y relativamente estables.
- Disminución del uso agropecuario directo (cultivos y pastos productivos), junto con una diversificación de las categorías de manejo mixto como silvopastoril o transición agroforestal.
- Incremento de las subcategorías de manejo ambiental (como regeneración ecológica, conservación hídrica o transición agropecuaria-conservación), lo que sugiere una mayor complejidad del mosaico de usos.

Comparativo General por Año

2009:

- Uso dominante de suelo orientado a la conservación (73,9%) y en menor medida protección (5,7%).
- Presencia de actividades productivas como ganadería intensiva (4,8%) y agropecuario (4,1%).
- Aparecen formas mixtas de uso como silvopastoril (2,6%) y transición a conservación (4,5%).

2012:

- Aumento de la categoría general de conservación (76,1%), lo cual es positivo.
- Leve aumento de ganadería intensiva (6,0%) y disminución de agropecuario (1,8%), lo que indica un leve reordenamiento de la presión productiva.
- Aparecen nuevas subcategorías como conservación hídrica, ganadero extensivo y forestal productivo, aunque con porcentajes mínimos.

2024:

- La categoría de conservación (68,3%) disminuye levemente respecto a 2012.
- Aumenta significativamente la categoría de conservación / regeneración (12,2%), lo cual sugiere que parte del suelo está siendo recuperado de manera activa o pasiva.
- Las actividades agropecuarias (intensiva, extensiva, silvopastoril) se mantienen estables pero diversificadas.

- Se identifican nuevas prácticas como regeneración / transición agropecuaria, que indican procesos híbridos de recuperación ambiental desde usos productivos.

A partir del análisis multitemporal realizado en el Páramo La Rusia para los años 2009, 2012 y 2024, se presentan a continuación dos tablas que permiten observar de manera comparativa la evolución tanto de la cobertura vegetal como del uso del suelo en el territorio. Estas tablas permiten identificar las principales transformaciones en la ocupación del suelo, reflejando cambios significativos en las dinámicas de conservación, producción y transición ecológica.

La Tabla 3 muestra la variación en las coberturas, donde se evidencian tendencias como el aumento de áreas asociadas a vegetación secundaria, regeneración y conservación, así como una reorganización en las coberturas relacionadas con pastos y usos agropecuarios. Por su parte, la Tabla 4 detalla los usos del suelo, destacando la persistencia de actividades ganaderas en baja proporción, el crecimiento de modelos mixtos como el silvopastoril, y el avance de prácticas orientadas a la restauración ecológica.

La ausencia de información en ciertas celdas de las Tablas 3 y 4 se debe a que, para el año 2009, la clasificación de coberturas vegetales utilizada por el IDEAM a través de la metodología CORINE Land Cover (CLC-Colombia) era menos detallada en comparación con las versiones posteriores de 2012 y 2024. En ese primer periodo, las categorías se manejaban a un nivel más general, lo que impedía discriminar coberturas específicas como herbazales densos con arbustos o bosques fragmentados con vegetación secundaria. Por esta razón, algunas clases de cobertura aparecen sin datos para 2009, mientras que en los años siguientes sí se registran gracias al refinamiento de la clasificación y a la mayor precisión en la cartografía generada.

Como se observa en ambas tablas, el paisaje del páramo ha evolucionado hacia una mayor diversidad de usos con enfoque ambiental, reflejando procesos de recuperación y adaptación en el manejo del territorio.

Tabla 3.
Cobertura.

COBERTURA	2009		2012		2024		DIFERENCIA	
	Área en Ha	Área en %	Área en Ha	Área en %	Área en Ha	Área en %	Área en Ha	Área en %
2.3.1. Pastos limpios	587,60	4,83	734,51	6,03	785,27	6,45	197,66	1,62
2.3.2. Pastos arbolados	-	-	-	-	18,52	0,15	18,52	0,15
2.3.3. Pastos enmalezados	-	-	52,23	0,43	171,00	1,40	118,77	0,98
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	500,97	4,11	214,47	1,76	211,53	1,74	- 289,44	- 2,38
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	317,15	2,60	146,30	1,20	213,56	1,75	- 103,59	- 0,85
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	549,18	4,51	549,92	4,52	478,69	3,93	- 70,49	- 0,58
3.1.1. Bosque denso	309,78	2,54	82,28	0,68	159,93	1,31	- 149,85	- 1,23
3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme	-	-	-	-	123,67	1,02		
3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme	-	-	-	-	36,26	0,30		
3.1.2. Bosque abierto	389,58	3,20	528,67	4,34	-	-	139,09	1,14
3.1.3. Bosque fragmentado	262,00	2,15	193,42	1,59	173,26	1,42	- 88,75	- 0,73
3.1.3.1. Bosque fragmentado con pastos y cultivos	-	-	-	-	3,54	0,03		
3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetación secundaria	-	-	-	-	169,72	1,39		
3.1.4. Bosque de galería y ripario	-	-	17,77	0,15	21,48	0,18	3,71	0,03
3.1.5. Plantación forestal	-	-	50,93	0,42	102,30	0,84	51,36	0,42
3.1.5.1. Plantación de coníferas	-	-	-	-	102,30	0,84		
3.2.1. Herbazal	7.348,30	60,36	7.259,76	59,63	7.643,79	62,78	295,49	2,43
3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	-	-	-	-	6.069,22	49,85		
3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos	-	-	-	-	1.574,58	12,93		
3.2.2. Arbustal	1.649,61	13,55	1.922,32	15,79	1.999,20	16,42	349,59	2,87
3.2.2.1. Arbustal denso	-	-	-	-	515,13	4,23		
3.2.2.2. Arbustal abierto	-	-	-	-	1.484,07	12,19		
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	260,86	2,14	422,45	3,47	-	-	- 260,86	- 2,14

