



Seguimiento de la frontera agrícola mediante el análisis multitemporal y su impacto en los ecosistemas estratégicos en Tausa (Cundinamarca)

Juan Camilo Obando Bravo
Luis Eduardo White Esparza
Natalia Euse Bermúdez
Carlos Alejandro Sotelo Ocampo

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

Asesor: Juan Sebastián Grisales Norteña

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Especialización en Sistemas de Información Geográfica
Manizales, Caldas, Colombia

2025

Cita	(Jiménez Quintero, 2021)
Referencia	Jiménez Quintero, J. D. (2021). <i>Elementos de gestión de la innovación y marketing para la competitividad del sector metalmecánico Manizales</i> [Seleccione modalidad de grado]. Universidad de Manizales. RIDUM: Repositorio Institucional Universidad de Manizales.
Estilo APA 7 (2020)	



Seleccione posgrado UManizales (A-Z), Seleccione cohorte posgrado

Seleccione grupo de investigación UManizales (A-Z)

Seleccione línea de investigación UManizales (A-Z).

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	10
Abstract	11
Introducción	12
1 Planteamiento del problema	15
1.1 Descripción del Área Problemática.....	15
1.2 Formulación del Problema	16
1.3 Antecedentes	16
2 Justificación.....	19
3 Objetivos	20
3.1 Objetivo general	20
3.2 Objetivos específicos.....	20
4 Hipótesis.....	21
4.1 Hipótesis de trabajo	21
4.1.1 Hipótesis nula.....	21
4.1.1.1 Hipótesis alterna. Las coberturas agrícolas disminuirán su área y las coberturas de importancia ecosistémica ganarán mayor terreno en la zona de estudio.....	21
5 Referente normativo y legal	22
6 Marco teórico	25
6.1 Frontera agrícola	25
6.2 Ecosistemas estratégicos y servicios ecosistémicos.....	25
6.3 Análisis de cobertura del suelo en la evaluación de los cambios agrícolas	26
6.4 Conceptos SIG.....	27
6.5 Los SIG como herramientas para identificar los cambios espaciales en la cobertura del suelo a lo largo del tiempo	28
6.4 Injerencia de las comunidades en los cambios agrícolas y la gestión ambiental	29

7 Metodología	31
7.1 Enfoque Metodológico y Tipo de Estudio	31
7.2 Diseño de investigación	32
7.3 Procedimiento general.....	32
7.3.1 Recolección de información	32
7.4 Procedimiento SIG	33
7.4.1 Obtención de Insumos.....	33
7.4.2 Preparación de Imágenes Satelitales.....	34
7.4.3 Clasificación supervisada de coberturas	34
7.4.4 Análisis Multitemporal	38
7.5 Encuestas	39
7.5.1 Población y muestra.....	39
7.5.2 Instrumento y criterio de recolección de información	39
7.5.3 Procedimiento de recolección de datos.....	39
7.6 Integración de resultados cuantitativos y cualitativos.....	42
8 Resultados	43
8.1 Recolección de información.....	43
8.2 Procedimiento SIG	48
8.1.1 Clasificación supervisada de coberturas	48
8.1.2 Análisis Multitemporal	54
8.1.2.1 Áreas de cambio general	54
8.1.2.2 Cambio por cada una de las coberturas	58
8.1.2.3 Pérdidas de cobertura	60
8.1.2.4 Ganancias de cobertura	61
8.1.2.4 Balance neto (Ganancias - pérdidas).....	62

8.2 Resultados de las encuestas.....	63
9 Discusión.....	68
10 Conclusiones	70
11 Recomendaciones.....	72
Referencias	73
Anexos.....	76

Lista de tablas

Tabla 1 Veredas que pertenecen a la zona de estudio del Municipio de Tausa, Cundinamarca ...	13
Tabla 2 Lista de las principales combinaciones RGB y usos para imágenes satelitales Landsat 8	34
Tabla 3 Coberturas identificadas en el área de estudio	35
Tabla 4 Código RGB para las coberturas identificadas en el área de estudio según la metodología CLC.	38
Tabla 5 Sección sociodemográfica de la encuesta realizada en el área de estudio.	40
Tabla 6 Sección de incidencia en la frontera agrícola de la encuesta realizada en el área de estudio.	41
Tabla 7 Sección de postura y conocimiento sobre la frontera agrícola de la encuesta realizada en el área de estudio.	42
Tabla 8 Resumen de insumos obtenidos, y sus usos.	43
Tabla 9 Área total en hectáreas (Ha) de cada cobertura por cada año analizado.	53
Tabla 10 Muestra el total de áreas en hectáreas (Ha) que presentaron cambios, y que no presentaron cambios.	54
Tabla 11 Muestra el cambio de cada cobertura y su área en hectáreas (Ha).....	58
Tabla 12 Número de encuestas realizadas a cada vereda del área de estudio.	64
Tabla 13 Resultados de las encuestas.....	65

Lista de figuras

Figura 1 Mapa de Localización del Área de Estudio y del Municipio de Tausa, Cundinamarca .	13
Figura 2 Polígonos de entrenamiento para las coberturas a identificar en la zona de estudio del año 2014, usadas en el algoritmo Maximun Likelihood en el software ArcGIS Pro.....	36
Figura 3 Polígonos de entrenamiento para las coberturas a identificar en la zona de estudio del año 2015, usadas en el algoritmo Maximun Likelihood en el software ArcGIS Pro.....	36
Figura 4 Polígonos de entrenamiento para las coberturas a identificar en la zona de estudio del año 2018, usadas en el algoritmo Maximun Likelihood en el software ArcGIS Pro.....	37
Figura 5 Polígonos de entrenamiento para las coberturas a identificar en la zona de estudio del año 2024, usadas en el algoritmo Maximun Likelihood en el software ArcGIS Pro.....	37
Figura 6 Recorte del área de estudio de la imagen satelital del 2014 en configuración RGB 4-3-2 (Color verdadero).	44
Figura 7 Recorte del área de estudio de la imagen satelital del 2014 en configuración RGB 6-5-2 (Agricultura).	44
Figura 8 Recorte del área de estudio de la imagen satelital del 2015 en configuración RGB 4-3-2 (Color verdadero).	45
Figura 9 Recorte del área de estudio de la imagen satelital del 2015 en configuración RGB 6-5-2 (Agricultura).	45
Figura 10 Recorte del área de estudio de la imagen satelital del 2018 en configuración RGB 4-3-2 (Color verdadero).	46
Figura 11 Recorte del área de estudio de la imagen satelital del 2018 en configuración RGB 6-5-2 (Agricultura).	46
Figura 12 Recorte del área de estudio de la imagen satelital del 2024 en configuración RGB 4-3-2 (Color verdadero).	47
Figura 13 Recorte del área de estudio de la imagen satelital del 2024 en configuración RGB 6-5-2 (Agricultura).	47
Figura 14 Mapa comparativo de clasificación supervisada sin corrección vs con corrección, para el municipio de Tausa, Cundinamarca en el año 2014.....	49
Figura 15 Mapa comparativo de clasificación supervisada sin corrección vs con corrección, para el municipio de Tausa, Cundinamarca en el año 2015.....	50

Figura 16 Mapa comparativo de clasificación supervisada sin corrección vs con corrección, para el municipio de Tausa, Cundinamarca en el año 2018.....	51
Figura 17 Mapa comparativo de clasificación supervisada sin corrección vs con corrección, para el municipio de Tausa, Cundinamarca en el año 2024.....	52
Figura 18 Gráfico del cambio de área en hectáreas (Ha) de cada cobertura en cada año analizado, con una línea de tendencia para su cobertura respectiva.	53
Figura 19 Gráfico del total del área que presentaron cambios y que no presentaron, para el análisis 2014 – 2015.....	55
Figura 20 Mapa del área de estudio que presento cambios de cobertura entre el 2014 – 2015...55	55
Figura 21 Gráfico del total del área en hectáreas (Ha) que presentaron cambios y que no presentaron, para el análisis 2015 – 2018.	56
Figura 22 Mapa del área de estudio que presento cambios de cobertura entre el 2015 – 2018...56	56
Figura 23 Gráfico del total del área en hectáreas (Ha) que presentaron cambios y que no presentaron, para el análisis 2018 – 2024.	57
Figura 24 Mapa del área de estudio que presento cambios de cobertura entre el 2018 – 2024...57	57
Figura 25 Gráfico del cambio de coberturas en hectáreas (Ha) para el análisis 2014 – 2015.	59
Figura 26 Gráfico del cambio de coberturas en hectáreas (Ha) para el análisis 2015 – 2018.	59
Figura 27 Gráfico del cambio de coberturas en hectáreas (Ha) para el análisis 2018 – 2024.	60
Figura 28 Gráfico de la pérdida de área de cada cobertura en hectáreas (Ha) para cada periodo analizado.....	61
Figura 29 Gráfico de la ganancia de área de cada cobertura en hectáreas (Ha) para cada periodo analizado.....	62
Figura 30 Gráfico del balance neto de cada cobertura en hectáreas (Ha) para cada periodo analizado.....	63
Figura 31 Gráfico de percepción de la frontera agrícola por la comunidad.....	66
Figura 32 Gráfico de participación de la comunidad en actividades de conservación o manejo sostenible de recursos.....	67
Figura 33 Gráfico de las prácticas agrícolas que conoce o practica la comunidad.....	67

Siglas, acrónimos y abreviaturas

CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
CLC	Corine Land Cover
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
SIG	Sistemas de Información Geográfica
UPRA	Unidad de Planificación Rural Agropecuaria

Resumen

El seguimiento de la frontera agrícola en el municipio de Tausa, Cundinamarca, permite comprender los impactos significativos que pueden generar los cambios del uso de suelo sobre los ecosistemas estratégicos, como los páramos y bosques altoandinos, fundamentales para la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad. Este estudio tiene como objetivo analizar los cambios en la cobertura del suelo entre 2014 y 2024, así como su relación con variables socioeconómicas y percepciones comunitarias sobre el uso del territorio.

Para ello, se adoptó un enfoque metodológico mixto que integra análisis cuantitativos mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la metodología Corine Land Cover (CLC), junto con técnicas cualitativas como encuestas estructuradas y entrevistas semiestructuradas, con una estrategia de codificación temática. Los resultados incluirán diversos gráficos, tablas e indicadores de cambio de cobertura, así como un análisis de correlación entre variables ambientales y sociales, permitiendo proponer estrategias de mitigación y conservación.

Este trabajo busca contribuir a la planificación del territorio para buscar un equilibrio entre el desarrollo agrícola sostenible y la protección ambiental, para lo cual se deberá trabajar de manera conjunta con la comunidad local.

Palabras clave: Frontera agrícola, Sistemas de Información Geográfica (SIG), Desarrollo sostenible, Conservación ambiental, Ecosistemas estratégicos, Análisis multitemporal.

Abstract

The monitoring of the agricultural frontier in the municipality of Tausa, Cundinamarca, provides insight into the significant impacts that land use changes can have on strategic ecosystems such as páramos and high Andean forests—ecosystems that are essential for water regulation and biodiversity conservation. This study aims to analyze land cover changes between 2014 and 2024, as well as their relationship with socioeconomic variables and community perceptions regarding land use.

To achieve this, a mixed-methods approach was adopted, integrating quantitative analyses through Geographic Information Systems (GIS) and the Corine Land Cover (CLC) methodology, along with qualitative techniques such as structured surveys and semi-structured interviews, supported by a thematic coding strategy. The results will include various charts, tables, and land cover change indicators, as well as a correlation analysis between environmental and social variables, enabling the proposal of mitigation and conservation strategies.

This research seeks to contribute to territorial planning efforts by promoting a balance between sustainable agricultural development and environmental protection, which requires collaborative work with the local community.

Keywords: Agricultural Frontier, Geographic Information Systems (GIS), Sustainable Development, Environmental Conservation, Strategic Ecosystems, Multitemporal Analysis.

Introducción

La expansión de la frontera agrícola es una problemática ambiental de escala global que ha generado transformaciones significativas en los ecosistemas estratégicos, afectando su funcionalidad ecológica y la provisión de servicios ambientales esenciales como la regulación hídrica, la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad. En diversas regiones del mundo, especialmente en zonas de alta montaña, este fenómeno ha contribuido a la degradación de ecosistemas frágiles como los bosques nublados, los humedales y los páramos andinos.

En Colombia, esta situación adquiere especial relevancia en los ecosistemas de montaña, donde los páramos y los bosques altoandinos desempeñan un papel crucial en el equilibrio climático, la conservación de especies endémicas y la sostenibilidad de las fuentes hídricas. A pesar de los esfuerzos normativos y comunitarios para su protección, la presión agrícola continúa siendo uno de los principales factores de transformación del paisaje y deterioro ecológico.

En este contexto, el municipio de Tausa, ubicado en el departamento de Cundinamarca (Figura 1), hace parte del altiplano cundiboyacense, se sitúa entre los 2.600 y 3.400 m.s.n.m. y presenta una amplia variedad de coberturas naturales y productivas. En las últimas décadas, se ha caracterizado por el desarrollo de actividades agrícolas, especialmente en cultivos de papa, arveja y pastos para ganadería, lo que ha generado presiones ambientales sobre sus ecosistemas estratégicos. En las últimas décadas, se ha buscado proteger estos ecosistemas, y se plantea la duda de saber cuánto ha cambiado la frontera agrícola en este municipio. Esta situación plantea la necesidad de evaluar los cambios de coberturas en Tausa que puedan presentar impactos territoriales y ecológicos, con la finalidad de diseñar estrategias de gestión sostenible.

Las veredas que pertenecen a la zona de estudio (Tabla 1) son: El Salitre, Lagunitas, Los Pinos, Llanogrande, Páramo Alto, Páramo Bajo, Sabaneque, San Antonio.

Tabla 1

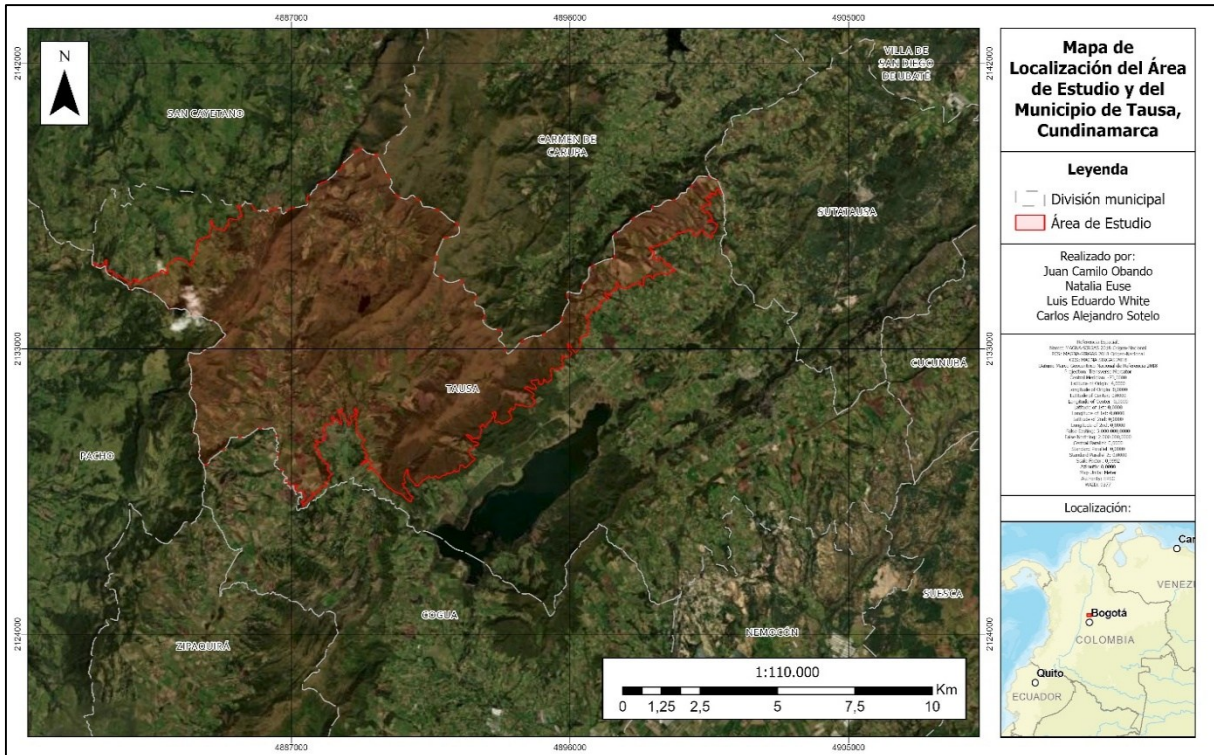
Veredas que pertenecen a la zona de estudio del Municipio de Tausa, Cundinamarca

Veredas	Km ²
El Salitre	27,547
Lagunitas	15,996
Los Pinos	2,456
Llanogrande	25,395
Páramo Alto	5,907
Páramo Bajo	13,662
Sabaneque	15,915
San Antonio	18,940
El Salitre	27,547
Lagunitas	15,996

Fuente: Esquema de ordenamiento territorial. IGAC 1996. Pag 25.

Figura 1

Mapa de Localización del Área de Estudio y del Municipio de Tausa, Cundinamarca



Fuente: Elaboración propia.

A partir de herramientas SIG, el presente estudio se propone analizar el comportamiento de la frontera agrícola en el municipio de Tausa (Cundinamarca) entre los años 2014 y 2024, utilizando un enfoque metodológico mixto que combine el análisis cuantitativo de los cambios de cobertura con la percepción de actores locales a través de encuestas y entrevistas. El objetivo es generar insumos que orienten estrategias de conservación y uso sostenible del suelo.

1 Planteamiento del problema

1.1 Descripción del Área Problemática

En Colombia, la expansión de la frontera agrícola ha generado una creciente presión sobre ecosistemas estratégicos, afectando áreas rurales destinadas históricamente a la conservación y protección de la biodiversidad. Este proceso, impulsado por la creciente demanda de productos agropecuarios, ha derivado en la ocupación de territorios frágiles y estratégicos, generando la degradación progresiva de hábitats naturales y afectando directamente el bienestar de las comunidades rurales (Ministerio de Agricultura, 2018).

Un ejemplo representativo de esta problemática se encuentra en el municipio de Tausa, ubicado en el altiplano cundiboyacense, donde se han generado cambios del uso del suelo en áreas ecológicamente sensibles como el páramo de Guargua, los cerros de La Leonera y el Alto de Quita. Estas zonas, que antes funcionaban como corredores biológicos y reservorios hídricos, han sido fragmentadas por la expansión de cultivos y actividades ganaderas, afectando la conectividad ecológica y la funcionalidad de ecosistemas como el bosque altoandino (Cervantes et al., 2021).

A nivel local, el problema se presenta con mayor intensidad en veredas como El Salitre, Lagunitas, Páramo Alto y San Antonio, donde los cambios en el uso del suelo han sido constantes durante la última década. Sin embargo, existe un vacío de información sistemática y actualizada que permita cuantificar y caracterizar dichos cambios, lo cual limita la capacidad de los tomadores de decisiones para implementar acciones de manejo y conservación.

Este vacío también se refleja en la falta de apropiación del problema por parte de la comunidad local, donde persiste un bajo nivel de conocimiento sobre la importancia ecológica del páramo y de los servicios ambientales que provee. La escasa divulgación ambiental, sumada a una limitada participación ciudadana en los procesos de planificación territorial, ha contribuido a una débil cultura de protección del entorno.

