

# **Análisis de los cambios de la expansión agrícola y urbana en áreas boscosas mediante un estudio multitemporal en el Municipio de Quinchía, Risaralda (2014-2023)**

**Vairon Camilo Aricapa Trejos  
Robinson Avendaño Patiño  
Diana Montaña Ruiz**

Informe final de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Especialistas en Sistemas de Información Geográficos.

Directora:

M.Sc., Ana Maria Giraldo Patiño

Territorios Inteligentes y Sostenibles

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Manizales, 2025

## Resumen

El presente proyecto investigó la pérdida de cobertura boscosa en el municipio de Quinchía, Risaralda, en el contexto de la expansión agrícola y urbana. Este fenómeno es impulsado por prácticas insostenibles que degradan el suelo y afectan la biodiversidad; por lo cual, los objetivos del proyecto incluyeron el análisis multitemporal de los cambios en la cobertura vegetal entre 2014 y 2023, la identificación de áreas en riesgo de deforestación y la propuesta de medidas de conservación. A través de este análisis, se utilizó la clasificación supervisada de imágenes satelitales del municipio de Quinchía, lo que permitió identificar cambios en la cobertura vegetal durante este período. Los resultados evidenciaron una disminución significativa de las áreas boscosas, fenómeno que está directamente relacionado con la conversión de tierras para la expansión agrícola, especialmente en las zonas cercanas al centro urbano. Esta reducción en la cobertura boscosa resalta la urgencia de implementar un monitoreo continuo y una gestión adecuada de las áreas forestales del municipio.

**Palabras clave:** Pérdida de cobertura boscosa, expansión agrícola, deforestación, Quinchía, conservación, análisis multitemporal.

## Abstract

This project investigated the loss of forest cover in the municipality of Quinchía, Risaralda, in the context of agricultural and urban expansion. This phenomenon is driven by unsustainable practices that degrade the soil and affect biodiversity; therefore, the objectives of the project included the multitemporal analysis of changes in vegetation cover between 2014 and 2023, the identification of areas at risk of deforestation, and the proposal of conservation measures. Through this analysis, supervised classification of satellite images of the municipality of Quinchía was used, which made it possible to identify changes in vegetation cover during this period. The results showed a significant decrease in forested areas, a phenomenon that is directly related to the conversion of land for agricultural expansion, especially in areas near the urban center. This reduction in forest cover highlights the urgency of implementing continuous monitoring and proper management of forest areas in the municipality.

**Key words: forest cover loss, agricultural expansion, deforestation, Quinchía, conservation, multitemporal analysis.**

# Contenido

	Pág.
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>8</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA .....	8
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	10
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	11
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
<b>3. ANTECEDENTES .....</b>	<b>13</b>
<b>4. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL.....</b>	<b>25</b>
<b>5. REFERENTE TEÓRICO.....</b>	<b>26</b>
<b>6. METODOLOGÍA .....</b>	<b>28</b>
6.1 ENFOQUE METODOLÓGICO.....	28
6.2 TIPO DE ESTUDIO.....	28
6.3 PROCEDIMIENTO .....	29
6.3.1 <i>Fase 1. Caracterización y comparación de la cobertura vegetal entre los años 2014 y 2023</i> 30	
6.3.2 <i>Fase 2. Identificación de áreas críticas</i> .....	40
<b>7. RESULTADOS.....</b>	<b>44</b>
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>55</b>
<b>9. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>57</b>
<b>10. REFERENCIAS .....</b>	<b>59</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> <i>Flujograma del proceso metodológico</i> .....	29
<b>Figura 2.</b> <i>Mapa de centros poblados del municipio de Quinchía Risaralda</i> .....	31
<b>Figura 3.</b> <i>Layer Stacking para las imágenes Landsat 8 de 2014 y 2023</i> .....	33
<b>Figura 4.</b> <i>Combinación de bandas RGB, color verdadero en ENVI</i> .....	34
<b>Figura 5.</b> <i>Combinación de bandas infrarrojas en ENVI</i> .....	35
<b>Figura 6.</b> <i>Cobertura de zonas urbanizadas de Quinchía</i> .....	36
<b>Figura 7.</b> <i>Cobertura de zonas agrícolas heterogéneas</i> .....	36
<b>Figura 8.</b> <i>Cobertura de zonas agrícolas heterogéneas</i> .....	37
<b>Figura 9.</b> <i>Cobertura de aguas continentales</i> .....	37
<b>Figura 10.</b> <i>Calculo superficie de las áreas de interés ambiental</i> .....	41
<b>Figura 11.</b> <i>Extracción áreas de interés por medio de la herramienta Clip</i> .....	42
<b>Figura 12.</b> <i>Coberturas Corine Land Cover 2014 - 2023</i> .....	44
<b>Figura 13.</b> <i>Clasificación supervisada para el municipio de Quinchía, Risaralda, para los años 2014 y 2023</i> .....	45
<b>Figura 14.</b> <i>Perdida de Cobertura. Hansen 2014 - 2023</i> .....	46
<b>Figura 15.</b> <i>Variaciones en el NDVI de Quinchía entre 2014 y 2023</i> .....	47
<b>Figura 16.</b> <i>NDVI para el municipio de Quinchía, Risaralda, para los años 2014 y 2023</i> .....	49
<b>Figura 17.</b> <i>Perdida de cobertura boscosa periodo 2014 - 2023</i> .....	49
<b>Figura 18.</b> <i>Áreas de manejo especial y cambios en la cobertura del suelo</i> .....	52
<b>Figura 19.</b> <i>Plan de recuperación de áreas de manejo especial y ecosistemas estratégicos</i> .....	53