Tabla 4.
Uso de Suelo.

USO DEL SUELO	2009		2012		2024		DIFERENCIA	
	Área en Ha	Área en %	Área en Ha	Área en %	Área en Ha	Área en %	Área en Ha	Área en %
Ganadero intensivo	587,60	4,83	734,51	6,03	785,27	6,45	197,66	1,62
Silvopastoril	-	-	-	-	18,52	0,15	18,52	0,15
Ganadero extensivo	-	-	52,23	0,43	171,00	1,40	118,77	0,98
Agropecuuario	500,97	4,11	214,47	1,76	211,53	1,74	- 289,44	- 2,38
Silvopastoril extensivo / agrosilvopastoril	317,15	2,60	146,30	1,20	213,56	1,75	- 103,59	- 0,85
Silvopastoril / transición a conservación	549,18	4,51	549,92	4,52	478,69	3,93	- 70,49	- 0,58
Conservación	9.307,69	76,45	9.264,36	76,09	9.802,92	80,52	495,23	4,07
Conservación	309,78	2,54	82,28	0,68	159,93	1,31	- 149,85	- 1,23
3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme	-	-	-	-	123,67	1,02		
3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme	-	-	-	-	36,26	0,30		
Conservación / protección	389,58	3,20	528,67	4,34	-	-	139,09	1,14
Conservación parcial	262,00	2,15	193,42	1,59	173,26	1,42	- 88,75	- 0,73
3.1.3.1. Bosque fragmentado con pastos y cultivos	-	-	-	-	3,54	0,03		
3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetación secundaria	-	-	-	-	169,72	1,39		
Conservación hídrica	-	-	17,77	0,15	21,48	0,18	3,71	0,03
Forestal productivo	-	-	50,93	0,42	102,30	0,84	51,36	0,42
3.1.5.1. Plantación de coníferas	-	-	-	-	102,30	0,84		
Conservación	7.348,30	60,36	7.259,76	59,63	7.643,79	62,78	295,49	2,43
3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	-	-	-	-	6.069,22	49,85		
3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos	-	-	-	-	1.574,58	12,93		
Conservación	1.649,61	13,55	1.922,32	15,79	1.999,20	16,42	349,59	2,87
3.2.2.1. Arbustal denso	-	-	-	-	515,13	4,23		
3.2.2.2. Arbustal abierto	-	-	-	-	1.484,07	12,19		
Regeneración ecológica	260,86	2,14	422,45	3,47	-	-	- 260,86	- 2,14

- **Balance General del Cambio (2009–2024)**

Tabla 5.*Balance general Cambio de cobertura*

Tipo de uso	Tendencia	Evaluación
Conservación	Estable – leve reducción	Positiva, aunque se requiere mantener y fortalecer
Actividades agropecuarias	Estables – con diversificación	Moderadamente negativas si no se regulan
Regeneración ecológica	En aumento	Muy positiva
Usos mixtos (silvopastoril, transición)	En aumento	Ambigua – depende del manejo

Con el fin de conocer la percepción de los habitantes locales sobre los cambios ambientales en el Páramo de La Rusia, se aplicó una encuesta a 10 personas residentes de la zona. Las preguntas estuvieron enfocadas en aspectos como cobertura vegetal, uso del suelo, avistamientos de fauna y propuestas de conservación.

Se encuestaron 10 personas, la mayoría con más de 10 años de residencia en la zona, lo que permite contar con una visión informada y cercana sobre los cambios ambientales a lo largo del tiempo. A continuación, se presentan las gráficas y evidencias con los resultados obtenidos:

Figura 11.

Evidencia de encuesta realizada



Figura 12.