Por otro lado, desde las administraciones municipales y regionales, si bien existen diagnósticos generales, no se cuenta con una estrategia clara ni con herramientas técnicas para monitorear en detalle el avance de la frontera agrícola ni para evaluar sus impactos ecológicos. En este sentido, el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), que podrían facilitar este tipo de análisis, ha sido poco implementado en el contexto local, tanto por limitaciones técnicas como por desconocimiento institucional de su potencial en la gestión ambiental y territorial.

Los cambios en el uso del suelo han alterado los ciclos biogeoquímicos, reduciendo la calidad del agua, disminuyendo la fertilidad de los suelos y aumentando la vulnerabilidad de las

comunidades locales ante eventos como deslizamientos y sequías prolongadas (Guzmán et al., 2021). Frente a esta situación, se hace urgente implementar estrategias de conservación y prácticas agrícolas sostenibles que permitan equilibrar las dinámicas productivas con la protección de ecosistemas estratégicos como los páramos (UNAD – ECAPMAC, 2020).

Este estudio busca aportar a esa necesidad ambiental mediante un análisis multitemporal enfocado en el cambio en la cobertura del suelo en Tausa y seguido a ello, su relación con los impactos socioecológicos percibidos por la comunidad, generando así insumos que orienten propuestas de gestión territorial y conservación ambiental.

1.2 Formulación del Problema

¿Cómo ha afectado los cambios de la frontera agrícola entre el 2014 y 2024 la conectividad y funcionalidad de los ecosistemas estratégicos en el municipio de Tausa (Cundinamarca), y qué aportes pueden brindar los SIG para su análisis y monitoreo?

1.3 Antecedentes

A nivel internacional, la frontera agrícola ha sido un concepto clave para identificar y gestionar el uso del suelo en zonas rurales. Este concepto permite delimitar áreas destinadas al cultivo y otras actividades agropecuarias, diferenciándolas de las zonas de protección ecosistémica. A nivel global, el incremento de la frontera agrícola ha tenido repercusiones significativas en la conservación de la biodiversidad y la sostenibilidad ambiental. Por ejemplo, entre 1990 y 2022, la superficie sembrada en la región del Gran Chaco argentino creció un 297%, principalmente impulsada por el cultivo de soja y la expansión ganadera, lo cual contribuyó en gran medida a la degradación de hábitats naturales y a la pérdida de servicios ecosistémicos fundamentales (Chiarella et al., 2024). En México, un análisis satelital realizado en el municipio de Campeche reveló un aumento del 10% en las áreas de cultivo en menos de cinco años, empleando técnicas de roza, tumba y quema, lo que ha contribuido a la deforestación y fragmentación de ecosistemas (Gobierno de México, 2022).

En la Amazonía ecuatoriana, la pérdida de cobertura vegetal se ha acelerado debido a actividades como la expansión agrícola, ganadera y petrolera, con una reducción de 48,224.02 hectáreas de bosque denso entre 2001 y 2020 (Heras-Heras et al., 2024). Esta transformación, impulsada por el aumento de pastos y cultivos (106,162.40 ha en 2020), amenaza la biodiversidad

y servicios ecosistémicos, evidenciando la falta de políticas efectivas de ordenamiento territorial (Heras-Heras et al., 2024).

En Colombia, la expansión de la frontera agrícola ha tenido un impacto profundo en los ecosistemas estratégicos, incluyendo páramos, bosques altoandinos y áreas protegidas. Estos ecosistemas proporcionan servicios esenciales como la regulación hídrica y la captura de carbono, fundamentales para el bienestar humano y el equilibrio ambiental (Barragán- Rodríguez & Arias Gutiérrez, 2020). Se estima que el 68% de las actividades agropecuarias en el país se llevan a cabo en zonas de reserva forestal, el 17% en páramos y el 15% en jurisdicciones de parques nacionales naturales (Ministerio de Agricultura, 2018). La ganadería extensiva, acompañada de procesos como la potrerización y las quemadas, han sido identificadas como una de las principales causas de pérdida de cobertura vegetal en ecosistemas altoandinos y de páramo (Buitrago Silva, 2022). En los ecosistemas altoandinos del altiplano cundiboyacense, la conversión de bosque en áreas productivas como ganadería y agricultura ha generado una reducción significativa de la cobertura vegetal (Buitrago Silva, 2022).

En este contexto, un caso relevante en la gestión ambiental de ecosistemas de alta montaña en Cundinamarca es el del Páramo de Guerrero, el cual cumple un papel fundamental en la regulación hídrica regional y la conservación de la biodiversidad. De acuerdo con la CAR (2023), se han formulado lineamientos estratégicos para promover una gestión agropecuaria sostenible, con enfoque territorial y participativo, que sirva como modelo para otros complejos de páramo del altiplano cundiboyacense.

De manera más específica, el departamento de Cundinamarca, donde se encuentra el municipio de Tausa, ha sido una región clave para la agricultura y la ganadería debido a sus condiciones climáticas y suelos fértiles. La frontera agrícola en Cundinamarca abarca más del 60% de su territorio (UPRA, 2023), y las actividades agrícolas han transformado áreas originalmente dedicadas a la conservación, contribuyendo a la degradación de los ecosistemas estratégicos (Federación Colombiana de Productores de Papa, 2023). En Tausa, los bosques nativos, que anteriormente actuaban como corredores biológicos, han sido fragmentados para dar paso a áreas de cultivo y pastoreo, lo que ha generado la pérdida de hábitats esenciales para la fauna local, afectando la regulación de caudales y la captura de carbono (Tovar Aguilera, 2020).

Además de la expansión agrícola, el páramo de Tausa enfrenta desafíos adicionales debido a la actividad minera, aunque constituye el 85% de los ingresos locales, también ha generado un impacto ambiental considerable. Estudios de la Universidad El Bosque destacan la existencia de un "efecto borde" en el páramo, donde la transición entre ecosistemas se ve afectada por la minería de carbón, exacerbando la fragmentación del hábitat y reduciendo la biodiversidad. A pesar de los

esfuerzos por mitigar estos impactos, cerrar las minas no es una opción viable debido al riesgo de acumulación de agua en los socavones, lo que podría desencadenar problemas ambientales a largo plazo (Guzmán, 2021).

La situación en Tausa exige enfoques integrados que permitan mitigar los impactos que ha tenido la expansión agrícola y minera, promover el uso sostenible del suelo y restaurar áreas degradadas. Fomentar prácticas agropecuarias sostenibles es crucial para garantizar la conservación de los ecosistemas estratégicos a largo plazo y proteger los servicios ecosistémicos que son vitales para las comunidades locales (Cervantes et al., 2021; Guzmán, 2021). Esto subraya la necesidad urgente de implementar estrategias de manejo sostenible que equilibren las demandas agrícolas con la conservación del medio ambiente.

2 Justificación

La presente investigación surge del interés por comprender el impacto de los cambios de la frontera agrícola sobre los ecosistemas estratégicos del municipio de Tausa, Cundinamarca. Colombia, siendo uno de los países con mayor biodiversidad del mundo, enfrenta importantes desafíos ambientales debido a la presión que las actividades agropecuarias ejercen sobre áreas de alta montaña como los páramos y los bosques altoandinos. Estos ecosistemas desempeñan funciones clave en la regulación hídrica, la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad, por lo que su degradación representa una amenaza significativa para el equilibrio ecológico y el bienestar de las comunidades locales (Ministerio de Agricultura, 2018).

Ante este panorama, se hace necesario contar con estudios rigurosos que permitan entender con mayor precisión cómo se está transformando el territorio y cuáles son sus consecuencias ambientales. Por ello, esta investigación es relevante desde una perspectiva académica y también para la formulación de políticas públicas, ya que busca generar evidencia técnica y científica que respalde la toma de decisiones en materia de ordenamiento territorial, planificación rural y conservación ambiental. Además, se alinea con el artículo 79 de la Constitución Política de 1991, que garantiza el derecho a un ambiente sano y promueve la participación ciudadana en la protección de los recursos naturales. En este contexto, los resultados podrán ser utilizados por autoridades locales, como la Alcaldía de Tausa y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), para diseñar estrategias de manejo sostenible que contribuyan a mitigar los efectos negativos de la expansión agrícola.

Además de su aplicación práctica, representa un aporte significativo al campo de conocimiento sobre la relación entre agricultura y ecosistemas estratégicos, pues se aportan nuevos datos y perspectivas sobre la relación entre los cambios agrícolas y la degradación de ecosistemas estratégicos en el municipio de Tausa. Los resultados obtenidos contribuirán a un entendimiento más detallado de esta problemática y podrán ser replicados en otras regiones con desafíos similares, sentando así las bases para futuras investigaciones y el diseño de políticas orientadas a la sostenibilidad ambiental y social.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Realizar el seguimiento de la frontera agrícola en el municipio de Tausa, mediante un análisis multitemporal efectuado mediante herramientas SIG, para determinar los impactos en los ecosistemas estratégicos y proponer medidas de mitigación que contribuyan en su conservación.

3.2 Objetivos específicos

1. Recopilar información secundaria que demuestre la evolución de la cobertura del suelo en Tausa desde los años 2014 hasta el 2024, como lo son imágenes satelitales, datos cartográficos e informes.
2. Analizar los cambios en la cobertura del suelo ocurridos en los ecosistemas estratégicos de Tausa desde el 2014 hasta el 2024, identificando las variables socioeconómicas y ambientales que han provocado dichas transformaciones mediante el uso de técnicas de teledetección y la metodología Corine Land Cover (CLC).
3. Reconocer cómo los cambios de la frontera agrícola afectan los ecosistemas estratégicos e identificar medidas de mitigación que puedan ser implementadas por actores tanto institucionales como comunitarios para prevenir y contener estas afectaciones.
4. Recopilar información primaria a través de encuestas para analizar las variables socioeconómicas y ambientales que han influido en los cambios de la frontera agrícola de Tausa desde el año 2014 hasta el 2024.

4 Hipótesis

4.1 Hipótesis de trabajo

El área de estudio ubicada en el páramo del municipio de Tausa, basándonos en los antecedentes, se estima que se presenta un aumento en cuanto a la frontera agrícola entre los años del 2014 al 2024, por ende, se debe encontrar una disminución en las coberturas de importancia ecosistémicas en las veredas que integran el área de estudio.

4.1.1 Hipótesis nula

La frontera agrícola, así como las demás coberturas en la zona de estudio, no presentan cambios significativos en cuanto al área de cada una de ellas.

4.1.1.1 Hipótesis alterna. Las coberturas agrícolas disminuirán su área y las coberturas de importancia ecosistémica ganarán mayor terreno en la zona de estudio.

4.1.1.1.1 Variables. La variable independiente son los años analizados (2014, 2015, 2018 y 2024); y la variable dependiente es el área de las distintas coberturas analizadas en la zona de estudio.

5 Referente normativo y legal

Colombia cuenta con una base legal (constitución política de 1991), en donde varios artículos, están dedicados a la protección, uso sostenible de los recursos naturales, y manejo integrado del territorio:

ARTÍCULO 64 establece que: "Es deber del Estado promover el acceso progresivo a la propiedad de la tierra del campesinado y los trabajadores agrarios, en forma individual o asociativa. El campesinado es sujeto de derechos y especial protección, tiene un particular relacionamiento con la tierra basado en la producción de alimentos en garantía de la soberanía alimentaria, sus formas de territorialidad campesina, condiciones geográficas, demográficas, organizativas y culturales que lo distingue de otros grupos sociales. El Estado reconoce la dimensión económica, social, cultural, política y ambiental del campesinado, así como aquellas que le sean reconocidas y velará por la protección, respeto y garantía de sus derechos individuales y colectivos, con el objetivo de lograr la igualdad material desde un enfoque de género, etario y territorial, el acceso a bienes y derechos como a la educación de calidad con pertinencia, la vivienda, la salud, los servicios públicos domiciliarios, vías terciarias, la tierra, el territorio, un ambiente sano, el acceso e intercambio de semillas, los recursos naturales y la diversidad biológica, el agua, la participación reforzada, la conectividad digital, la mejora de la infraestructura rural, la extensión agropecuaria y empresarial, asistencia técnica y tecnológica para generar valor agregado y medios de comercialización para sus productos. Los campesinos son libres e iguales a todas las demás poblaciones y tienen derecho a no ser objeto de ningún tipo de discriminación en el ejercicio de sus derechos, en particular las fundadas en su situación económica, social, cultural y política" (Constitución Política de Colombia, 1991, art. 64).

ARTÍCULO 78 establece que: "La ley regulará el control de calidad de bienes y servicios ofrecidos y prestados a la comunidad, así como la información que debe suministrarse al público en su comercialización. Serán responsables, de acuerdo con la ley, quienes en la producción y en la comercialización de bienes y servicios, atenten contra la salud, la seguridad y el adecuado aprovisionamiento a consumidores y usuarios. El Estado garantizará la participación de las organizaciones de consumidores y usuarios en el estudio de las disposiciones que les conciernen. Para gozar de este derecho las organizaciones deben ser representativas y observar procedimientos democráticos internos" (Constitución Política de Colombia, 1991, art. 78).

ARTÍCULO 79 establece que: "Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La Ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad P. integridad del ambiente, conservar las áreas de

especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines. El Estado tiene un especial deber de protección del agua. Queda prohibida de exploración o explotación minera de cualquier tipo o de hidrocarburos en ecosistemas de paramo y sus zonas de amortiguamiento. También estarán prohibidas las expansiones urbanas y suburbanas y las actividades de alto impacto en estos ecosistemas. Los municipios a través de las herramientas de ordenamiento territorial establecerán los usos en ecosistemas colindantes a los páramos que pudieran generar daños sobre estos, en especial lo referente a minería artesanal y de subsistencia en las áreas amortiguadoras, tendientes para mitigar el impacto negativo sobre estos ecosistemas” (Constitución Política de Colombia, 1991, art. 79).

ARTÍCULO 80 establece que: “El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas” (Constitución Política de Colombia, 1991, art. 80). El crecimiento de la frontera agrícola en Colombia se relaciona con diversas leyes, políticas y normativas que buscan regular el uso del suelo, la protección ambiental, la expansión agrícola y la sostenibilidad:

LEY 99 DE 1993: “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones” (Ley 99 de 1993).

LEY 373 DE 1997, Artículo 1: “Programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Se entiende por programa para el uso eficiente y ahorro de agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico. Las Corporaciones Autónomas Regionales y demás autoridades ambientales encargadas del manejo, protección y control del recurso hídrico en su respectiva jurisdicción, aprobarán la implantación y ejecución de dichos programas en coordinación con otras corporaciones autónomas que compartan las fuentes que abastecen los diferentes usos” (Ley 373 de 1997, art. 1).

Ley 1930 de 2018 establece que los páramos son ecosistemas estratégicos cuya gestión integral debe orientarse hacia su preservación, restauración, uso sostenible y generación de conocimiento. Esta normativa reconoce la importancia de estos ecosistemas en la provisión de

servicios ambientales esenciales, como la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad, y promueve la participación comunitaria en su protección y manejo sostenible (Ley 1930 de 2018, art. 1).

LEY 2294 DE 2023, Artículo 1: “El Plan Nacional de Desarrollo 2022 – 2026 “Colombia Potencia Mundial de la Vida”, que se expide por medio de la presente ley, tiene como objetivo sentar las bases para que el país se convierta en un líder de la protección de vida a partir de la construcción de un nuevo contrato social que propicie la superación de injusticias y exclusiones históricas, la no repetición del conflicto, el cambio de nuestro relacionamiento con el ambiente y una transformación productiva sustentada en el conocimiento y en armonía con la naturaleza. Este proceso debe desembocar en la paz total, entendida como la búsqueda de una oportunidad para que todos podamos vivir una vida digna, basada en la justicia; es decir, en una cultura de la paz que reconoce el valor excelso de la vida en todas sus formas y que garantiza el cuidado de la casa común” (Ley 2294 de 2023, art. 1).

6 Marco teórico

6.1 Frontera agrícola

La frontera agrícola se define como el límite que delimita las áreas rurales destinadas a actividades agropecuarias y las zonas de conservación ecosistémica. Este concepto es crucial en contextos de alta biodiversidad, ya que su expansión puede provocar la degradación de hábitats, pérdida de biodiversidad y alteración de los servicios ecosistémicos. En América Latina, la región del Gran Chaco argentino ha sido una de las más afectadas por el avance de la frontera agrícola, lo que ha provocado deforestación, pérdida de cobertura vegetal y transformación de ecosistemas naturales en zonas de uso productivo (Chiarella et al., 2024). En contextos de alta biodiversidad, como Colombia, la expansión de la frontera agrícola representa un desafío crítico, ya que puede provocar la degradación de hábitats, pérdida de biodiversidad y alteración de servicios ecosistémicos fundamentales, como la regulación hídrica y la captura de carbono. En el municipio de Tausa, esta problemática ha sido particularmente crítica, con transformaciones significativas en el uso del suelo que han comprometido la funcionalidad de sus ecosistemas estratégicos.

Además, la frontera agrícola se concibe como un referente nacional para orientar políticas públicas, fomentar el uso eficiente del suelo rural, estabilizar ecosistemas estratégicos y proteger las áreas protegidas, que son zonas definidas por su alto valor ecológico y que requieren de una gestión especial para evitar que las actividades agropecuarias las degraden. En estas áreas las actividades agrícolas están permitidas bajo criterios específicos de manejo ambiental o gestión del riesgo, buscando minimizar conflictos de uso del suelo y garantizar un desarrollo sostenible. Este enfoque contribuye no solo a la protección de zonas de especial importancia ecológica, sino también a la reducción de incertidumbres en inversiones agropecuarias y al fortalecimiento de los objetivos de sostenibilidad territorial (UPRA & MADS, 2017).

6.2 Ecosistemas estratégicos y servicios ecosistémicos

Los ecosistemas estratégicos, como los páramos y los bosques altoandinos, desempeñan un papel fundamental en la regulación hídrica, la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad. En Colombia, estos ecosistemas son esenciales no solo para el equilibrio ecológico, sino también para el bienestar social y económico de las comunidades locales. Los servicios ecosistémicos, tales como el aprovisionamiento de agua, la conservación del suelo, y la regulación

climática, son vitales, especialmente en regiones de alta montaña como el altiplano cundiboyacense, donde se localiza el municipio de Tausa.

La expansión de la frontera agrícola ha generado una creciente presión sobre estos ecosistemas estratégicos, provocando la fragmentación de hábitats, la pérdida de vegetación nativa y la alteración de sus funciones ecológicas. Según lo definido por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2017), las áreas de especial importancia ecológica deben ser protegidas frente a las actividades agropecuarias, ya que estas zonas son esenciales para la sostenibilidad de los ecosistemas y la provisión continua de servicios ecosistémicos.

Las áreas protegidas dentro de la frontera agrícola desempeñan un rol crucial en la conservación de estos servicios. Sin embargo, el avance de la frontera agrícola en zonas de páramos y bosques compromete su integridad, ya que las actividades agrícolas no controladas pueden alterar significativamente la estructura y función de los ecosistemas teniendo impacto sobre la biodiversidad, la regulación del ciclo hídrico y la captura de carbono.

Por lo que la delimitación adecuada de la frontera agrícola, considerando las áreas protegidas y de conservación, es un paso clave para mitigar los efectos negativos sobre estos ecosistemas y sus servicios, por lo que se deben incorporar en la planificación y gestión del territorio para asegurar que los ecosistemas estratégicos continúen brindando sus beneficios a las generaciones futuras.

6.3 Análisis de cobertura del suelo en la evaluación de los cambios agrícolas

El análisis de cobertura del suelo es una herramienta fundamental para estudiar los cambios en el uso del territorio y sus impactos en los ecosistemas estratégicos. La cobertura del suelo se define como la distribución de las diferentes clases de superficie terrestre, como bosques, áreas agrícolas, cuerpos de agua y áreas urbanas (Congalton & Green, 2019). Su monitoreo permite identificar transformaciones espaciales y temporales asociadas a factores como cambios de cobertura, deforestación y crecimiento urbano.