Evidencia de encuesta realizada



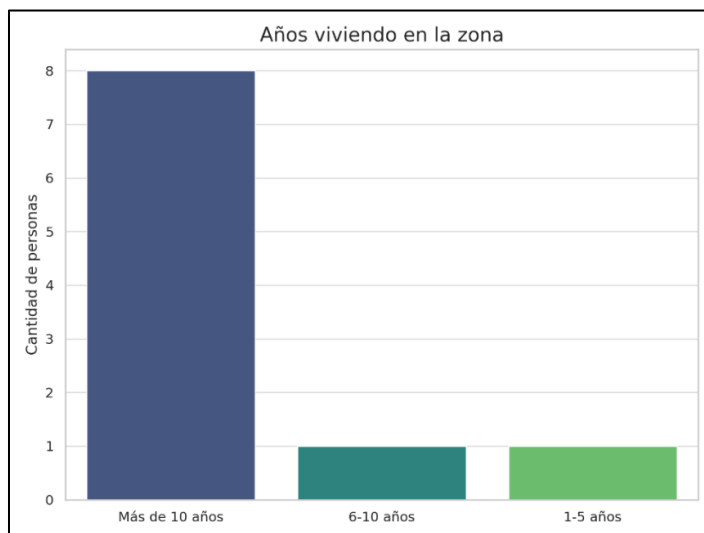
Figura 13.*Evidencia de encuesta realizada*

Encuesta sobre el Páramo de La Rusia

1. ¿Es usted de la región?
 - Si ☒
 - No ☐
2. ¿Cuánto tiempo lleva viviendo en esta zona?
 - Menos de 1 año ☐
 - 1-5 años ☐
 - 6-10 años ☐
 - Más de 10 años ☒
3. ¿Qué cambios ha notado en la cobertura vegetal del Páramo de La Rusia en los últimos años?
 - Aumento de la vegetación ☐
 - Disminución de la vegetación ☒
 - Cambio en las especies vegetales ☒
 - Ningún cambio notable ☐
4. ¿Qué tipo de uso del suelo ha observado en la región?
 - Agricultura ☒
 - Ganadería ☒
 - Urbanización ☐
 - Conservación ☐
 - Otro (especificar):
5. ¿Ha notado algún cambio en los usos del suelo en los últimos años?
 - Si ☒
 - No ☐
 - Si respondió "Sí", por favor especifique:
6. ¿Qué animales de la zona conoce?
 - Venados ☒
 - Osos ☒
 - Zorros ☐
 - Aves (especificar):
 - Otro (especificar):
7. ¿Hace cuánto tiempo que no ve estos animales en la zona?
 - Menos de 1 año ☐
 - 1-3 años ☒
 - 4-6 años ☐
 - Más de 6 años ☐
 - Nunca los he visto ☐
8. ¿Cómo considera que el cambio en la cobertura vegetal ha afectado la fauna local?
 - Muy positivamente ☐
 - Positivamente ☐
 - Neutro ☐
 - Negativamente ☒
 - Muy negativamente ☐
9. ¿Qué acciones cree que deberían tomarse para conservar el Páramo de La Rusia?
 - Proteger áreas de conservación ☒
 - Promover la educación ambiental ☒
 - Regular el uso del suelo ☒
 - Fomentar prácticas agrícolas sostenibles ☒
 - Otro (especificar):
10. ¿Tiene algún comentario adicional sobre el Páramo de La Rusia y su conservación?

Figura 14.

Gráfica resultados encuesta años vividos en la zona

**Figura 15.**

Gráfica resultados cobertura vegetal

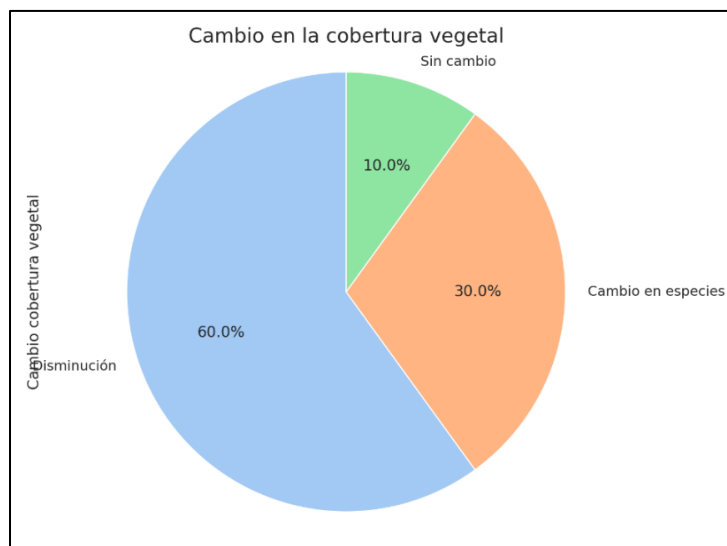


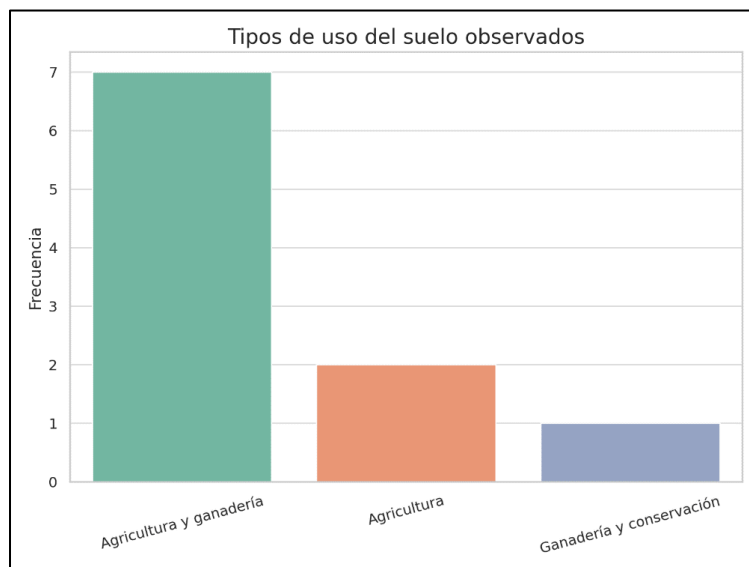
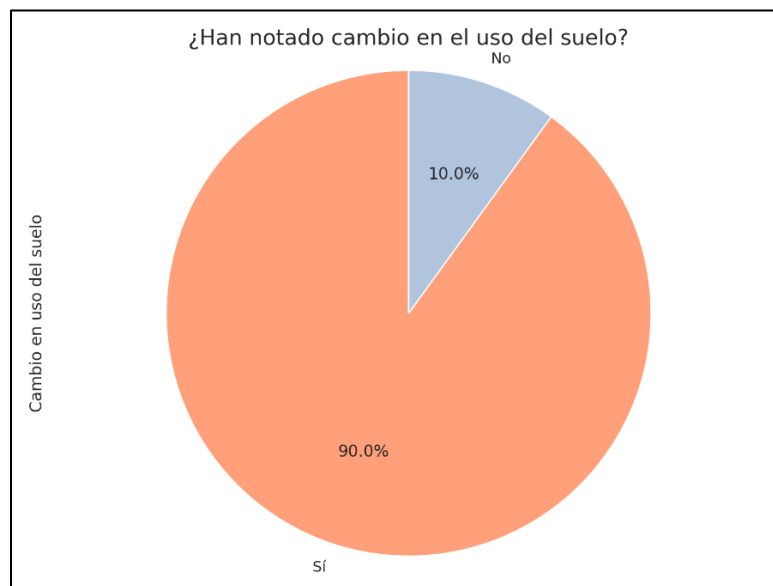
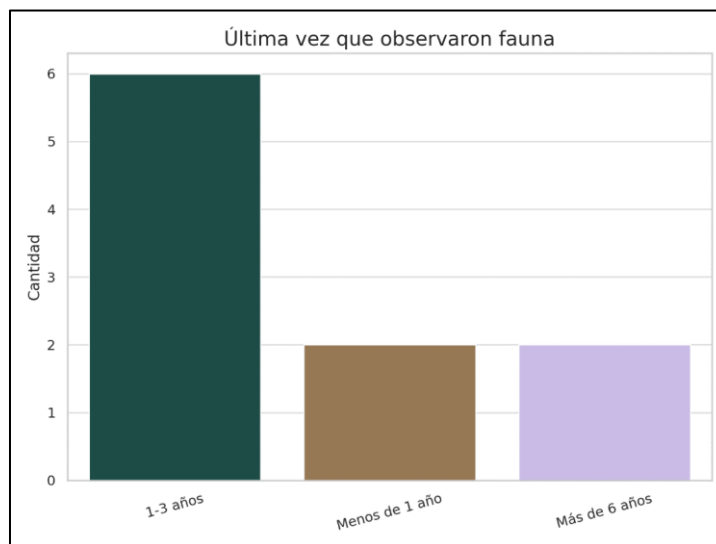
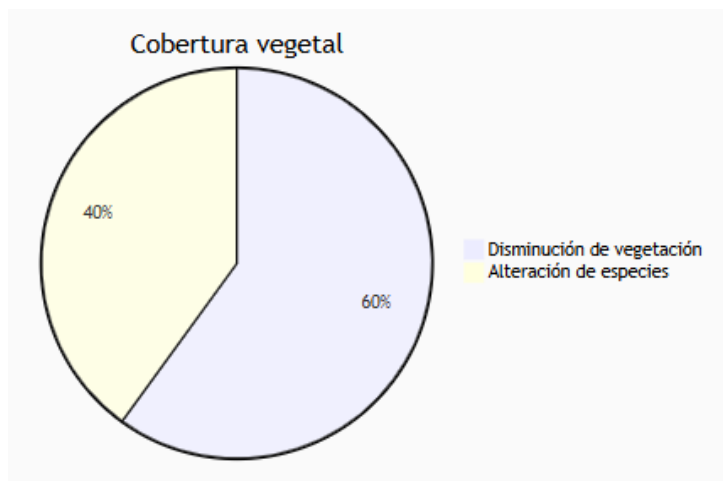
Figura 16.*Gráfica resultados uso de suelo***Figura 17.***Gráfica resultados cambios en el uso de suelo*