En el contexto de la frontera agrícola, el análisis multitemporal de coberturas del suelo mediante imágenes satelitales permite identificar patrones de cambio asociados a la presión antrópica. Este tipo de estudios, basados en herramientas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG), han demostrado ser útiles para la planificación territorial y la evaluación de impactos ambientales (Suárez Barajas, 2023).

Una de las técnicas más utilizadas en el análisis de cobertura del suelo es la clasificación de imágenes satelitales, que se puede realizar mediante métodos supervisados y no supervisados. En Colombia, el método Corine Land Cover (CLC) ha sido ampliamente adoptado para la clasificación de coberturas terrestres, permitiendo identificar áreas de cambio en diferentes escalas espaciales y temporales (IDEAM, 2018). Este tipo de análisis resulta clave para estudios de impacto ambiental, ya que permite detectar tendencias de degradación de ecosistemas estratégicos como los páramos y bosques altoandinos.

En el caso del municipio de Tausa, Cundinamarca, la aplicación de este análisis multitemporal de coberturas del suelo permitirá evaluar los cambios ocurridos en los últimos 10 años, estableciendo correlaciones con variables socioeconómicas y ambientales. La identificación de áreas más afectadas por los cambios de coberturas agrícolas facilitará la formulación de estrategias de mitigación y conservación, garantizando un equilibrio entre el desarrollo productivo y la sostenibilidad ecológica del territorio.

6.4 Conceptos SIG

Muchos procedimientos realizados para el análisis del crecimiento de la frontera agrícola en el municipio de Tausa, Cundinamarca se hicieron apoyándose en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), las siguientes definiciones son tomadas del libro de “Sistemas de información geográfica”, elaborado por Víctor Olaya (2014).

- **Georreferenciación:** “Para que una imagen procedente del escaneo de un documento impreso tenga plena validez y utilidad dentro de un SIG, es necesario añadirle información sobre la localización en el espacio del área representada en dicho documento”.
- **Modelo de Elevación Digital (DEM):** “Estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la elevación”.
- **Modelo ráster:** “Se basa en una división sistemática del espacio, la cual cubre todo este, caracterizándolo como un conjunto de unidades elementales”.
- **Modelo vectorial:** “Define al espacio mediante una serie de elementos geométricos con valores asociados, siendo la disposición de estos no sistemática, sino guardando relación con los objetos geográficos presentes en la zona de estudio”.
- **Sistemas de coordenadas:** “Establecer un sistema para codificar cada una de las posiciones sobre su superficie y asignar a estas las correspondientes coordenadas”.

- **Sistemas de Información Geográfica (SIG):** “Sistema de información diseñado para trabajar con datos referenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas. En otras palabras, un SIG es tanto un sistema de base de datos con capacidades específicas para datos georreferenciados, como un conjunto de operaciones para trabajar con esos datos. En cierto modo, un SIG es un mapa de orden superior”.

6.5 Los SIG como herramientas para identificar los cambios espaciales en la cobertura del suelo a lo largo del tiempo

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han revolucionado el análisis de cambios espaciales y temporales en la cobertura del suelo, ofreciendo herramientas avanzadas para evaluar dinámicas ambientales. Su capacidad para integrar, procesar y visualizar datos espaciales permite identificar patrones de uso y transformación del territorio, brindando una base sólida para la toma de decisiones orientadas a la sostenibilidad y la mitigación de riesgos.

Una de las aplicaciones clave de los SIG es el análisis multitemporal, que utiliza series de datos espaciales recopilados en diferentes momentos para detectar cambios en la cobertura del suelo. Tecnologías como la teledetección mediante sensores ópticos y de radar han sido fundamentales en este proceso. Por ejemplo, las imágenes de satélite Landsat y Sentinel-2, junto con técnicas de clasificación supervisada y no supervisada, permiten mapear cambios en el uso del suelo con alta precisión (Colesanti & Wasowski, 2006). Estas herramientas también se complementan con datos de radares de apertura sintética (SAR) para obtener información milimétrica sobre deformaciones en la superficie.

Además, los modelos digitales de elevación (DEM) generados a partir de tecnologías como LIDAR y fotogrametría aportan un detalle excepcional en la caracterización del relieve y las pendientes, factores esenciales para entender los procesos de transformación en ecosistemas estratégicos. Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2018), estos modelos permiten evaluar la dinámica de las cuencas hidrográficas y la expansión de la frontera agrícola en áreas críticas como los bosques altoandinos y páramos.

En el caso del municipio de Tausa, el uso de SIG se enfocará en el análisis multitemporal de la cobertura del suelo entre el 2014 y 2024, utilizando metodologías de procesamiento de imágenes satelitales y clasificación Corine Land Cover (CLC). Esta herramienta es clave para identificar los cambios en las coberturas naturales y determinar áreas con mayor presión agrícola. Además, se integrarán análisis geoestadísticos para evaluar la relación entre variables socioeconómicas y los patrones de expansión de la frontera agrícola.

Finalmente, los SIG permiten una visualización clara y efectiva de los resultados, facilitando la generación de mapas temáticos y reportes que integren datos cualitativos y cuantitativos. Esto no solo fortalece el análisis científico, sino que también apoya procesos de planificación y conservación territorial, contribuyendo al manejo sostenible de los ecosistemas estratégicos en Tausa.

6.4 Injerencia de las comunidades en los cambios agrícolas y la gestión ambiental

El reconocimiento del concepto de frontera agrícola frente a la gestión y desarrollo tanto económico como cultural de comunidades, es muy impórtate toda vez que permite identificar como históricamente genera cambios en tanto en los territorios físicamente, y concienciación en la población que se pueden ver reflejados en las modificaciones de la idiosincrasia.

Las comunidades pertenecientes a la ruralidad de los territorios locales representan un papel fundamental en los cambios de la frontera agrícola toda vez que cumplan un rol directo o indirecto en la ejecución de esta, generando impactos en las dinámicas de los usos del suelo, puesto que este fenómeno puede darse por factores como la no posesión de terrenos productivos y la necesidad de abastecimiento y subsistencia, la falta de políticas públicas y la falta de integración a su vez en los comercios y sus políticas nacionales e internacionales, hacer el esfuerzo para comprender que el rol cumplen las comunidades dentro de los cambios de coberturas es la base que permitirá abordad las diferentes implicaciones, tanto sociales, económicos y ambientales.

Es importante resaltar que dentro de este fenómeno se pueden evidenciar varias motivaciones por las cuales se puede dar, entre ellas se encuentran:

- a) La presión demográfica, toda vez que el censo poblacional se pueda ver incrementado y por lo tanto la población se vea en la obligación de buscar nuevas tierras. (Carr, 2009)
- b) Falta de acceso a tierras productivas, la población rural se puede entender con la necesidad de recurrir a zonas forestales o lejanas, toda vez que evidencien los terrenos más productivos ya copados y la distribución desigual del territorio. (Deininger & Byerlee, 2011).
- c) Conexión con mercados agrícolas de mayor envergadura, la integración del valor agrícola con los mercados internacionales puede implicar una mayor demanda en las producciones lo cual implica expansión en los territorios agrícolas e incentivar la conversión de los ecosistemas naturales en monocultivos (Rudel et al., 2009).
- d) El incremento también puede obedecer a la necesidad de suplir condiciones básicas materiales de existencia y su vez económicas; que permitan mejorar los ingresos de los hogares rurales.

Es imperativo considerar en el panorama, que la injerencia de las comunidades en la expansión agrícola también puede traer consigo consecuencias asociadas, por lo tanto, no puede realizarse un análisis sin incluir a la sociedad con la naturaleza, toda vez que las comunidades pueden tener dentro de sí, impactos sociales como conflictos respecto al uso del suelo, la ocupación de nuevas tierras sin posesión legal de las mismas, pérdida de medios materiales de existencia tradicionales, el avance agrícola puede generar cambios en las prácticas tradicionales del manejo del territorio. La migración, una vez sea considerada la pérdida de recursos por las grandes explotaciones agrícolas en condiciones de desventaja para las comunidades. (Barbier, 2012).

Adicionalmente las comunidades rurales juegan un papel importante en la conservación de los ecosistemas y la mitigación de los impactos negativos que pueden generarse dado el fenómeno de la expansión agrícola, y que, con prácticas agroecológicas con modelos sostenibles pueden optimizar las producciones que ayude con la regeneración del suelo y la biodiversidad, y que a su vez ayudan a prevenir la deforestación. Una estrategia de mitigación que puede identificarse en las formas de vida de las comunidades para remediar en alguna medida es la gestión comunitaria de recursos, los cuales consiste en gestionar colectivamente áreas protegidas, en los cuales se puede conjugar el conocimiento ancestral y tradicional con las nuevas tecnologías para la preservación de los mismos. La inclusión de las comunidades en la gesta de políticas públicas, que promueva las buenas prácticas agrícolas, es un factor que puede ayudar a generar un cambio en la estructuración de cultivos de gran envergadura y mayor productividad (Larson et al., 2008).

7 Metodología

El estudio se desarrollará utilizando un enfoque metodológico mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos para analizar de manera integral la afectación de los ecosistemas estratégicos en el municipio de Tausa debido a los cambios de la frontera agrícola. Este enfoque permitirá una evaluación exhaustiva tanto de los cambios en la cobertura del suelo como de la percepción y participación de la comunidad local en la gestión de los recursos naturales.

7.1 Enfoque Metodológico y Tipo de Estudio

La investigación en curso adopta un enfoque mixto, con predominio del método cuantitativo, complementado por observaciones y aportes de tipo cualitativo. Se combinan datos cuantitativos obtenidos a partir del análisis de imágenes satelitales y el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar y cuantificar los cambios en la cobertura del suelo en el municipio de Tausa, Cundinamarca, entre diciembre de 2014 y enero de 2025.

Asimismo, se emplean métodos cualitativos a través de la recolección de datos mediante encuestas estructuradas aplicadas a actores locales e institucionales, lo cual permite comprender las percepciones, prácticas y conocimientos relacionados con el uso del suelo, las actividades agropecuarias, la percepción ambiental y los procesos de transformación territorial.

- Métodos cuantitativos: Análisis de imágenes satelitales y herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar y cuantificar los cambios en la cobertura del suelo entre el 2014 y 2024
- Métodos cualitativos: Recolección de datos mediante encuestas estructuradas a actores locales e institucionales, permitiendo comprender las percepciones, prácticas y conocimientos relacionados con el uso del suelo y la conservación de los ecosistemas.

El tipo de estudio será descriptivo y correlacional:

- Descriptivo: Para documentar y analizar los cambios en la cobertura del suelo en Tausa entre diciembre de 2014 y enero de 2024.
- Correlacional: Para evaluar la relación entre los cambios de la frontera agrícola y sus impactos en los ecosistemas estratégicos, considerando tanto factores ambientales como

socioeconómicos.

7.2 Diseño de investigación

Se emplea un diseño mixto, combinando enfoques cuantitativos y cualitativos. Para el análisis de los cambios en la cobertura del suelo, se implementará un diseño longitudinal, utilizando imágenes satelitales (Landsat 8) que permiten observar las transformaciones ocurridas entre diciembre de 2014 y enero de 2025. Esto facilita una comprensión temporal de la dinámica territorial y de la expansión de la frontera agrícola en el municipio de Tausa.

Paralelamente, se aplicará un diseño transeccional o transversal para la recolección de datos cualitativos y de percepción comunitaria. En este marco, se utilizó un diseño no experimental y transversal, dado que la información cualitativa fue recopilada en un único momento, sin manipulación de variables. A través de encuestas estructuradas dirigidas a actores locales, en las 8 veredas de estudio en el municipio. Esto permite una triangulación metodológica que enriquece la interpretación de los resultados, integrando la perspectiva temporal y espacial con la perspectiva social.

7.3 Procedimiento general

7.3.1 Recolección de información

Fuentes Primarias:

- Encuestas: Se realizarán 102 encuestas estructuradas a agricultores, líderes comunitarios y funcionarios de entidades ambientales, como la CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca) y la Alcaldía de Tausa. Esta información cualitativa permitirá entender las percepciones locales sobre los efectos de la expansión agrícola y posibles estrategias de mitigación.

Fuentes Secundarias

- Imágenes satelitales: Se recolectaron 4 imágenes satelitales Landsat 8 de la plataforma Earth Explorer, con un nivel 2 de procesamiento. Las imágenes corresponden a los años 2014, 2015, 2018 y 2024, donde su procesamiento se realizó en el software ArcGIS Pro.

- Datos cartográficos y cobertura terrestre: Mediante información cartográfica y el conocimiento de la zona de estudio, se determinaron las coberturas principales del área, las cuales basados en la metodología Corine Land Cover (CLC), adoptada en Colombia desde 2010, se determinaron las siguientes 5 coberturas: Arbustal, Bosque de galería o ripario, Cultivos permanentes, Herbazal y Lagunas.
- Revisión bibliográfica: Se consultarán informes técnicos, estudios científicos, y bases de datos institucionales para complementar el análisis cuantitativo con información histórica y contextual.

7.4 Procedimiento SIG

7.4.1 Obtención de Insumos

El primer paso consistió en la recopilación de información secundaria con el fin de construir una base de datos geoespacial que permitiera analizar los cambios en la cobertura del suelo en el municipio de Tausa entre los años 2014 y 2024. Para ello, se seleccionaron imágenes satelitales provenientes del sensor OLI (Operational Land Imager) del satélite Landsat 8, descargadas desde la plataforma Earth Explorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Estas imágenes fueron elegidas con base en criterios específicos que aseguran su idoneidad para el análisis multitemporal: cobertura total del municipio, escenas correspondientes a los años 2014, 2018 y 2024, formato GeoTIFF con sistema de referencia geográfica WGS 84, resolución espacial de 30 metros, calidad radiométrica alta y un índice de nubosidad inferior al 10%.

Además de las imágenes satelitales, se recopilaron insumos geográficos complementarios a través de fuentes oficiales como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Entre estos insumos se encuentran capas de uso y cobertura del suelo, divisiones político-administrativas, redes hidrográficas, mapas topográficos y modelos digitales de elevación, que resultan esenciales para contextualizar y respaldar los análisis espaciales.

Paralelamente, se integraron estudios técnicos previos, datos socioeconómicos, información climática y reportes institucionales, así como los factores que han influido en la transformación del paisaje. Este conjunto de información constituye la base sobre la cual se desarrolla el procesamiento, análisis y validación de resultados dentro del enfoque geoespacial

propuesto en esta investigación, las cuales permitirán comprender las dinámicas de transformación del territorio.

7.4.2 Preparación de Imágenes Satelitales

Con la recolección de imágenes satelitales, se procedió a recortarlas al área de estudio, y a configurar las imágenes de acuerdo con la combinación RGB en Landsat 8 (Tabla 2), primero con las bandas RGB de 4-3-2 (Color natural) para hacer una visualización inicial del área, y después la configuración RGB 6-5-2, esta última se usa para análisis de agricultura, por lo que permite diferenciar mejor los diferentes tipos de coberturas vegetales en el área.

Tabla 2

Lista de las principales combinaciones RGB y usos para imágenes satelitales Landsat 8

Combinación RGB	Aplicación principal / Descripción
432	Color Natural: Es una composición que se aproxima al color real de las coberturas ante la vista humana
543	Infrarrojo Color: Esta combinación da como resultado una imagen muy similar a la tradicional fotografía aérea infrarrojo color. Es útil para estudios de vegetación, patrones de suelos, crecimiento de cultivos y monitoreo de drenajes. La vegetación saludable tiende a una apariencia rojo brillante
562	Combinación útil para distinguir vegetación saludable
564	Combinación útil para diferenciar tierra/agua y para destacar áreas de bosque
652	Agricultura
654	Análisis de vegetación

Tomado y modificado de: "Composiciones Landsat en ArcGIS" de Rodolfo Franco (2017).

7.4.3 Clasificación supervisada de coberturas

Una vez obtenidos los insumos, se procedió a realizar la clasificación supervisada, primero se definieron las coberturas a utilizar, las cuales son: Cultivos permanentes, Bosques de galería o ripario, Herbazal, Arbustal y Lagunas, que se presentaban en el área de estudio según el mapa de "Coberturas y Usos de la tierra jurisdicción CAR a escala 1:10.000" (Tabla 3). Estas coberturas

fueron clasificadas a partir de imágenes satelitales Landsat 8, con una resolución espacial de 30 metros, lo que permitió alcanzar una clasificación hasta nivel 3 de acuerdo con la metodología Corine Land Cover, con excepción de los cultivos permanentes, que solo pudieron ser clasificados hasta nivel 2 debido a las limitaciones de la resolución espacial la cual no permite diferenciar tipos de cultivo.

Tabla 3
Coberturas identificadas en el área de estudio

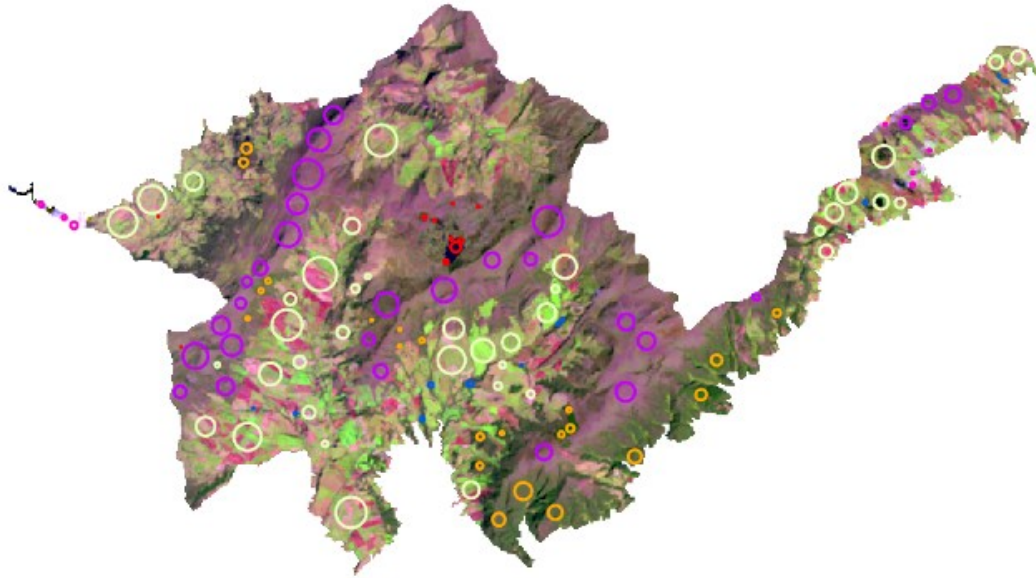
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Característica
2. Territorios Agrícolas	2.2 Cultivos permanentes		Predios agrícolas
3. Bosques y Áreas Seminaturales	3.1. Bosques	3.1.4. Bosque de galería o ripario	Ronda hídrica
	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1. Herbazal	Paramo alto, pajonal
		3.2.2. Arbustal	Paramo bajo, arbustos
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas continentales	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	Lagunas

Tomado y modificado de: "Coberturas y Usos de la tierra jurisdicción CAR a escala 1:10.000".

Siguiendo la metodología Corine Land Cover adoptada por el IDEAM en Colombia desde el 2010 para clasificar y monitorear las coberturas terrestres, se usó el software ArcGIS Pro, donde se crearon diferentes polígonos de entrenamiento, estos identificarán las coberturas establecidas en el área de estudio para cada una de las imágenes satelitales (Figuras 2, 3, 4 y 5), de esta forma alimentar los datos y disminuir el error al usar el algoritmo Maximum Likelihood, el cual nos dará un Raster que permita identificar y categorizar las coberturas del suelo de cada una de las imágenes satelitales recolectadas en el municipio de Tausa en distintos años.