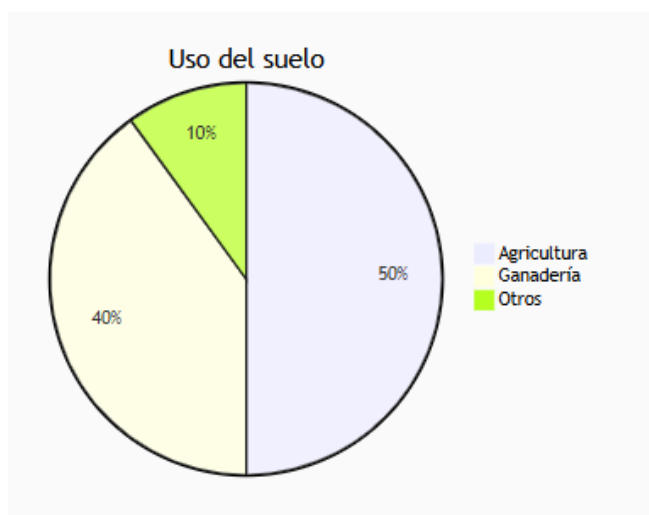
Figura 18.*Gráfica resultados fauna*

Como resultado de la encuesta se evidencio que han existido cambios negativos en la cobertura vegetal del Páramo de La Rusia. Los habitantes locales han observado una disminución de la vegetación nativa y alteraciones en las especies presentes. La mayoría de los encuestados llevan más de una década viviendo en la zona, lo que respalda la validez de sus observaciones.

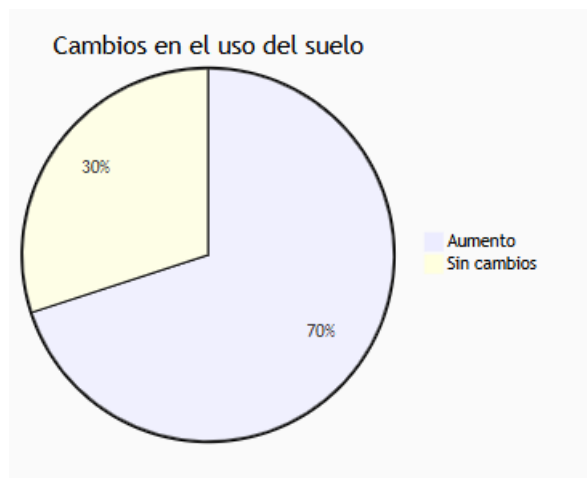
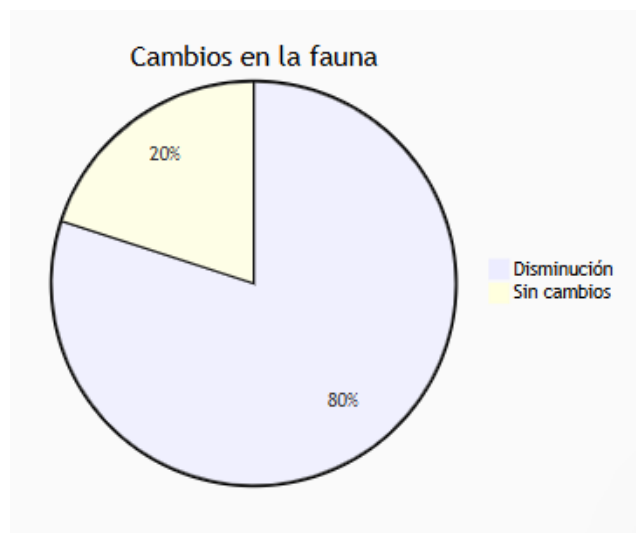
A continuación se muestran algunas graficas que evidencian las respuestas de los encuestados y así mostrar la percepción social.

Figura 19.*Gráfica cobertura vegetal*

La agricultura y la ganadería siguen siendo los principales usos del suelo en el Páramo de La Rusia, con un incremento notado en los últimos años

Figura 20.*Gráfica uso del suelo*

Adicionalmente, los encuestados han percibido cambios significativos en el uso del suelo, con una expansión de las actividades agropecuarias.

Figura 21.*Gráfica uso del suelo***Figura 22.***Gráfica cambios en la fauna*

La fauna local ha disminuido en frecuencia de avistamiento, lo que los encuestados asocian con los cambios en el ecosistema. La mayoría de los habitantes considera que el impacto sobre la fauna ha sido principalmente negativo.