Figura 2

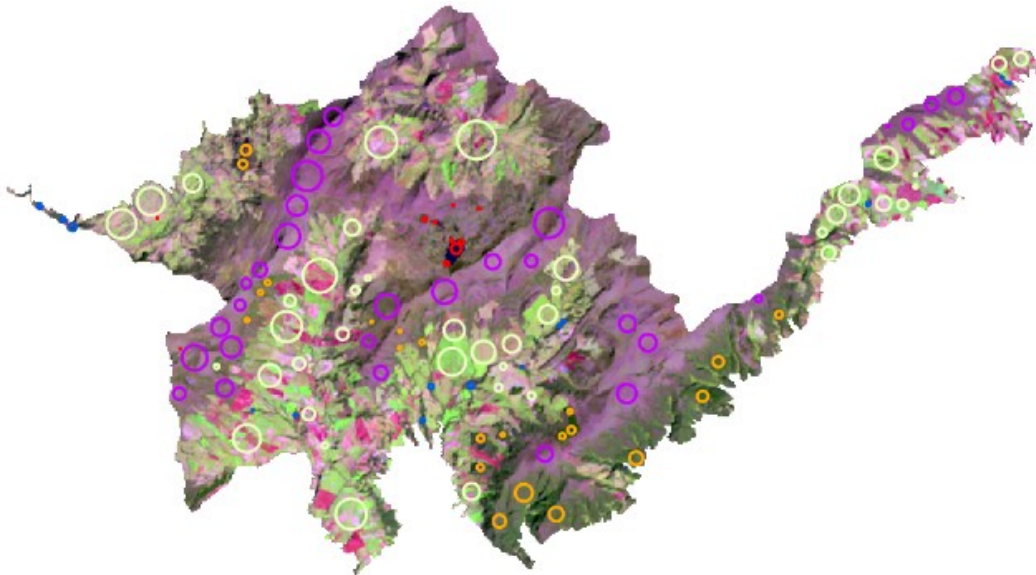
Polígonos de entrenamiento para las coberturas a identificar en la zona de estudio del año 2014, usadas en el algoritmo Maximum Likelihood en el software ArcGIS Pro.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3

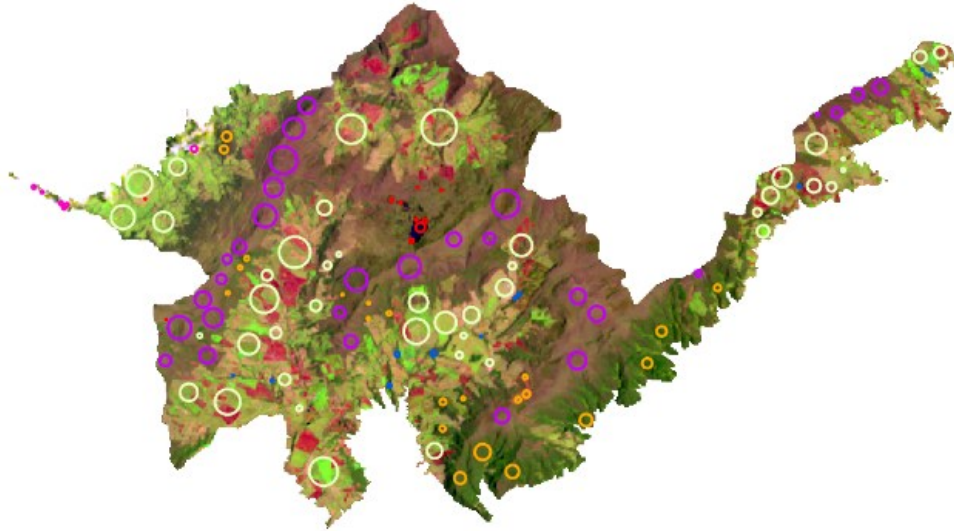
Polígonos de entrenamiento para las coberturas a identificar en la zona de estudio del año 2015, usadas en el algoritmo Maximum Likelihood en el software ArcGIS Pro.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4

Polígonos de entrenamiento para las coberturas a identificar en la zona de estudio del año 2018, usadas en el algoritmo Maximum Likelihood en el software ArcGIS Pro.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5

Polígonos de entrenamiento para las coberturas a identificar en la zona de estudio del año 2024, usadas en el algoritmo Maximum Likelihood en el software ArcGIS Pro.








Fuente: Elaboración propia.

Posterior a la aplicación de este algoritmo se realiza una limpieza a los datos con la herramienta Majority Filter lo que permitió que una gran parte de los polígonos más pequeños y aislados fueran absorbidos por las coberturas más dominantes en la zona, asemejándose más al contexto real de la zona de estudio. Teniendo estas capas más limpias, se procedió a eliminar las

coberturas de nubes con la herramienta Set Null, las cuales no son motivo de análisis en este estudio, y mediante la herramienta Nibble se rellenaron esos vacíos haciendo un proceso de extrapolación, teniendo como resultado unas coberturas continuas y coherentes con la superficie de la tierra en la zona de estudio. Posteriormente, se vectorizaron las coberturas clasificadas, mediante la herramienta Raster to Polygon, la cual convirtió los datos de un formato raster a un formato Vectorial, permitiendo visualizar cada cobertura como un polígono independiente. Finalmente, se aplicó la simbología correspondiente a cada cobertura, basada en los códigos RGB definidos por la metodología Corine Land Cover (Tabla 4), los cuales fueron tomados del póster elaborado por Franco (s.f.), con el fin de facilitar la representación visual.

Tabla 4

Código RGB para las coberturas identificadas en el área de estudio según la metodología CLC.

Cobertura	RGB	
Cultivos permanentes	242-204-166	
Bosque de galería o ripario	112-224-000	
Herbazal	204-242-078	
Arbustal	172-219-015	
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	000-128-255	

Tomado y modificado de: “Franco, R. (s.f.).”.

7.4.4 Análisis Multitemporal

Contando con la clasificación supervisada corregida de los años 2014, 2015, 2018 y 2024 se procedió a realizar el análisis multitemporal entre las coberturas que había en cada uno de estos años en las veredas seleccionadas del municipio de Tausa.

Inicialmente se realizó una intersección espacial entre pares de años consecutivos (2014 con 2015; 2015 con 2018; 2018 con 2024) mediante la herramienta Pairwise Intersect, lo cual permitió tener identificadas las zonas donde se presentaron cambios entre cada par de años analizados.

Teniendo estas áreas de cambios para cada par de años se procedió a exportar las tablas de cada uno de estos cambios lo que permitió obtener diferentes tipos de datos como porcentajes y áreas de cambio, cambios por cada una de las coberturas, pérdidas y ganancias de coberturas, balance neto del cambio y finalmente las áreas totales de cada una de las coberturas en los años analizados. Estos datos se mostrarán más adelante en el capítulo de resultados.

7.5 Encuestas

7.5.1 Población y muestra

La población objeto de estudio estuvo constituida por habitantes rurales del municipio de Tausa, con énfasis en las veredas: El Salitre, Lagunitas, Los Pinos, Llanogrande, Páramo Alto, Páramo Bajo, Sabaneque, San Antonio. Dando prioridad a campesinos, propietarios y habitantes con conocimiento del territorio y su transformación en los últimos años.

7.5.2 Instrumento y criterio de recolección de información

El instrumento principal fue una encuesta estructurada, diseñada con preguntas cerradas, dicotómicas y de opción múltiple, organizadas en secciones temáticas. Esta encuesta fue realizada mediante el aplicativo SURVEY123 de ESRI. El cuestionario incluyó aspectos como:

- Caracterización básica del encuestado y del predio.
- Actividades agropecuarias predominantes.
- Cambios observados en el uso del suelo en los últimos 10 años.
- Percepción sobre la afectación a ecosistemas estratégicos.
- Conocimiento y aplicación de prácticas de conservación ambiental.

7.5.3 Procedimiento de recolección de datos

La recolección de la información se realizó de forma presencial durante el primer semestre de 2025, por medio de visitas a las veredas previamente seleccionadas. Se empleó un formulario digital a través de un dispositivo móvil con la aplicación SURVEY123 para garantizar mayor precisión y rapidez en el registro de las respuestas. Se garantizó la confidencialidad de los datos y el consentimiento informado de los participantes. La encuesta realizada se dividió en tres partes, acordes a los aspectos mencionados anteriormente, la primera corresponde a los datos sociodemográficos (Tabla 5), la segunda sobre su incidencia en la frontera agrícola (Tabla 6), y la tercera y última es sobre la postura y conocimiento frente a la expansión de la frontera agrícola (Tabla 7).

Tabla 5*Sección sociodemográfica de la encuesta realizada en el área de estudio.*

Preguntas	Respuestas
¿En qué rango de edad se encuentra?	Menos de 20 años
	20-30 años
	31-40 años
	41-50 años
	Mas de 50 años
Genero	Masculino
	Femenino
Nivel educativo alcanzado	Sin educación formal
	Primaria completa
	Secundaria completa (bachillerato)
	Educación técnica o tecnológica
	Educación Universitaria o superior
Vereda a la que pertenece	El Salitre
	Lagunitas
	Los Pinos
	Llanogrande
	Páramo Alto
	Páramo Bajo
	Sabaneque
	San Antonio.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6*Sección de incidencia en la frontera agrícola de la encuesta realizada en el área de estudio.*

#	Preguntas	Respuestas
1	¿Cuál es su principal actividad económica?	Agricultura Ganadería Comercio u otro tipo de actividad no agraria No tengo una actividad económica establecida
2	Si trabaja en actividades agrícolas o ganaderas, ¿cuál es la extensión de su terreno?	Menos de 1 hectárea 1-5 hectáreas 6-10 hectáreas Mas de 10 hectáreas
3	¿Cómo ha cambiado el uso del suelo en su comunidad en los últimos 10 años?	Ha aumentado el área de cultivos y pastos Ha disminuido el área de cultivos y pastos Se ha mantenido igual No estoy seguro
4	¿Cómo ha afectado la expansión agrícola a su comunidad?	Mejora en ingresos familiares Más oportunidades de empleo Mayor disponibilidad de alimentos Deforestación o pérdida de bosques Disminución de la biodiversidad Contaminación de agua o suelos Aumento de conflictos por tierra

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7

Sección de postura y conocimiento sobre la frontera agrícola de la encuesta realizada en el área de estudio.

#	Preguntas	Respuestas
5	¿Considera que la expansión agrícola ha sido positiva o negativa para su comunidad?	Positiva Negativa No está seguro
6	¿Existen en su comunidad programas o proyectos de conservación ambiental?	Sí existen No existen No está seguro
7	¿Ha participado en actividades de conservación o manejo sostenible de recursos?	Han participado No han participado
8	¿Considera que la comunidad tiene suficiente información y recursos para manejar de forma sostenible sus tierras?	Sí tienen suficiente información No tienen suficiente información No está seguro
9	¿Qué prácticas agrícolas sostenibles utiliza o conoce?	No utiliza ninguna Uso de fertilizantes orgánicos Conservación de suelos Agroforestería Rotación de cultivos
10	¿Cree que las autoridades locales apoyan adecuadamente a la comunidad en temas ambientales y de conservación?	Consideran que sí hay apoyo Consideran que no hay apoyo No está seguro

Fuente: Elaboración propia.

7. 6 Integración de resultados cuantitativos y cualitativos

Una vez obtenidos los resultados de las encuestas y el análisis multitemporal se procede a relacionar los dos tipos de resultados, en donde se obtendrá una visión integral de la transformación del territorio en Tausa, combinando análisis espaciales con la percepción de la comunidad. La integración de herramientas SIG, teledetección y análisis cualitativos facilitará la identificación de las áreas más afectadas y sus principales causas, proporcionando información clave para la formulación de estrategias de mitigación y conservación de los ecosistemas estratégicos del municipio. Finalmente, con base en la integración de los hallazgos obtenidos, se formularán propuestas para la conservación de los ecosistemas y el ordenamiento territorial en Tausa, alineadas con los lineamientos del Plan de Desarrollo Municipal y otras políticas de sostenibilidad ambiental.

8 Resultados

8.1 Recolección de información

Se recolectaron diversos tipos de insumos cartográficos y geospaciales necesarios para el desarrollo del trabajo. Los datos más relevantes para la realización del análisis multitemporal y el componente social del trabajo se pueden observar en la Tabla 8.

Tabla 8

Resumen de insumos obtenidos, y sus usos.

Insumo	Año	Fuente	Uso en el estudio
Imágenes satelitales Landsat 8	2014, 2015, 2018 y 2024	USGS (Earth Explorer)	Clasificación supervisada y análisis multitemporal.
Mapa “Coberturas y Usos de la Tierra – Jurisdicción CAR”	2020	CAR	Identificación de clases de cobertura para la clasificación supervisada.
Metodología CORINE Land Cover (CLC) adaptada para Colombia	2010	IDEAM	Metodología y estructura para la clasificación de las coberturas.
Encuestas comunitarias	2025	Trabajo de campo	Complemento cualitativo para el análisis ambiental territorial.

Fuente: Elaboración propia.

Además, las imágenes satelitales de los años 2014, 2015, 2018 y 2024 recortadas con el área de estudio, en combinación RGB 4-3-2 asociadas a color natural (Figuras 6, 8, 10 y 12), y combinación RGB 6-5-2 para agricultura (Figuras 7, 9, 11 y 13), que se muestran a continuación:

Figura 6

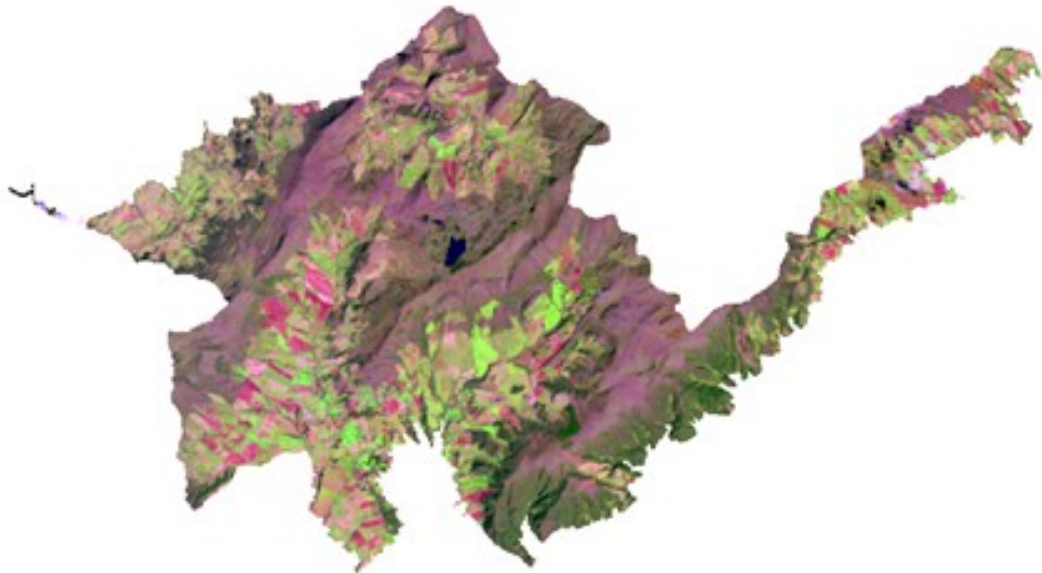
Recorte del área de estudio de la imagen satelital del 2014 en configuración RGB 4-3-2 (Color verdadero).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7

Recorte del área de estudio de la imagen satelital del 2014 en configuración RGB 6-5-2 (Agricultura).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8

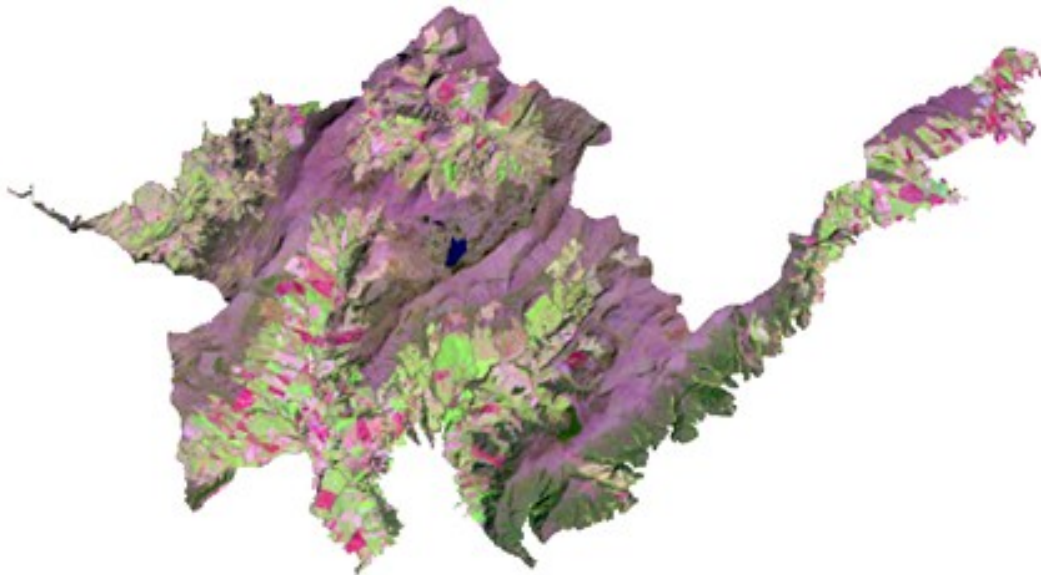
Recorte del área de estudio de la imagen satelital del 2015 en configuración RGB 4-3-2 (Color verdadero).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9

Recorte del área de estudio de la imagen satelital del 2015 en configuración RGB 6-5-2 (Agricultura).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10

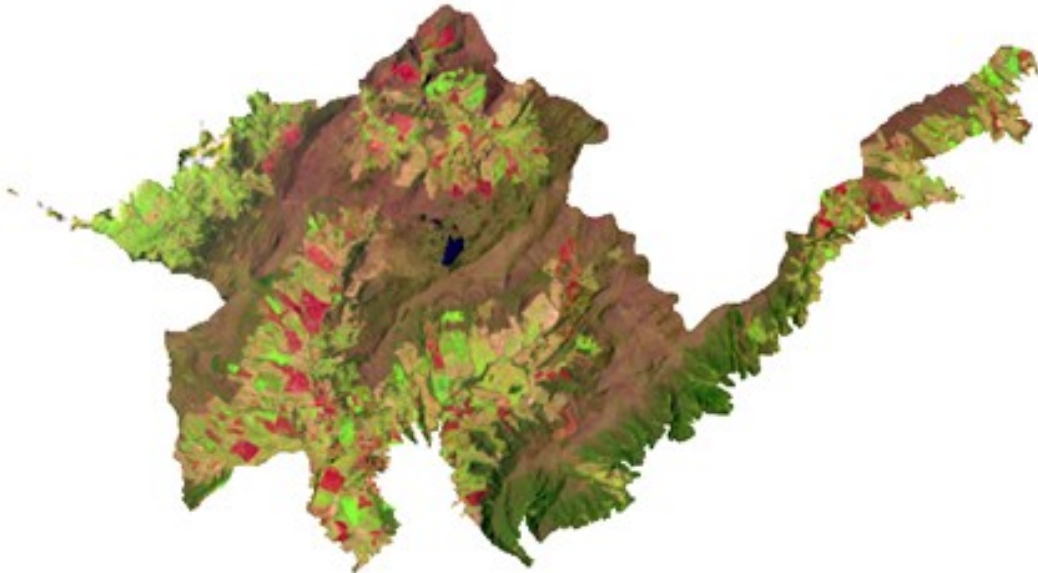
Recorte del área de estudio de la imagen satelital del 2018 en configuración RGB 4-3-2 (Color verdadero).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11

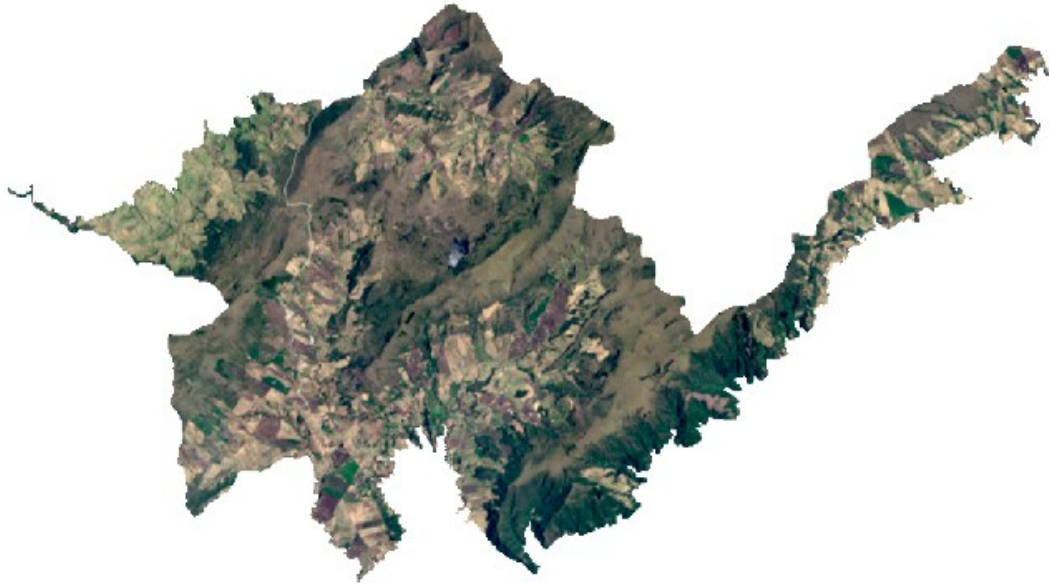
Recorte del área de estudio de la imagen satelital del 2018 en configuración RGB 6-5-2 (Agricultura).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12

Recorte del área de estudio de la imagen satelital del 2024 en configuración RGB 4-3-2 (Color verdadero).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 13

Recorte del área de estudio de la imagen satelital del 2024 en configuración RGB 6-5-2 (Agricultura).



Fuente: Elaboración propia.

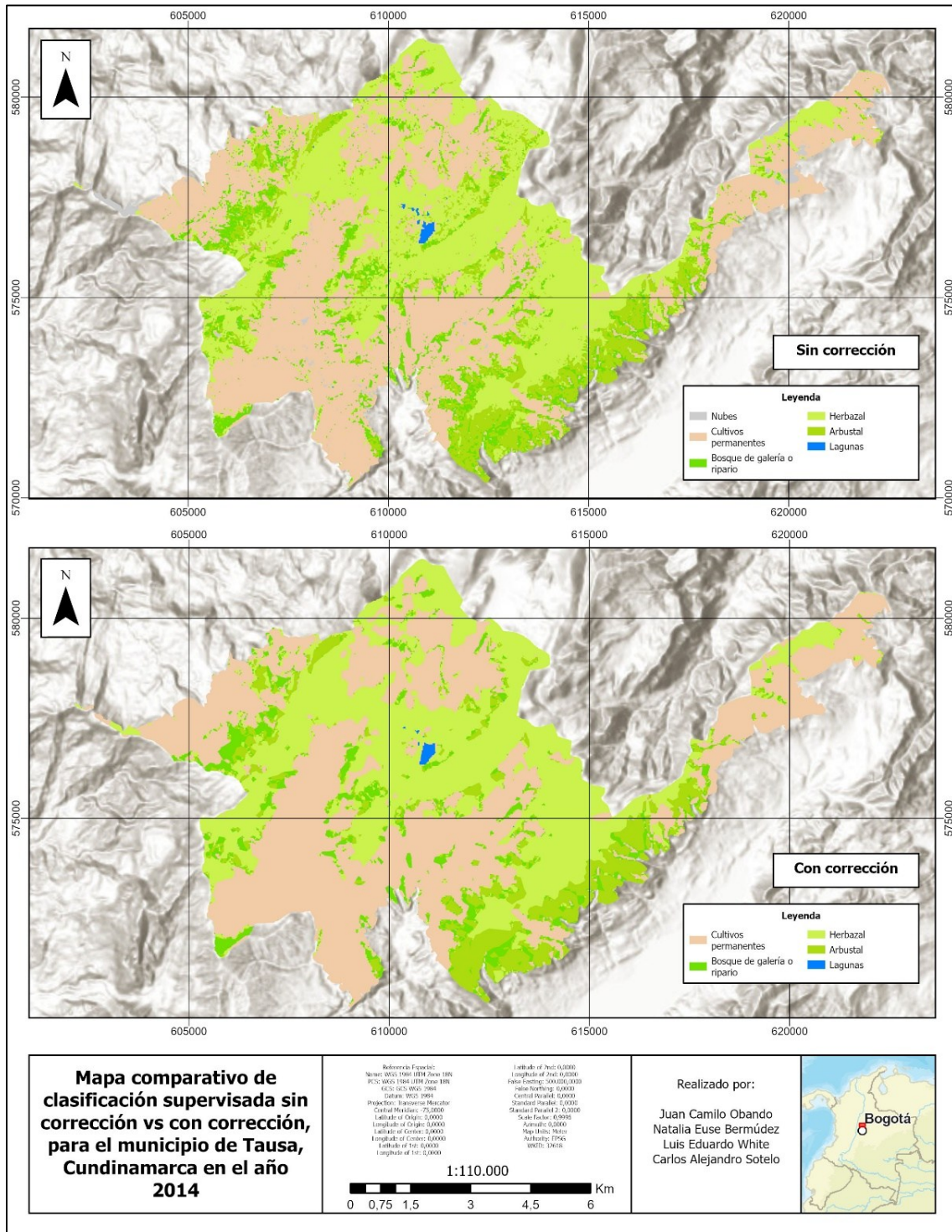
8.2 Procedimiento SIG

8.1.1 Clasificación supervisada de coberturas

En las Figuras 14, 15, 16 y 17 se podrá observar de manera gráfica el resultado de las coberturas para cada uno de los años analizados antes y después de aplicar las correcciones tales como fueron la eliminación de nubosidad, extrapolación con la herramienta Nibble y el filtro Majority.

Figura 14

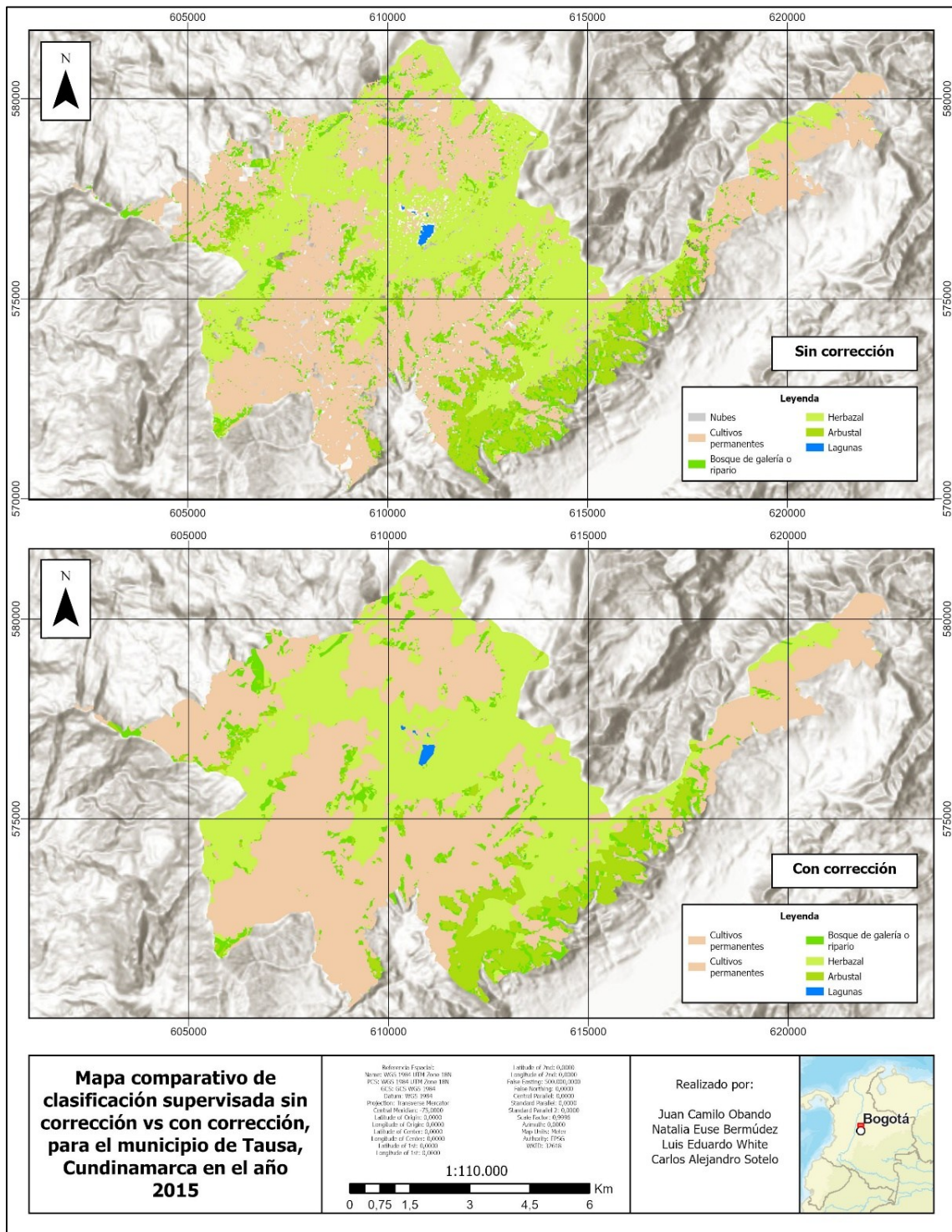
Mapa comparativo de clasificación supervisada sin corrección vs con corrección, para el municipio de Tausa, Cundinamarca en el año 2014.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15

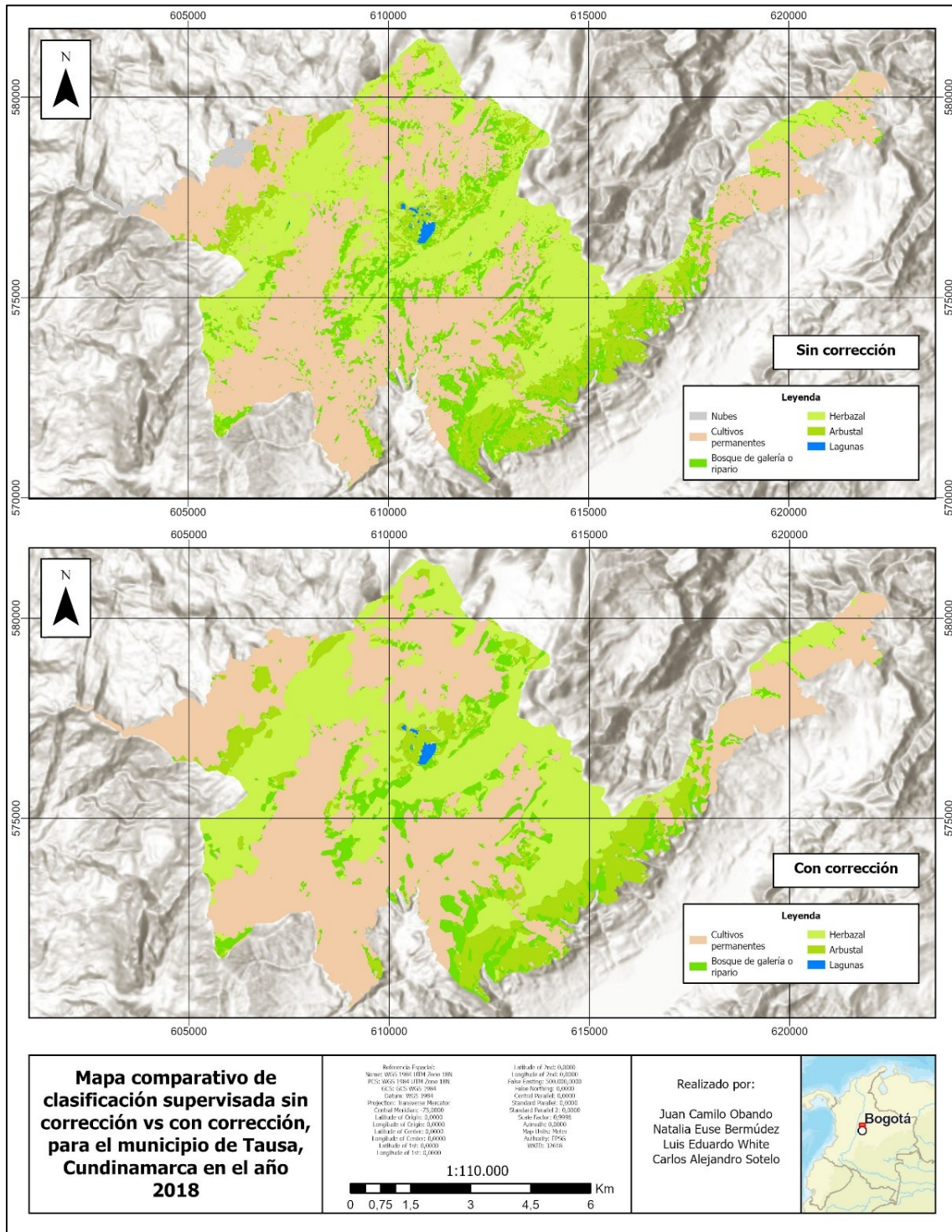
Mapa comparativo de clasificación supervisada sin corrección vs con corrección, para el municipio de Tausa, Cundinamarca en el año 2015.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16

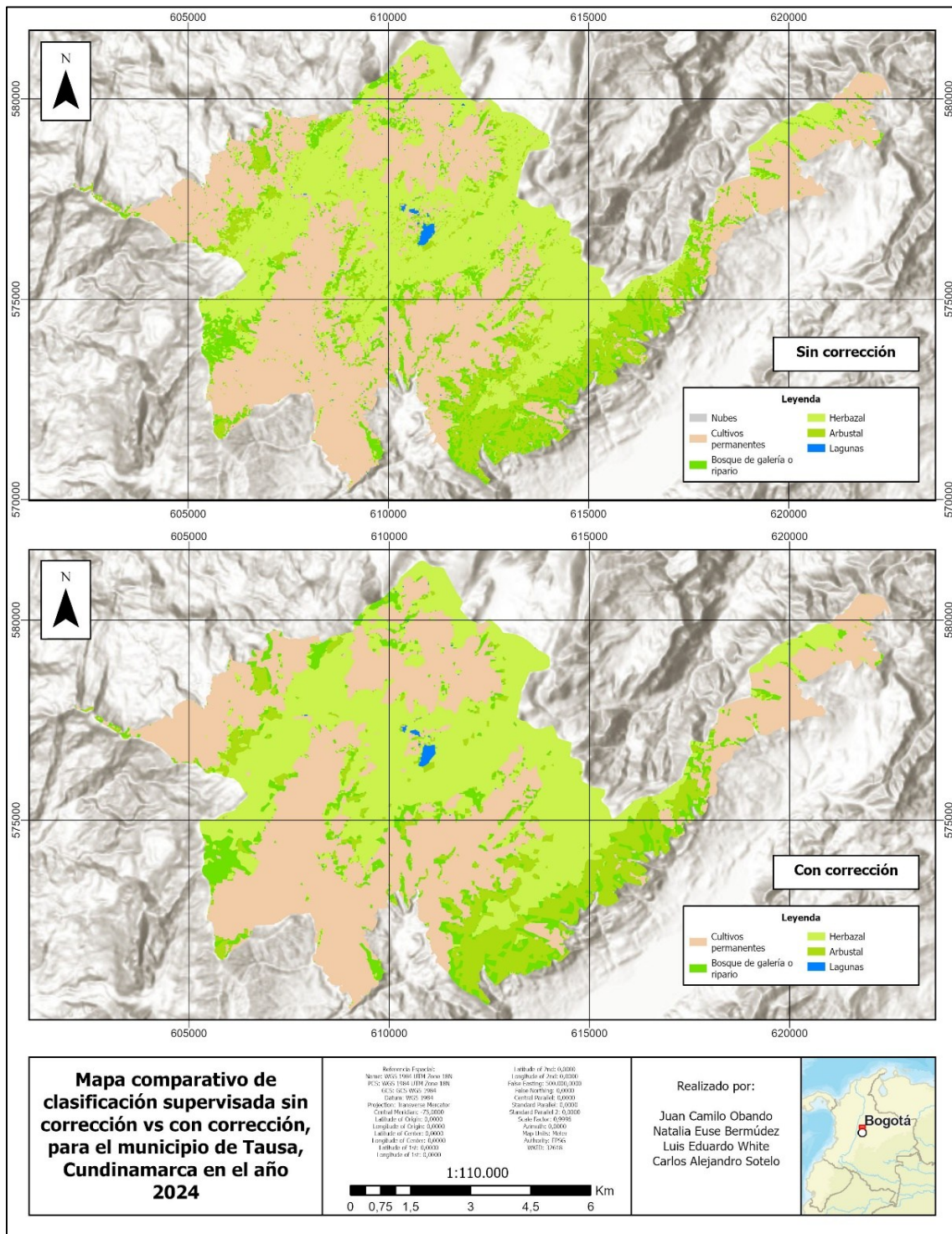
Mapa comparativo de clasificación supervisada sin corrección vs con corrección, para el municipio de Tausa, Cundinamarca en el año 2018.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17

Mapa comparativo de clasificación supervisada sin corrección vs con corrección, para el municipio de Tausa, Cundinamarca en el año 2024.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la Tabla 9, podemos observar de manera cuantitativa los datos de las coberturas mostradas en las tablas anteriores, donde se muestran las áreas totales de todos los años

analizados para cada una de las coberturas y también podemos ver representados estos datos en el gráfico de la Figura 18.