En conclusión, la información recopilada a través de la encuesta realizada a los habitantes locales evidenció cambios significativos en la cobertura vegetal, el uso del suelo y la fauna del Páramo de La Rusia, lo cual respalda la necesidad de implementar estrategias de conservación y manejo sostenible de este ecosistema estratégico.

7. Discusión

El análisis multitemporal de la cobertura vegetal y el uso del suelo en el Páramo La Rusia entre 2009 y 2024 permitió dar respuesta a la pregunta de investigación sobre cómo han cambiado las dinámicas territoriales de este ecosistema estratégico. Los resultados evidenciaron una reducción progresiva de la cobertura boscosa y un aumento en áreas destinadas a herbazales y sistemas agropecuarios, lo cual confirma la hipótesis planteada de que la presión antrópica y las variaciones ambientales han transformado de manera significativa la estructura ecológica del páramo.

Estos hallazgos coinciden con lo señalado por Moreno Ortega et al. (2022), quienes destacan la expansión de la frontera agrícola y ganadera como principal factor de presión sobre los páramos colombianos. En el caso de La Rusia, la presencia de sistemas silvopastoriles y prácticas agropecuarias en transición demostró que, aunque los cambios son moderados en extensión, tienen implicaciones directas sobre la fragmentación del hábitat y la pérdida de conectividad ecológica, elementos ya advertidos en estudios de Valencia Torres & Sandoval Quintero (2021).

Asimismo, la reducción en la cobertura vegetal densa repercutió en la eficiencia del páramo en la regulación hídrica, confirmando lo planteado en investigaciones previas sobre la vulnerabilidad de estos ecosistemas frente a la pérdida de cobertura natural (Gómez Restrepo et al., 2019). Esto refuerza la necesidad de fortalecer acciones de restauración ambiental y de recuperar el equilibrio hídrico, como base para garantizar los servicios ecosistémicos que abastecen al municipio de Duitama.

Otro aspecto relevante fue la identificación de celdas sin información en la clasificación de 2009, debido a que la metodología Corine Land Cover (IDEAM) utilizada en ese año era menos detallada que en 2012 y 2024. Esto no solo limitó la precisión comparativa, sino que también revela la importancia de avanzar hacia metodologías más consistentes y de mayor resolución temporal, como lo sugieren Pinto & Ramírez (2023).

En cuanto al componente social, las entrevistas realizadas evidenciaron la percepción de los habitantes sobre la intensificación del uso productivo, lo que complementa y valida los

resultados espaciales. Tal integración entre información técnica y social concuerda con la propuesta de Vargas & Jiménez (2024), quienes resaltan que las comunidades locales son actores clave para la gobernanza ambiental de los páramos.

En síntesis, la discusión de los resultados confirma que la dinámica de cambio en el Páramo La Rusia responde principalmente a la interacción de factores antrópicos (agricultura, ganadería, urbanización) y naturales (variaciones climáticas asociadas a fenómenos como El Niño y La Niña). Esto demuestra la urgencia de implementar planes de monitoreo constante, apoyados en herramientas SIG e imágenes satelitales, que permitan anticipar nuevas transformaciones y orientar estrategias de conservación y manejo sostenible.

8. Conclusiones

- El análisis del uso del suelo en el Páramo La Rusia entre 2009 y 2024 muestra que, si bien predomina un enfoque de conservación, existen sectores donde se han intensificado los usos productivos. Esto indica una transformación progresiva del paisaje que debe ser monitoreada para evitar desequilibrios ecológicos. Dicho monitoreo debe realizarse de manera constante y apoyarse en herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), análisis multitemporal de imágenes satelitales y otras técnicas de teledetección que permitan un seguimiento detallado y preciso de las dinámicas territoriales.
- La expansión de prácticas como el silvopastoril y los sistemas agropecuarios en transición ha generado una reorganización funcional del territorio. Estos cambios, aunque moderados, se expresan en la fragmentación de coberturas naturales, la reducción de áreas de bosque denso y la conversión de suelos hacia pastos y cultivos, lo que modifica los patrones de ocupación del suelo. Frente a estas transformaciones, se requiere la implementación y fortalecimiento de regulaciones orientadas al uso sostenible del páramo, tales como el control de la frontera agropecuaria, la delimitación efectiva de áreas de conservación y la promoción de prácticas productivas compatibles con la protección del ecosistema.
- La pérdida de coberturas vegetales boscosas, junto con el avance de formaciones arbustivas y zonas fragmentadas, ha reducido la continuidad de los hábitats naturales. Esta situación afecta la movilidad de las especies y disminuye la capacidad del ecosistema para mantener procesos ecológicos esenciales.
- Los cambios en la cobertura vegetal han disminuido la eficiencia del páramo en la regulación hídrica, la protección del suelo y la conservación de la biodiversidad. Estas alteraciones incrementan la vulnerabilidad del ecosistema frente a presiones externas y resaltan la necesidad de acciones de restauración ambiental. En este sentido, se hace indispensable avanzar en estrategias que permitan recuperar el equilibrio hídrico del páramo, garantizando la regulación natural del agua y la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos asociados.
- El enfoque multitemporal permitió evidenciar dinámicas contrastantes en el páramo: algunas áreas han mostrado procesos de regeneración, mientras que otras reflejan un deterioro progresivo. Este tipo de análisis es útil para orientar intervenciones diferenciadas según el estado de conservación de cada zona.

- La información obtenida a partir del análisis espacial constituye una base fundamental para orientar el ordenamiento ambiental del territorio. Los resultados no solo permiten establecer prioridades de conservación e identificar zonas críticas para restauración, sino que además sirven como insumo para implementar estrategias de monitoreo permanente. Dicho monitoreo puede consolidarse en planes piloto o programas integrales de seguimiento, enfocados en la mitigación de impactos y en la recuperación gradual del equilibrio ecológico del páramo.

9.Recomendaciones

- Se propone un monitoreo y control de la expansión de coberturas fragmentadas, ya que su proliferación puede ser síntoma de degradación lenta por sobrepastoreo, especies invasoras o intervención humana informal.
- Se requiere restauración activa de bosques de galería y relictos de bosque denso, especialmente en áreas donde haya pérdida confirmada entre 2009 y 2024. Esto es clave para recuperar la funcionalidad ecológica del páramo.
- Se deberían promover esquemas de ganadería extensiva sostenible o reconversión productiva, orientando a las comunidades hacia prácticas menos agresivas con el ecosistema.
- La implementación de corredores ecológicos pueden ser potencial positivo, para el manejo de la conexión de los parches de vegetación natural aún existentes, para reducir los efectos de la fragmentación.
- Se debe mejorar el fortalecimiento de los procesos de educación ambiental con actores locales, especialmente en zonas donde las coberturas agropecuarias persisten.
- Usar análisis multitemporales como el presentado en este proyecto, sirve como herramienta base de ordenamiento territorial ambiental, reforzando la vigilancia del Instituto Alexander von Humboldt, las CAR y las entidades locales.
- Consolidar e incrementar las áreas bajo conservación activa mediante figuras legales y comunitarias de protección, al tiempo que se implementan planes de manejo para los usos productivos mixtos. De esta forma, prácticas como el silvopastoreo, la ganadería extensiva y otras actividades agropecuarias podrán desarrollarse bajo criterios ecológicos que garanticen la restauración ambiental y la sostenibilidad del páramo.
- Monitorear y controlar la expansión de la frontera agropecuaria, especialmente en zonas que muestran procesos de regeneración pasiva.
- Promover la regeneración ecológica dirigida en áreas estratégicas, como las zonas de conectividad y amortiguamiento de cuerpos hídricos, fortaleciendo simultáneamente la gobernanza ambiental local mediante la integración de actores comunitarios,

institucionales y académicos, con el fin de garantizar la sostenibilidad del territorio y del ecosistema de páramo.

10. Referencias

- Sarmiento, C., Cadena, M., Sarmiento, M., Zapata, J., & León, O. (2018). Aportes a la conservación estratégica de los páramos de Colombia: Actualización de la cartografía de los complejos de páramo a escala 1:100.000. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*, 21.
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2016). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79(1-2), 53-72
- Llambí, L. D., Sarmiento, L., Rodríguez, J. M., Azócar, A., Cabrera, E., & Cesarino, F. (2020). Patrones y procesos ecológicos en los páramos: Vulnerabilidad y adaptación ecológica de los páramos y la vegetación alto andina ante el cambio climático. *CONICIT-CYTED*.
- Eastman, J. R. (2016). *IDRISI Selva manual*. Clark University, 322.
- Vargas, O., & Pedraza, P. (2019). Retamo espinoso (*Ulex europaeus* L.): una amenaza para los páramos colombianos. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35(137), 535-548.
- Garavito Laura, Los páramos en Colombia, un ecosistema en riesgo, 2015, 128.
- Etter, A., McAlpine, C., & Possingham, H. (2016). *Historical patterns and drivers of landscape change in Colombia since 1500: a regionalized spatial approach*. *Annals of the Association of American Geographers*, 98(1), 2-23.
- Moreno Ortega, J. D., Vargas Ríos, J. J., & Andrade, G. I. (2022). Páramos colombianos: Conservación y uso sostenible. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 46(178), 1-18
- Vargas, O., & Pedraza, P. (2019). Retamo espinoso (*Ulex europaeus* L.): una amenaza para los páramos colombianos. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35(137), 535-548.
- Cacabelos, F., & Vargas, L. (2020). Análisis sobre los efectos de actividades humanas y fenómenos naturales en el Páramo de La Rusia. *Revista de Ecología Aplicada*, 15(2), 123-145.
- Gómez Restrepo, J., Quiroga, A., & Mesa, J. (2019). Importancia de los páramos en la conservación de la biodiversidad y regulación hídrica en Colombia.