Tabla 9

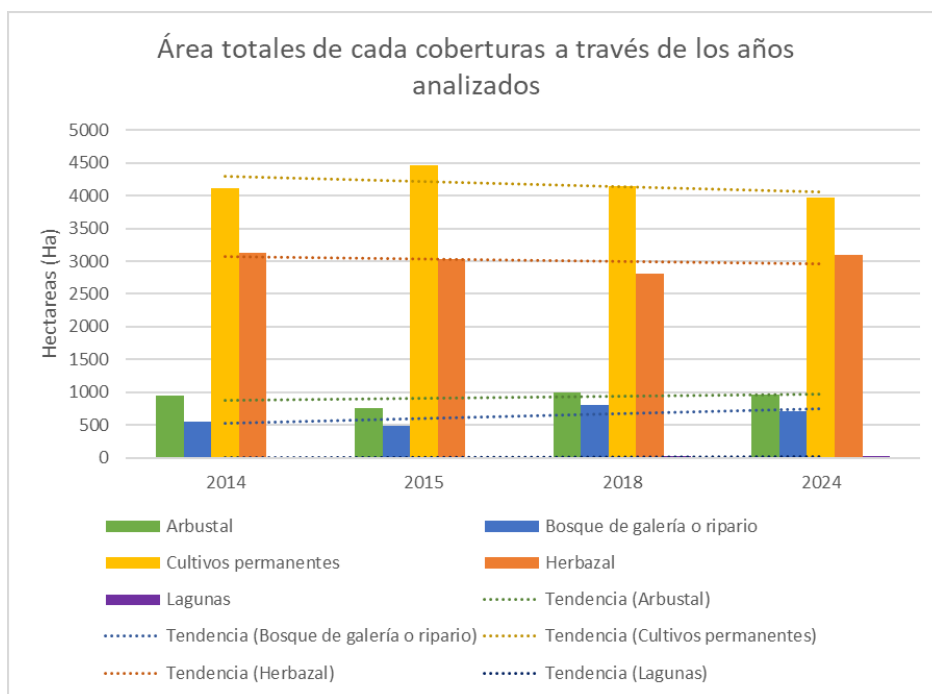
Área total en hectáreas (Ha) de cada cobertura por cada año analizado.

Cobertura	Área por año	Área (Ha)	Área (Ha)	Área (Ha)	Área (Ha)
		2014	2015	2018	2024
Cultivos permanentes		4118.498075	4467.701348	4143.847731	3976.559632
Bosque de galería o ripario		556.1106402	486.9424095	799.1018116	706.5395035
Herbazal		3132.510044	3036.137488	2801.217537	3093.604887
Arbustal		942.220654	758.4154275	1001.168722	967.5763122
Lagunas		15.5633849	15.7061272	19.56700458	20.62246484

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18

Gráfico del cambio de área en hectáreas (Ha) de cada cobertura en cada año analizado, con una línea de tendencia para su cobertura respectiva.



Fuente: Elaboración propia.

8.1.2 Análisis Multitemporal

A continuación, se podrán observar los resultados del análisis multitemporal como lo son las áreas de cambio, cambio por cada una de las coberturas, ganancias y pérdidas por cada cobertura, y el balance neto de las áreas para cada uno de los años analizados.

8.1.2.1 Áreas de cambio general

Los mapas de las Figuras 19, 21 y 23 exponen visualmente las zonas que cambiaron de cobertura. La Tabla 10 muestra de manera cuantitativa las hectáreas totales que presentaron cambios, como las que no, y de esta tabla se desprenden los gráficos de las Figuras 18, 20 y 22 que muestran el porcentaje y área de los cambios por cada periodo analizado de manera visual, todo lo anterior sin discriminar de que cobertura cambio a otra.

Tabla 10

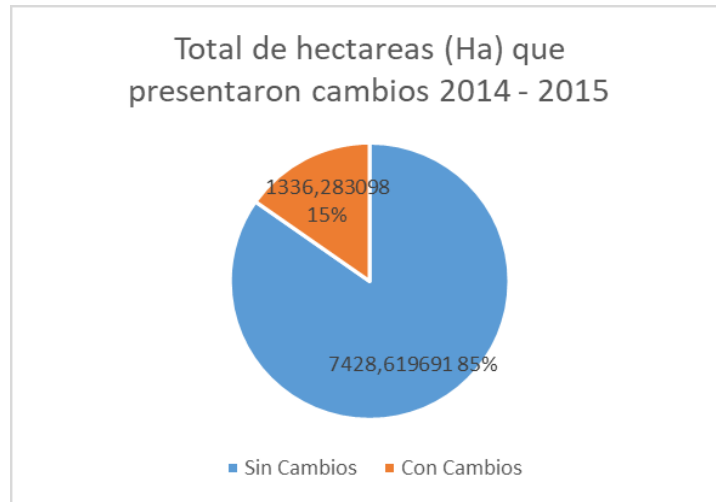
Muestra el total de áreas en hectáreas (Ha) que presentaron cambios, y que no presentaron cambios.

Cambio	2014 - 2015	2015 - 2018	2018 - 2024
Sin Cambios	7428,619691	7189,04215	7225,049709
Con Cambios	1336,283098	1575,860715	1539,853009

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19

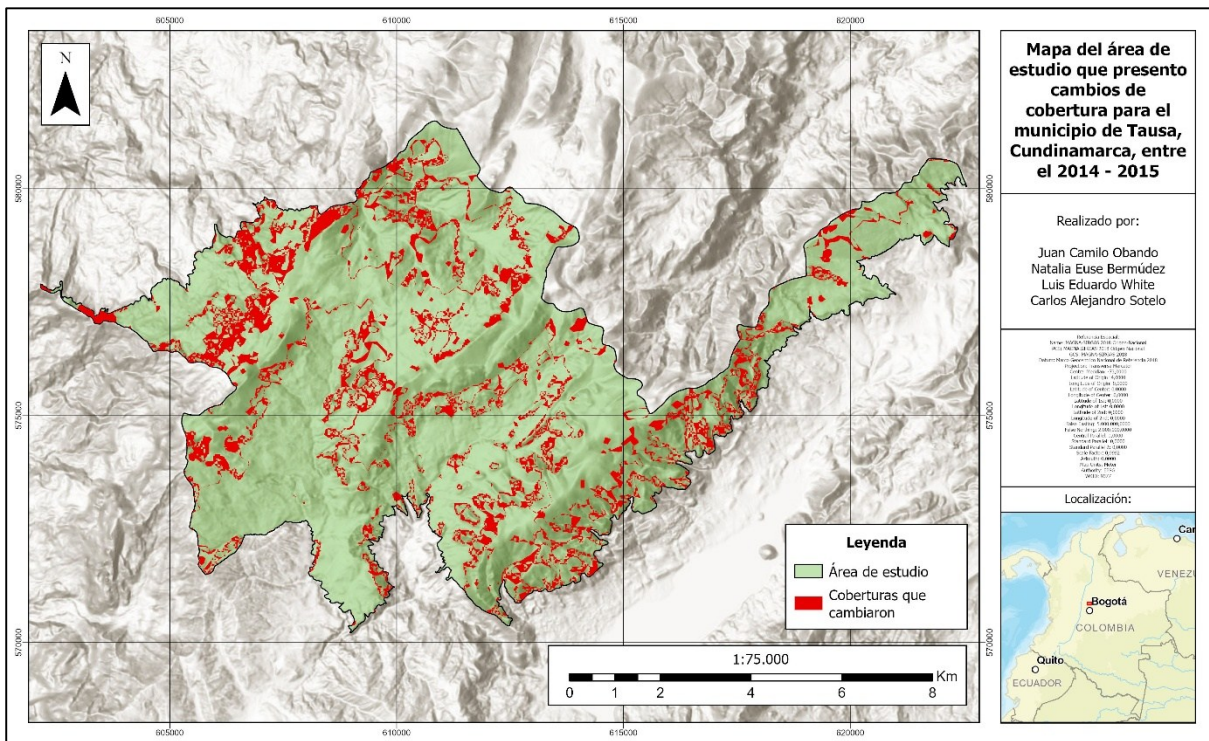
Gráfico del total del área que presentaron cambios y que no presentaron, para el análisis 2014 – 2015.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20

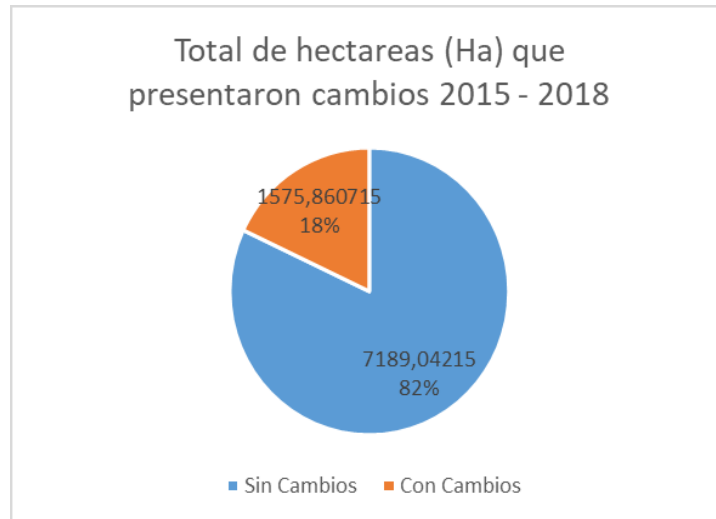
Mapa del área de estudio que presento cambios de cobertura entre el 2014 – 2015.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21

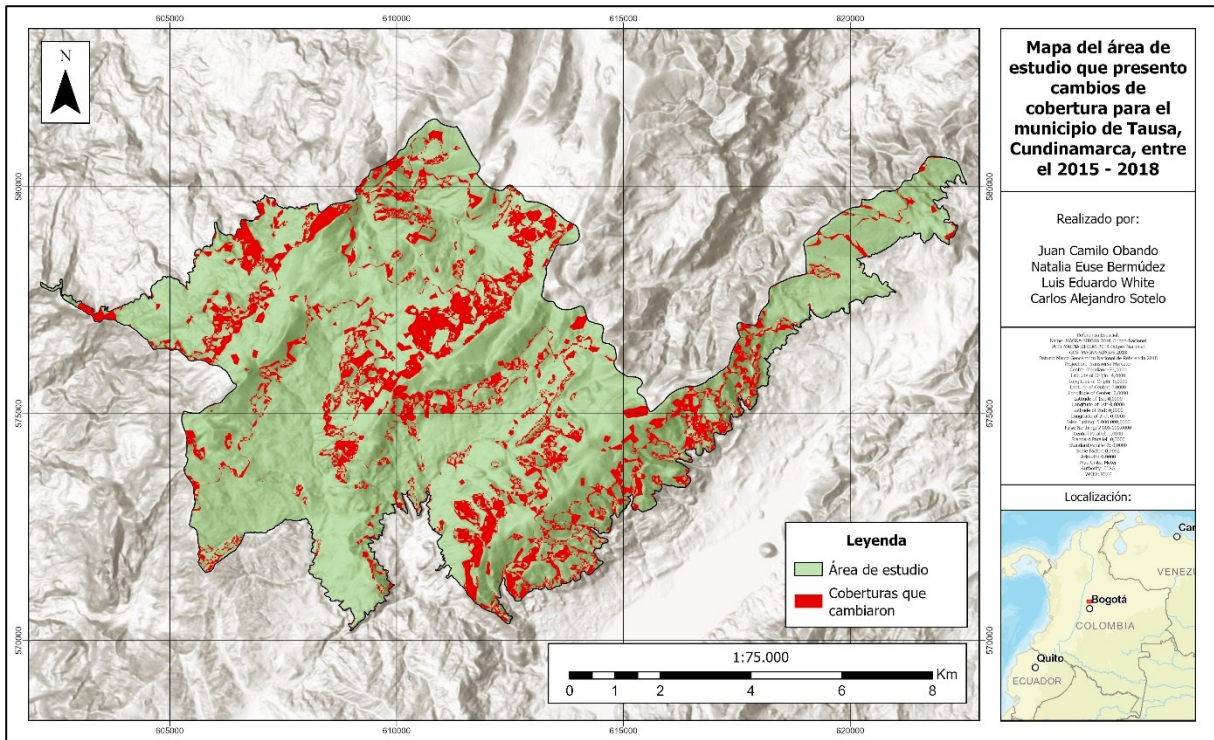
Gráfico del total del área en hectáreas (Ha) que presentaron cambios y que no presentaron, para el análisis 2015 – 2018.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22

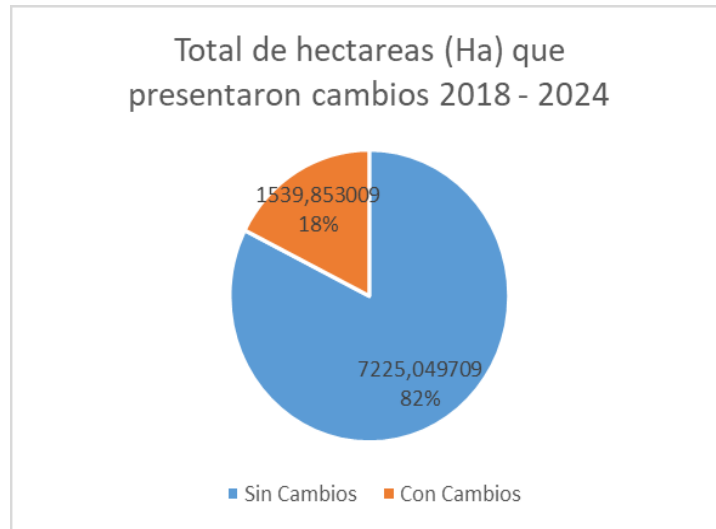
Mapa del área de estudio que presento cambios de cobertura entre el 2015 – 2018.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23

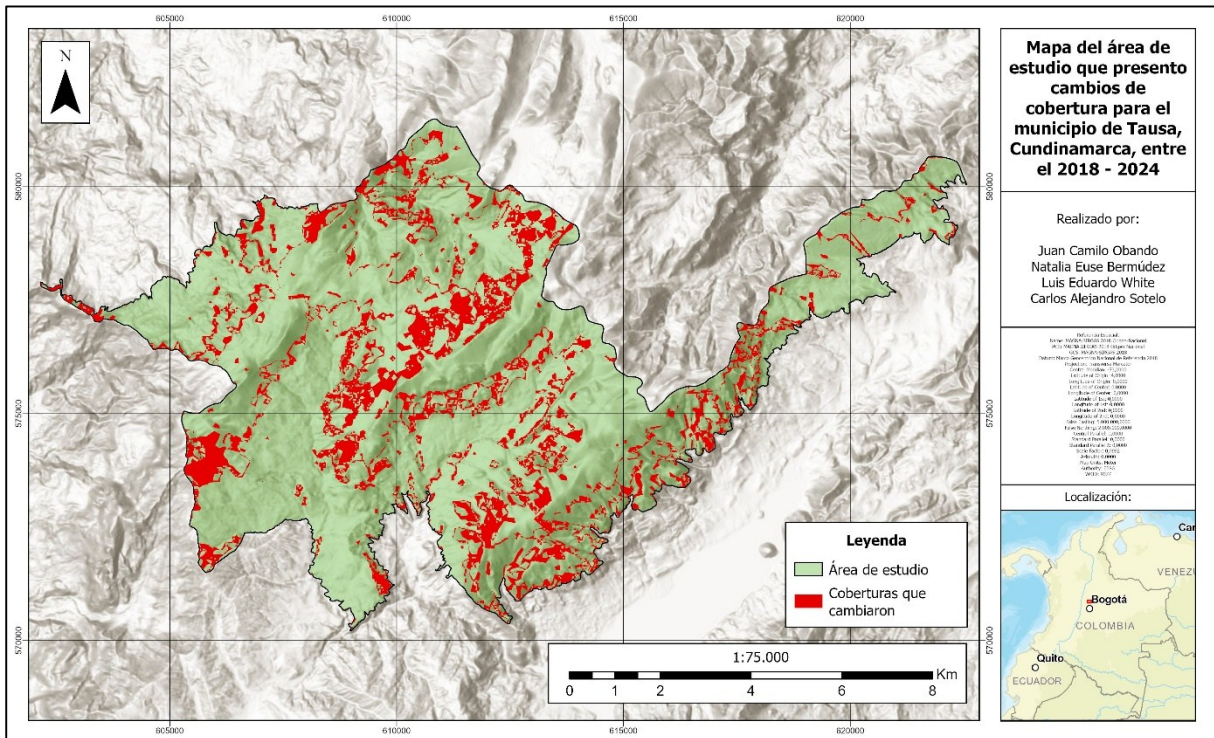
Gráfico del total del área en hectáreas (Ha) que presentaron cambios y que no presentaron, para el análisis 2018 – 2024.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24

Mapa del área de estudio que presento cambios de cobertura entre el 2018 – 2024.



Fuente: Elaboración propia.

8.1.2.2 Cambio por cada una de las coberturas

A partir de la Tabla 11, se obtuvieron gráficos (Figuras 25, 26 y 27) en los que se puede observar las áreas de cambios de una cobertura a otra por cada periodo analizado.

Tabla 11

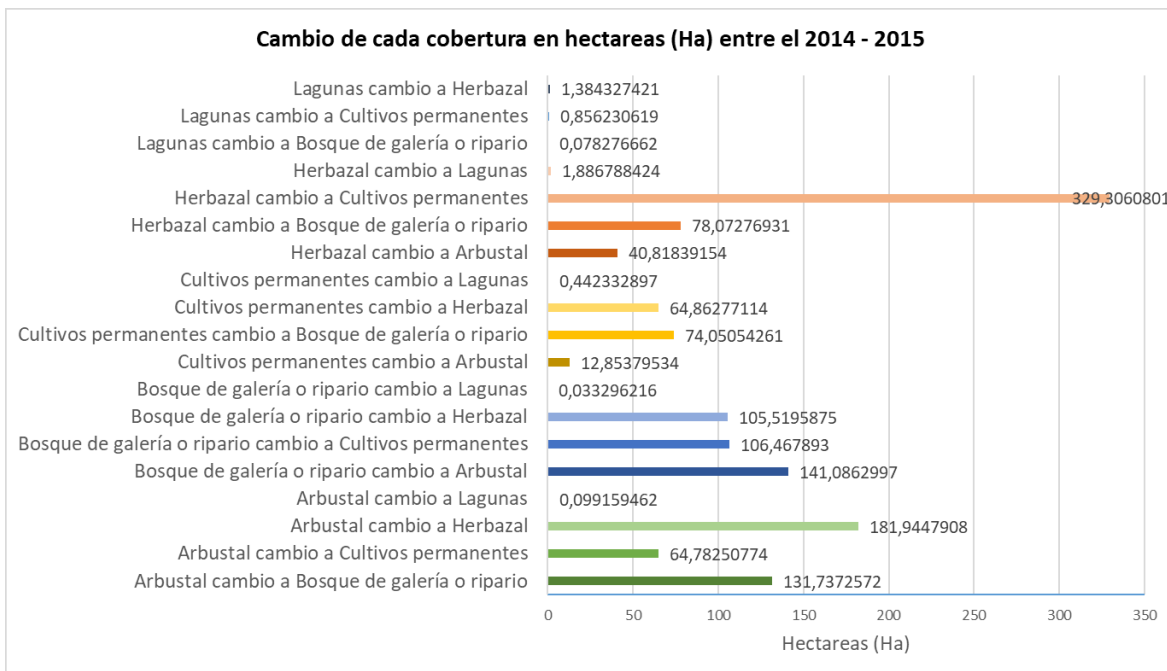
Muestra el cambio de cada cobertura y su área en hectáreas (Ha).

Antes / Después de las coberturas	Hectáreas (Ha)	Hectáreas (Ha)	Hectáreas (Ha)
	2014 - 2015	2015 - 2018	2018 - 2024
Arbustal cambio a Bosque de galería o ripario	131,7372572	211,7128872	136,3935449
Arbustal cambio a Cultivos permanentes	64,78250774	19,98528591	44,57198356
Arbustal cambio a Herbazal	181,9447908	18,30279553	200,7763681
Arbustal cambio a Lagunas	0,099159462	0	1,781507794
Bosque de galería o ripario cambio a Arbustal	141,0862997	137,0173696	238,731806
Bosque de galería o ripario cambio a Cultivos permanentes	106,467893	98,93669819	79,13073878
Bosque de galería o ripario cambio a Herbazal	105,5195875	35,76062883	199,3359829
Bosque de galería o ripario cambio a Lagunas	0,033296216	0,085069974	0,381149229
Cultivos permanentes cambio a Arbustal	12,85379534	94,46260993	53,89728168
Cultivos permanentes cambio a Bosque de galería o ripario	74,05054261	180,5934231	129,1295775
Cultivos permanentes cambio a Herbazal	64,86277114	243,6111268	171,3028647
Cultivos permanentes cambio a Lagunas	0,442332897	1,469973423	0,813638071
Herbazal cambio a Arbustal	40,81839154	260,5272834	56,7501728
Herbazal cambio a Bosque de galería o ripario	78,07276931	191,2826913	158,6520792
Herbazal cambio a Cultivos permanentes	329,3060801	77,32534193	63,42844047
Herbazal cambio a Lagunas	1,886788424	3,546685303	1,427515392
Lagunas cambio a Arbustal	0	0,746994925	0,551760043
Lagunas cambio a Bosque de galería o ripario	0,078276662	0,370162781	0,842154424
Lagunas cambio a Cultivos permanentes	0,856230619	0,036190755	0,724118767
Lagunas cambio a Herbazal	1,384327421	0,08749907	1,230315691

Fuente: Elaboración propia.