- Leal Esper, A. (2021). Impactos del cambio climático y del uso de agroquímicos en los ecosistemas de páramo.
- Moreno Ortega, S., Rodríguez, M., & Luna, P. (2022). Evaluación de la expansión agrícola y urbanística en páramos colombianos y su impacto en la cobertura vegetal.
- Quiñones, C., & Arango, T. (2021). Estrategias de conservación en páramos utilizando sistemas de información geográfica.
- Turga Martínez, V., Caballero, J., & Rosales, H. (2023). Impacto de las especies invasoras en la biodiversidad de los páramos colombianos.
- Pinto, A., & Ramírez, C. (2023). Monitoreo multitemporal de cubierta vegetal en páramos andinos: caso Boyacá. *Revista de Teledetección*, 10(2), 78–96.
- Rodríguez, L., Gómez, R., & Sánchez, P. (2022). Teledetección aplicada al cambio de uso del suelo en páramos colombianos 2000–2020. *Revista SIG y Espacio*, 12(4), 55–74.
- Vargas, M., & Jiménez, E. (2024). Percepción comunitaria y cambio de uso del suelo en páramos de Duitama. *Revista de Gestión Ambiental*, 11(1), 34–51.
- Santander, J. et al. (2023). Modelos de escenario futuro de cambio de cobertura en páramos de Boyacá. *Revista Andina de Ciencias Ambientales*, 9(3), 101–120.
- Restrepo, P., & Gómez, T. (2024). Fragmentación de hábitats y pérdida de biodiversidad en ecosistemas de páramo. *Biodiversidad y Conservación*, 22(2), 67–85.
- Hurtado, F. (2021). Evaluación de la pérdida de vegetación nativa en páramos colombianos. *Revista de Ecología*, 16(1), 14–29.
- Sánchez, J., & Márquez, D. (2020). Cambio climático y retroceso de la frontera agrícola en zonas altoandinas. *Revista Climatología*, 7(2), 205–223.
- Pérez, G., & Londoño, M. (2022). Restauración ecológica del páramo: estrategias y resultados en Colombia. *Journal de Restauración Ecológica*, 5(1), 88–104.
- Castro, N., & Herrera, A. (2023). Determinantes del cambio de uso del suelo en páramos: elevación, accesibilidad y actividades humanas. *Revista de Geografía*, 13(2), 47–66.
- Céspedes, S., & Morales, V. (2024). Pagos por servicios ambientales en páramos de Cundinamarca: lecciones para Boyacá. *Revista de Políticas Ambientales*, 7(4), 91–110.

- Lis-Gutiérrez, M.*, Lis-Gutiérrez, J. P., Jiménez-Parra, J., & Henao-Rodríguez, C. (2023). Afectación ambiental del páramo en Colombia: una aproximación desde el modelo FPEIR. *Salud, Ciencia y Tecnología, Serie de Conferencias*, 2, 378.
- Saboyá Acosta, L. P., & Urbina-Cardona, J. N. (2023). Current state of knowledge of páramo amphibians in Colombia: spatio-temporal trends and information gaps to be strengthened for effective conservation. *Journal of Latin American Herpetology*, 10(1), 1–20.
- Bateman, J., Clavijo, J., & Carvajal, I. (2024). Retos de la conservación y restauración de páramos en escenarios de cambio climático en Colombia. *Revista del Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario*, 10(92), 1–11.
- Botero Restrepo, C., Vargas Ríos, J. O., Melgarejo Muñoz, L. M., et al. (2023). Bases ecológicas y sociales para la restauración de los páramos. *Premios Ciencias, Fundación Alejandro Ángel Escobar*.
- Silva Junior, C. H. L., Alvarado Romero, S. T., et al. (2023). Remote sensing of environmental changes in the Neotropical region. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6, 1330489.
- Alvarado Romero, S. T., et al. (2023). Monitoring immediate post-fire vegetation dynamics of tropical mountain grasslands using phenocameras. *Ecological Informatics*, 78, 102341.
- Díaz Triana, J. E., Vargas Ríos, J. O., & Rodríguez Eraso, N. (2023). La nucleación: una alternativa para la restauración ecológica de bosques neotropicales. *Ecología Austral*, 33(3), 867–886.
- MinAmbiente Colombia. (2023, junio 8). *13 millones de dólares para la conservación de los páramos en Colombia*. Bogotá.
- Cañas, J. S., Parra-Guevara, C., Montoya-Castrillón, M., et al. (2025). Inteligencia artificial para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad: una visión desde Colombia. Preprint.
- Valencia Torres, J., & Sandoval Quintero, D. (2021). *Fragmentación de corredores ecológicos y pérdida de conectividad en ecosistemas altoandinos*. *Revista de Paisaje y Ambiente*, 13(3), 33–49.