Figura 25

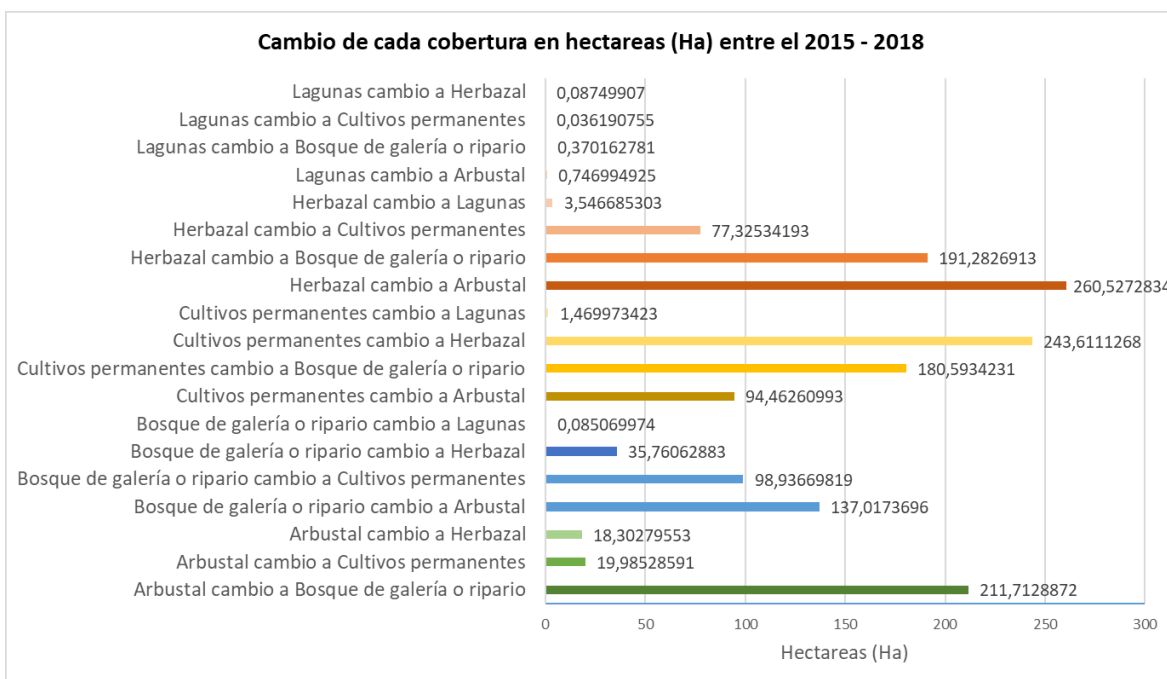
Gráfico del cambio de coberturas en hectáreas (Ha) para el análisis 2014 – 2015.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26

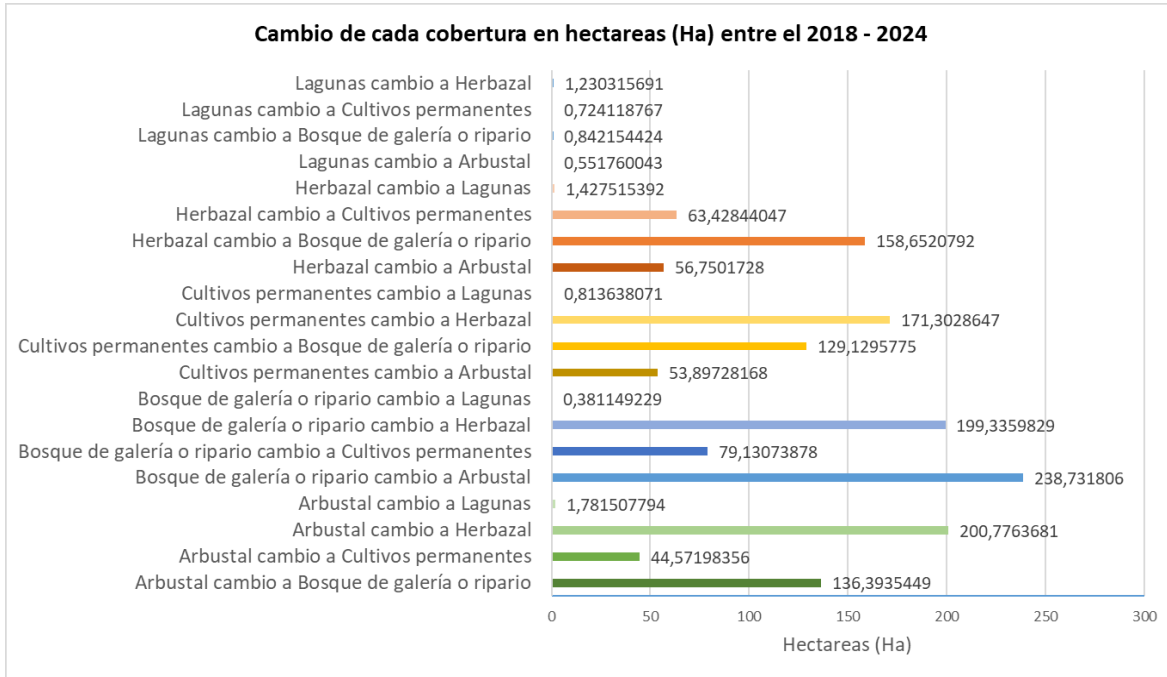
Gráfico del cambio de coberturas en hectáreas (Ha) para el análisis 2015 – 2018.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27

Gráfico del cambio de coberturas en hectáreas (Ha) para el análisis 2018 – 2024.



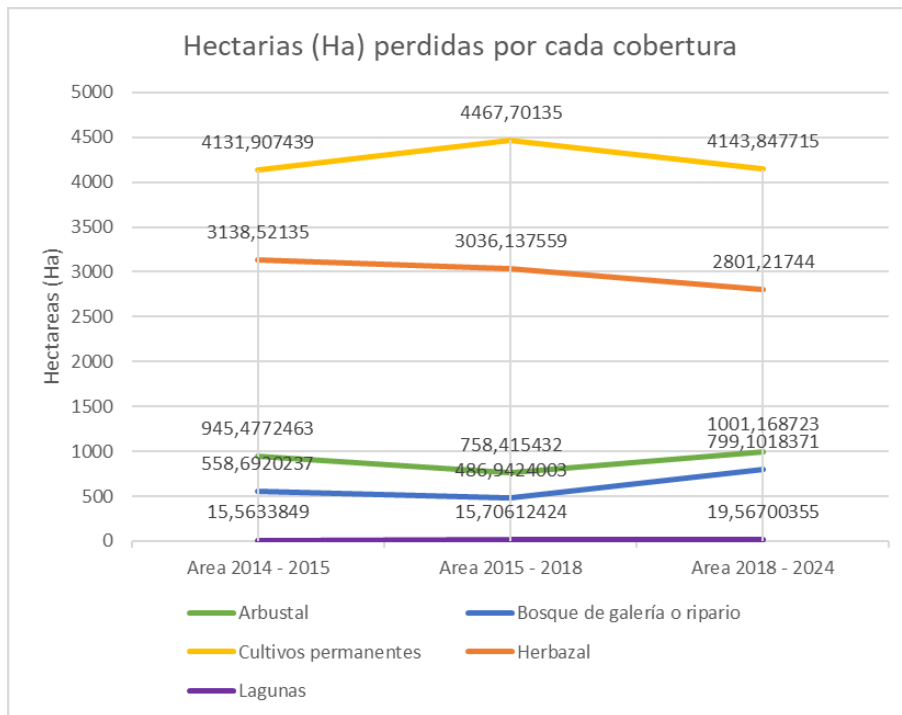
Fuente: Elaboración propia.

8.1.2.3 Pérdidas de cobertura

En esta gráfica (Figura 28) se pueden observar las pérdidas de área de cada una de las coberturas por cada periodo analizado.

Figura 28

Gráfico de la pérdida de área de cada cobertura en hectáreas (Ha) para cada periodo analizado.



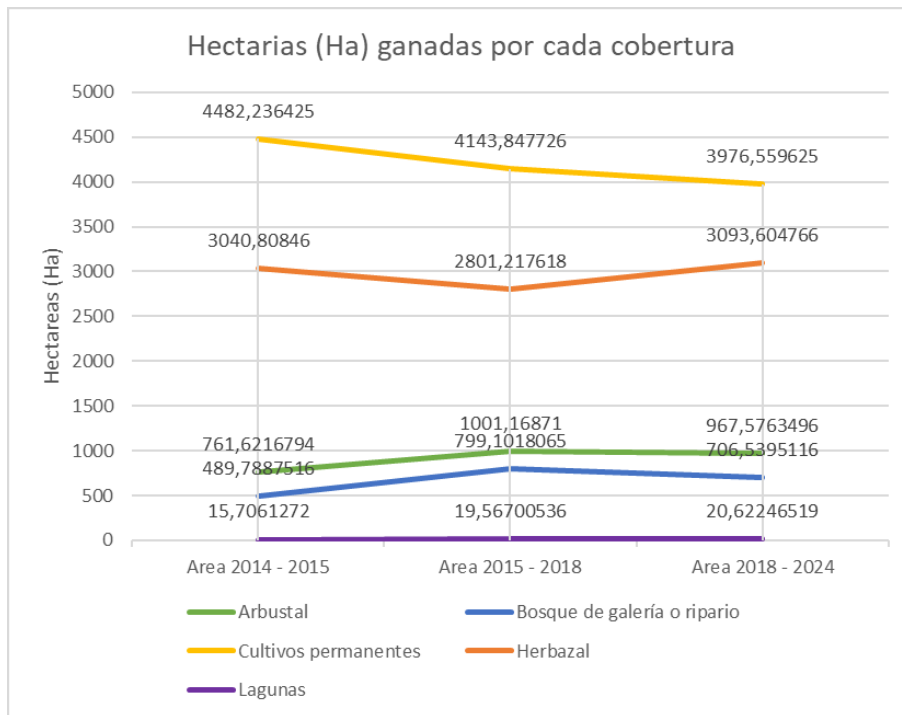
Fuente: Elaboración propia.

8.1.2.4 Ganancias de cobertura

En esta gráfica (Figura 29) se pueden observar las ganancias de área de cada una de las coberturas por cada periodo analizado.

Figura 29

Gráfico de la ganancia de área de cada cobertura en hectáreas (Ha) para cada periodo analizado.



Fuente: Elaboración propia.

8.1.2.4 Balance neto (Ganancias - pérdidas)

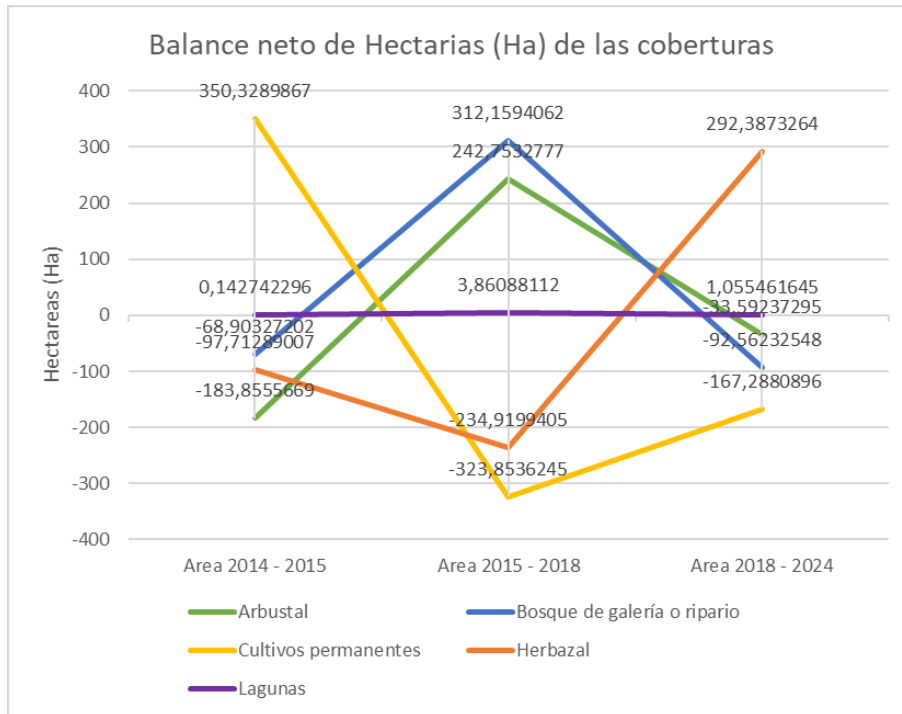
El gráfico correspondiente a la Figura 30 presenta el balance neto de cada cobertura para los distintos periodos analizados, calculado como la diferencia entre las ganancias y las pérdidas de área por cada tipo de cobertura. Este balance permite identificar si en los periodos de tiempos analizados, hubo un aumento o disminución por cada cobertura en la zona de estudio.

En el gráfico, los valores positivos indican que la cobertura tuvo una ganancia neta de superficie (es decir, aumentó respecto al año anterior), mientras que los valores negativos reflejan una pérdida neta de área.

Esta gráfica permite observar cómo se comportaron las coberturas a lo largo del tiempo, facilitando la identificación de tendencias de expansión o disminución en el uso del suelo.

Figura 30

Gráfico del balance neto de cada cobertura en hectáreas (Ha) para cada periodo analizado.



Fuente: Elaboración propia.

8.2 Resultados de las encuestas

Para el respectivo análisis poblacional en la zona rural, se procedió a implementar un total de 102 encuestas en el municipio de Tausa, dirigidas a agricultores, líderes comunitarios y actores institucionales relacionados con la gestión del territorio. Estas encuestas fueron aplicadas en distintas veredas que se encuentran dentro del área de estudio (Tabla 12), para conocer la perspectiva de la comunidad frente al uso de los suelos, los impactos de la agricultura en los suelos y la presencia del estado frente a los temas ambientales en la zona.

Tabla 12*Número de encuestas realizadas a cada vereda del área de estudio.*

Veredas	Cantidad de encuestas
El Salitre	16
Lagunitas	26
Los Pinos	8
Llanogrande	13
Páramo Alto	14
Páramo Bajo	7
Sabaneque	7
San Antonio	11

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizadas las encuestas en cada una de las veredas se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 13). Algunas preguntas presentan disparidad en la suma de sus porcentajes debido a que son de opción múltiple.

Tabla 13
Resultados de las encuestas.

Categoría	Variable	Resultados (%)	Total (Personas)
Demografía	Género masculino	49%	50
	Género femenino	49%	50
	Prefiere no responder	2%	2
Nivel educativo	Sin educación formal	7.8%	8
	Primaria completa	27.5%	28
	Secundaria completa	0,41%	42
	Técnica o tecnológica	15.7%	16
	Universitaria o superior	7.8%	8
Impactos de la expansión agrícola	Mejora en ingresos familiares	42%	43
	Más oportunidades de empleo	33%	34
	Mayor disponibilidad de alimentos	30%	31
	Deforestación o pérdida de bosques	38%	39
	Disminución de la biodiversidad	32%	33
	Contaminación de agua o suelos	34%	35
	Aumento de conflictos por tierra	31%	32
Percepción global de la expansión	Positiva	43%	44
	Negativa	41%	42
	No está seguro	16%	16
Existencia de programas de conservación	Sí existen	43%	44
	No existen	41%	42
	No está seguro	16%	16
Participación en actividades de conservación	Han participado	39%	40
	No han participado	61%	62
Suficiencia de información y recursos	Sí tienen suficiente información	39%	40
	No tienen suficiente información	51%	52
	No está seguro	10%	10
Prácticas agrícolas sostenibles	No utiliza ninguna	27%	28
	Uso de fertilizantes orgánicos	25%	26
	Conservación de suelos	18%	18
	Agroforestería	16%	16
	Rotación de cultivos	14%	14
Percepción de apoyo institucional	Consideran que sí hay apoyo	57%	58
	Consideran que no hay apoyo	29%	30
	No está seguro	14%	14

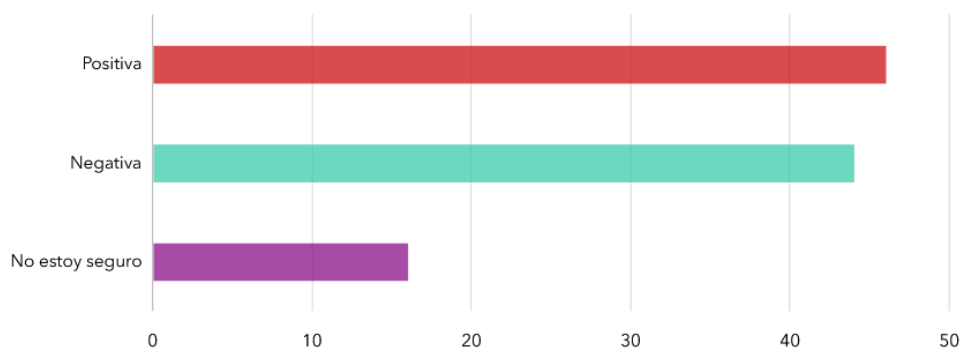
Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la visión social expresada, se pudo identificar una percepción social mixta respecto al uso del suelo. Se evidencia una tendencia al desconocimiento de programas de conservación, aunque también se considera que la frontera agrícola ha aumentado y puede

asociarse a un incremento en los ingresos familiares, si bien, el 43% (Figura 31) reconoce beneficios económicos derivados de la expansión agrícola, un porcentaje similar (41%) identifica impactos negativos significativos como deforestación, pérdida de biodiversidad, contaminación y conflictos por tierras, poniendo en manifiesto una coexistencia de beneficios económicos inmediatos con externalidades ecológicas y sociales negativas.

Figura 31

Gráfico de percepción de la frontera agrícola por la comunidad.



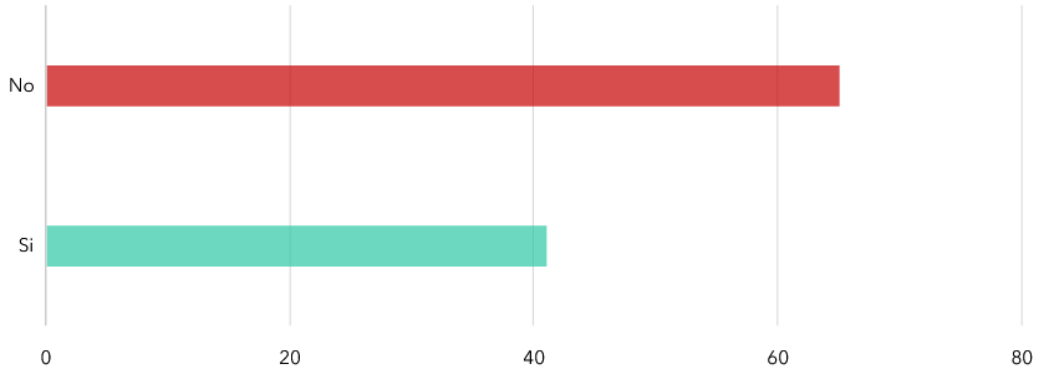
Fuente: Elaboración propia.

El análisis de las imágenes satelitales refleja una disminución en la frontera agrícola. De forma similar, la percepción de la población encuestada coincide parcialmente con este fenómeno. Sin embargo, es necesario considerar factores adicionales como la cercanía a las zonas de producción agrícola, el conocimiento del entorno y otras variables que permiten una visión más holística de la situación. Solo así se podrá comprender con mayor precisión la realidad que enfrenta el municipio en cuanto a la pérdida o ganancia de cobertura natural.

Los bajos niveles de participación comunitaria 39% (Figura 32) y la insuficiencia de información o recursos disponibles 51% (Tabla 13), explican la persistencia de prácticas agrícolas tradicionales poco sostenibles y una debilidad institucional para frenar los procesos de transformación ambiental. Adicionalmente, las prácticas sostenibles (Figura 33) aún tienen baja adopción: solo el 25% reporta uso de fertilizantes orgánicos y un 27% indica no utilizar ninguna práctica sostenible, lo que evidencia la necesidad de fortalecer los programas de asistencia técnica agroecológica.

Figura 32

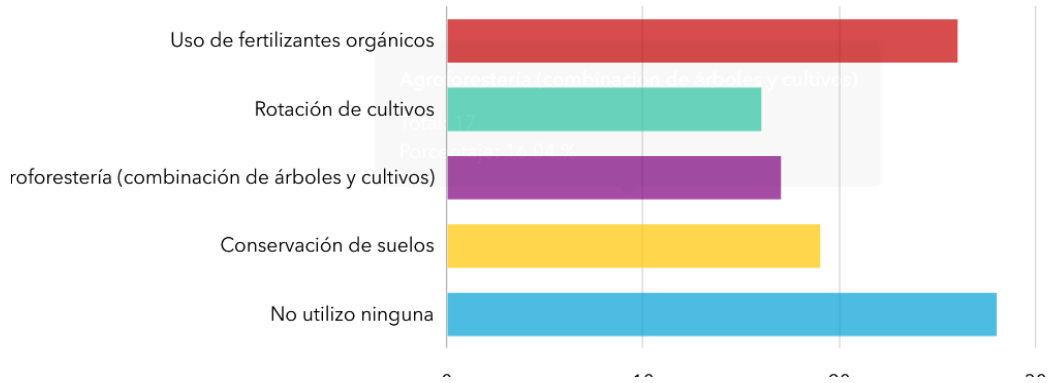
Gráfico de participación de la comunidad en actividades de conservación o manejo sostenible de recursos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 33

Gráfico de las prácticas agrícolas que conoce o practica la comunidad.



Fuente: Elaboración propia.

9 Discusión

Los resultados obtenidos con el análisis multitemporal mediante la metodología Corine Land Cover en el área de estudio del municipio de Tausa – Cundinamarca, permiten contrastar las hipótesis iniciales del trabajo lo que permitió validar parcialmente la hipótesis inicial, ajustándola a una dinámica más compleja observada en el territorio.

Estos resultados permiten responder parcialmente la pregunta de investigación, al evidenciar que, contrario a lo esperado en la hipótesis inicial, la frontera agrícola no aumentó, sino que presentó una reducción entre los años 2014 al 2024. En este periodo las coberturas agrícolas pasaron de un área de 4118.5 ha a un área de 3976.56 ha, teniendo en total una disminución de 141.94 ha. Como se observa en los resultados solo se pudo apreciar un aumento de las coberturas agrícolas entre los años 2014 al 2015, y desde ahí en adelante ha habido una tendencia a la disminución de esta cobertura. El análisis del balance neto por coberturas muestra que algunas coberturas naturales, como, recuperaron territorio previamente perdido, lo que puede indicar procesos de regeneración de las tierras y el abandono de tierras agrícolas.

Estos resultados del análisis multitemporal son relevantes, debido a que muestran un aumento en el cuidado de las zonas de importancia ecosistémica por parte de los habitantes del municipio de Tausa, en donde, si bien hay zonas específicas en las que hubo pérdida de herbazales y arbustales por la expansión agrícola, hubo una mayor cantidad de zonas donde se recuperaron estas coberturas frente a los cultivos agrícolas.

Estas dinámicas pueden estar influenciadas por diversos factores como por ejemplo las condiciones topográficas que limitan el avance de la frontera agrícola, un mayor nivel de conciencia ambiental por parte de la comunidad que podría estar asociado a los cambios en el uso de los suelos, o por una posible disminución de la población que trabaja de la agricultura, ya sea por desplazamiento a grandes urbes, o el cambio generacional que ya no busca una vida en el campo.

La percepción comunitaria en Tausa refleja una creciente preocupación por los efectos de las prácticas agrícolas sobre el medio ambiente y una disposición a adoptar modelos más sostenibles; esta conciencia puede ayudar en un futuro para impulsar iniciativas de conservación, reforestación y educación ambiental que fortalecen la cohesión social y dinamizan la economía local mediante nuevas formas de empleo.

Adicionalmente, otras posibles causas de la disminución de la frontera agrícola pueden deberse a las acciones de políticas de entidades como la CAR y actores municipales, sin embargo,

también se puede deberse, como se mencionó antes, a la migración de la población rural hacia zonas urbanas debido a la baja rentabilidad de los productos agrícolas.

Estudios desarrollados en zonas similares del altiplano cundiboyacense, como el de Buitrago Silva (2022), señalan que incluso sin una expansión evidente de la frontera agrícola, la presión ganadera y agropecuaria sigue generando procesos de degradación ecológica en ecosistemas estratégicos como los páramos; esto puede sugerir que, aunque la frontera agrícola haya disminuido, aun se pueden mantener presiones sobre las coberturas vegetales generando degradaciones en el suelo.

La percepción de la comunidad sobre la importancia de conservar los ecosistemas y la preocupación por los impactos negativos de la expansión agrícola se ve reflejada en la recuperación de coberturas de herbazales y arbustales. Esto coincide con lo reportado por Hernández Ramírez, M. A. (2020). quienes en un estudio en la región del Sumapaz evidenciaron que el involucramiento comunitario en procesos de reforestación puede modificar tendencias históricas de deforestación. Así mismo, análisis más amplios en las zonas altoandinas señalan que la disminución en la extensión agrícolas y la ampliación de las zonas naturales no siempre responde a políticas públicas, sino a dinámicas demográficas como la migración rural-urbana y factores como el envejecimiento poblacional. CEPAL (2019).

Es importante tener presente que evitar la expansión de la frontera agrícola no garantiza la conservación ni protección, sino se regulan los usos dentro los ecosistemas existentes. Aunque los resultados muestran una disminución de la frontera agrícola, las encuestas nos revelan también que la mayoría de la comunidad aún no cuenta con la formación ni el apoyo suficiente para desarrollar prácticas sostenibles.

En este contexto, es importante fortalecer la educación ambiental, aumentar la presencia de las entidades competentes en la zona como lo es la CAR y mejorar la articulación entre el estado y la comunidad, con el fin de mejorar las prácticas de desarrollo sostenible y así proteger los ecosistemas estratégicos como lo es el páramo de Guargua y Laguna Verde.

10 Conclusiones

A partir del análisis multitemporal basado en las líneas de tendencia de la gráfica “Áreas totales de cada cobertura a través de los años” (Figura 18), se evidencian pequeñas variaciones en la dinámica de uso del suelo en el municipio de Tausa. Específicamente, se observa un leve aumento en las áreas de coberturas de Arbustal y Bosque de galería o Ripario, así como una estabilidad en las coberturas de Herbazal y Lagunas. No obstante, también se reporta una disminución progresiva de las zonas destinadas a cultivos permanentes, lo que sugiere un cambio en las prácticas agrícolas.

Este comportamiento, si bien podría interpretarse como un indicio positivo hacia la recuperación de algunos ecosistemas, no garantiza por sí solo la conservación efectiva del territorio, pues el contexto revela un proceso de transformación agrícola en el que el equilibrio entre producción y conservación continúa siendo frágil. En efecto, aunque las áreas agrícolas muestran una reducción, los ecosistemas estratégicos aún se encuentran en riesgo, principalmente por la escasa intervención institucional, situación que deja la toma de decisiones ambientales en manos exclusivas de los habitantes, lo cual incrementa la vulnerabilidad del entorno.

Desde un enfoque metodológico, el uso de imágenes satelitales Landsat 8 con una resolución espacial de 30m, demostraron ser efectivas y eficaces a la hora de clasificar las coberturas de los suelos y posteriormente hacer un análisis multitemporal con las capas resultantes. Sin embargo, se reconoce la limitación de la resolución espacial empleada, la cual no permite el reconocimiento de coberturas más específicas, ni delimitarlas con precisión, así como también la falta de verificación en campo para poder tener mejores precisiones y validar la clasificación supervisada realizada.

En relación con la pregunta de investigación, los resultados permiten concluir que la frontera agrícola en Tausa no se expandió durante el periodo 2014–2024, sino que presentó una reducción en su área. Este hallazgo es fundamental, ya que evidencia que los cambios en el uso del suelo en el municipio no siguieron la tendencia esperada, ya que por el contrario disminuyeron de las áreas agrícolas. Esto podría estar asociado a dinámicas locales como el abandono de tierras o procesos de regeneración natural, lo que ofrece una perspectiva distinta para comprender la interacción entre prácticas productivas y conservación. Desde el punto de vista de la conservación de los ecosistemas estratégicos, esta reducción en la frontera agrícola implica una oportunidad para la recuperación de coberturas naturales como las zonas de páramo, que cumplen un papel esencial en la regulación hídrica, la captura de carbono y la biodiversidad.

En este escenario, la educación ambiental emerge como un componente fundamental; la falta de capacitación comunitaria en Tausa limita significativamente las posibilidades de promover un uso sostenible del suelo y de garantizar la conservación de los ecosistemas locales. Fortalecer el conocimiento local, en articulación con el respaldo institucional, resulta imprescindible para generar un modelo de desarrollo territorial que armonice la producción agrícola con la sostenibilidad ambiental.

Es importante destacar que la población más joven manifiesta una conciencia ambiental más activa y crítica, lo que representa un pilar clave para el diseño e implementación de intervenciones sostenibles a mediano y largo plazo. Esta actitud, orientada hacia la actualización de procesos y prácticas, constituye una oportunidad para fortalecer la resiliencia del territorio frente a los desafíos ambientales actuales y futuros.

Finalmente, los resultados de este estudio pueden servir como insumo para la planificación y el ordenamiento territorial del municipio de Tausa, así como también, pueden aportar a futuras investigaciones en el territorio sobre el uso de suelos, en modelos que intenten predecir los cambios de coberturas en el territorio o planes de gestión ambiental que busquen un equilibrio entre las necesidades de la población y el cuidado de los ecosistemas.

11 Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos, se recomienda fomentar una gobernanza ambiental participativa, donde diversos actores como comunidades locales, organizaciones civiles y entidades públicas y privadas colaboren en diseñar e implementar estrategias sostenibles que garanticen la viabilidad ambiental y productiva del territorio a mediano y largo plazo. Asimismo, se propone Incentivar la colaboración comunitaria, acompañada de un enfoque Investigación-Acción-Participativa (IAP), la cual constituye una clave para consolidación procesos restaurativos y de uso responsable del suelo.

Para mejorar la calidad del análisis multitemporal, se sugiere realizar un estudio más detallado de la zona, incorporando imágenes satelitales que presenten una mayor resolución espacial, lo cual permitiría identificar un mayor número de coberturas, delimitarlas mejor y obtener resultados más específicos. Posteriormente, se recomienda hacer verificaciones en campo que permitan ajustar y validar las clasificaciones de las coberturas para así mejorar la precisión y calidad del estudio. Además, se recomienda dividir el análisis por veredas, con el fin de localizar con mayor precisión los focos de transformación del paisaje y establecer prioridades de intervención más focalizadas.

Finalmente, se destaca la importancia de implementar programas de capacitación ambiental, dirigidos especialmente a las comunidades rurales del municipio. Estos programas deben enfocarse en prácticas agrícolas sostenibles y contar con el acompañamiento técnico de instituciones como el SENA, y deben tener el propósito de fortalecer el manejo adecuado del suelo y promover la conservación de los ecosistemas estratégicos.

Referencias

- Barbier, E. B. (2012). *The Role of Natural Resources in Economic Development*.
- Barragán Rodríguez, M. U., & Arias Gutiérrez, A. M. (2020). *Análisis de la expansión de la frontera agrícola y propuesta de solución a eventuales conflictos*. Bogotá D.C.
- Buitrago Silva, P. J. (2022). *Pérdida de bosque alto andino por procesos de paramización y cambio climático en ecosistemas de alta montaña*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Carr, D. L. (2009). *Population and Deforestation: Why Rural Migration Matters*.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2019). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas*. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/50913908-8569-40f8-868c-dcf9b22e0669/content>
- Cervantes, R., Sánchez, J. M., Alegre, J., Rendón, E., Baiker, J. R., Locatelli, B., & Bonnesoeur, V. (2021). *Contribución de los ecosistemas altoandinos en la provisión del servicio ecosistémico de regulación hídrica*. Lima, Perú: Ecología Aplicada.
- Chiarella, A., Moreno, D., Almeida, J., Iannuzzi, P., Navaridas, R., Szenkman, P., De Salvo, C. P., Jacquet, B., & Salazni, M. (2024). *La deforestación en el Gran Chaco argentino: Avances y desafíos*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y Centro de Implementación de Políticas Públicas para la Equidad y el Crecimiento (CIPPEC).
- Colesanti, C., & Wasowski, J. (2006). *Investigating Landslides with Space-Borne Synthetic Aperture Radar (SAR) Interferometry*. *Engineering Geology*, 88.
- Congalton, R. & Green, K. 2019. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. 3rd Edition.
- Constitución Política de Colombia [Const.] art. 64. Santa Fe de Bogotá: Gaceta Constitucional.
- Constitución Política de Colombia [Const.] art. 78. Santa Fe de Bogotá: Gaceta Constitucional.
- Constitución Política de Colombia [Const.] art. 79. Santa Fe de Bogotá: Gaceta Constitucional.
- Constitución Política de Colombia [Const.] art. 80. Santa Fe de Bogotá: Gaceta Constitucional.
- Convenio municipio de Tausa-Instituto geográfico Agustín Codazzi-proyecto Checua (CAR-GTZ-KFW) (1997) *Plan de ordenamiento territorial municipio de Tausa, división de ordenamiento territorial IGAC*.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (2020). *Coberturas y usos del suelo en la jurisdicción CAR – Escala 1:10.000*. Bogotá D.C.
- Deininger, K., & Byerlee, D. (2011). *Rising Global Interest in Farmland: Can it Yield Sustainable and Equitable Benefits?* World Bank Publications. *Development Policy Review*, 19(4), 437–448.
- Federación Colombiana de Productores de Papa (FEDEPAPA). (2023). *Boletín Regional Cundinamarca*. Bogotá D.C.: FEDEPAPA.
- Franco, R. (2017). *Composiciones LANDSAT en ArcGis. Guía básica*. Recuperado el, 11.
- Franco, R. (s.f.). *CLC Colombia: Códigos y colores RGB por clase de cobertura – versión adaptada niveles 4 al 6 [Póster]*. Recuperado de <https://mixdyr.wordpress.com>

- Gobierno de México. (2022). Panorama de la frontera agrícola de México por representación estatal (SADER). Obtenido de <https://www.gob.mx/siap/documentos/panorama-de-la-frontera-agricola-de-mexico-porrerepresentacion-estatal-sader-295448>
- Guzmán, A. (2021). Estudio sobre la agricultura en ecosistemas altoandinos: Impactos del cambio en el uso del suelo sobre los ciclos biogeoquímicos, la calidad del agua y la fertilidad del suelo. Bogotá.
- Guzmán, J., Pérez, L., & Rojas, A. (2021). Impacto de la agricultura en ecosistemas altoandinos: Un estudio de caso en la región central. *Revista de Ecología Andina*, 35(1), 45-62.
- Heras-Heras, M. C., Moreno-López, J. A., Quevedo-Amay, D. V., & Cuichan-Paucar, S. H. (2024). Pérdida de cobertura vegetal y cambios de uso del suelo en la Amazonia ecuatoriana. *Agroecología Global*.
- Hernández Ramírez, M. A. (2020). *La resignificación del Páramo de Sumapaz por sus habitantes a lo largo del tiempo* [Trabajo de investigación]. Universidad Nacional de Colombia; Asociación Ambiente y Sociedad.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2010). Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia: Proyecto COBERTURAS. Bogotá D.C.: IDEAM.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2018). Guía básica de sistemas de información geográfica (SIG). Bogotá: IGAC.
- Lambin, E. F., & Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(9), 3465–3472.
- Larson, A. M., Cronkleton, P., Barry, D., & Pacheco, P. (2008). Tenure rights and beyond: Community access to forest resources in Latin America. Center for International Forestry Research (CIFOR).
- Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reestructura el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente, y se dictan otras disposiciones. (1993). Diario Oficial No. 41.094, 22 de diciembre de 1993.
- Ley 373 de 1997. Por la cual se regula el acceso a la información pública y se dictan otras disposiciones. (1997). Diario Oficial No. 43.065, 24 de enero de 1997.
- Ley 1930 de 2018. Por medio de la cual se dictan disposiciones para la gestión integral de los páramos en Colombia. (2018). Diario Oficial No. 50.667, 27 de julio de 2018.
- Ley 2294 de 2023. Por la cual se expiden disposiciones en materia de protección de la propiedad intelectual. (2023). Diario Oficial No. 52.845, 28 de julio de 2023.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural & Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2018). Identificación general de la frontera agrícola en Colombia (Versión 1.0). Bogotá D.C., Colombia.
- Olaya, V. (2014). Sistemas de Información Geográfica. [Sistemas de Información Geográfica : Víctor Olaya : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive](#)

- Roa-Peña, D. E., Parada-Rodríguez, N., & Rodríguez-Vásquez, R. A. (2023). Lineamientos estratégicos para una gestión agropecuaria sostenible en el marco del cambio climático en el páramo de Guerrero, Cagua, Cundinamarca, Colombia. *Uniandes*, 193-221.
- Rodríguez, M., & Vanegas, M. (2020). Dinámicas de uso del suelo y participación comunitaria en la Amazonía colombiana. Instituto SINCHI.
- Rudel TK, Defries R, Asner GP, Laurance WF. Changing drivers of deforestation and new opportunities for conservation. *Conserv Biol.* 2009 Dec;23(6):1396-405. doi: 10.1111/j.1523-1739.2009.01332.x. PMID: 20078640.
- Suárez Barajas, D. M. (2023). Análisis multitemporal de cobertura vegetal y uso del suelo, mediante Sistemas de Información Geográfica: repercusión de las poblaciones migrantes [Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander]. UIS.
- Tovar Aguilera, N. E. (2020). Sistemas tradicionales de producción ganadera en el municipio de Guasca Cundinamarca. Bogotá D.C.: Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).
- UNAD – ECAPMAC. (2020). Análisis de la pérdida del páramo debido al crecimiento de la frontera agrícola en el municipio de Chocontá (2017–2020). Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2017). Identificación general de la frontera agrícola en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2023). Kit Territorial Cundinamarca. Cundinamarca: UPRA.

Anexos

ANEXO 1. Encuestas realizadas.xlsx