---

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> <i>Características de las imágenes Landsat 8 utilizadas en el análisis (2014 y 2023) .....</i>	31
<b>Tabla 2.</b> <i>Especificaciones de las bandas espectrales del satélite Landsat 8 .....</i>	32
<b>Tabla 3.</b> <i>Valores del Índice Jeffries-Matusita (JM) para las combinaciones de clases en 2014 y 2023.....</i>	38
<b>Tabla 4.</b> <i>Valores de la DT para las combinaciones de clases en 2014 y 2023.....</i>	39

## Lista de símbolos y abreviaturas

### Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>APM</i>	Área de protección municipal
<i>CAR</i>	Corporación Autónoma Regional
<i>DANE</i>	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
<i>FAO</i>	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
<i>IDEAM</i>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<i>OEA</i>	Organización de Estados Americanos
<i>PNUMA</i>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<i>SIG</i>	Sistemas de Información Geográfica
<i>WWF</i>	Fondo Mundial para la Naturaleza

# **1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación**

## **1.1 Descripción del área problemática**

El cambio climático es uno de los mayores retos que afronta la humanidad en el XXI; la variación de las temperaturas y los patrones climáticos, impulsadas principalmente por la deforestación y la quema de combustibles fósiles, han sido los pilares para el incremento de las concentraciones de gases invernadero en la atmósfera. En este contexto, la conservación de los ecosistemas terrestres se convierte en un objetivo primordial para el desarrollo sostenible de las poblaciones.

Uno de los indicadores más relevantes es la superficie cubierta por bosques, los cuales, cubren casi el 31 % de la superficie de nuestro planeta y albergan más del 80 % de todas las especies terrestres de animales, plantas e insectos (FAO, 2020), sin embargo, la deforestación de estos ecosistemas progresa sin control; de acuerdo a FAO (2020) “la degradación forestal sigue avanzando a un ritmo alarmante, lo que contribuye notablemente a la actual pérdida de biodiversidad, con una pérdida desde 1990, de unos 420 millones de hectáreas de bosque a causa del cambio de usos de la tierra”.

Entre las principales causas de la deforestación a nivel mundial se encuentra la fragmentación de hábitats, prácticas agrícolas insostenibles, y sobreexplotación de los recursos (Explotación maderera ilegal y tráfico de especies); siendo un agravante el cambio climático. A nivel nacional, Colombia no es ajena a esta tendencia, según la WWF (2024) se calcula que entre el 2001 y 2022 se han deforestado cerca de 3,3 millones de hectáreas en el territorio nacional.

Entre las principales causas se encuentran la expansión agrícola, la minería ilegal, la tala indiscriminada y la ganadería extensiva.

A nivel local, el municipio de Quinchía, ubicado en el departamento de Risaralda, afronta grandes retos frente a la preservación de áreas con cobertura boscosa. El primero hace referencia a la expansión de la frontera agrícola, ya que la distribución del suelo, caracterizada por pequeñas fincas (minifundios), generalmente es menos productivas y con una superficie limitada, es explotada por familias o pequeños propietarios al límite, generando una expansión hacia las áreas boscosas, favoreciendo a la segregación del hábitat y generando pérdidas en la biodiversidad.

El segundo reto es la expansión de la frontera urbana; Quinchía está rodeada por cerros, por lo cual, el aumento de la población y la creciente urbanización sigue siendo un factor de presión sobre los ecosistemas locales, contribuyendo al deterioro ambiental.

El tercer reto se centra en la exploración y explotación de sus recursos mineros, si bien, por su ubicación geográfica privilegiada en el cinturón aurífero del Cauca medio, a pocos kilómetros de depósitos conocidos a nivel nacional como el de Marmato, en el departamento de Caldas; la minería ilegal ha sido una constante en la deforestación al sur del municipio.

Debido a los retos que afronta frente a la pérdida de sus coberturas boscosas, es necesario identificar y cuantificar estas coberturas, para garantizar un uso adecuado del suelo que permita un desarrollo económico y social sostenible, sin comprometer los recursos naturales.

## 1.2 Formulación del problema

La expansión de la frontera agrícola y urbana en áreas boscosas es una problemática ambiental que ha afectado gravemente a las regiones rurales de Colombia, incluyendo el municipio de Quinchía, Risaralda. En este contexto, surge la siguiente pregunta: ¿Cuál es el impacto de la expansión de la frontera agrícola y urbana en la cobertura boscosa del municipio de Quinchía, Risaralda, entre los años 2014 y 2023?

Este fenómeno, que involucra la conversión de áreas boscosas en tierras para la agricultura, ganadería y urbanización, ha generado una creciente preocupación por su relación con la deforestación, la pérdida de biodiversidad y los efectos adversos en los recursos hídricos.

A través de este proyecto, se busca establecer un análisis claro y preciso del impacto de la expansión de la frontera agrícola y urbana, definiendo "expansión" como el aumento en la extensión de tierras utilizadas para actividades humanas, medido por cambios en la cobertura vegetal a partir de imágenes satelitales. Esto permitirá, de manera concreta, abordar los efectos de este fenómeno y establecer medidas de conservación eficaces para mitigar los impactos ambientales en la región.

### **1.3 Justificación**

La identificación y cuantificación en los cambios de las coberturas boscosas es de gran importancia para asegurar un desarrollo sostenible del municipio. La pérdida de bosques no solo impacta la biodiversidad, sino que también tiene repercusiones directas en la seguridad hídrica del municipio, por lo cual, estos juegan un papel crucial en la regulación del ciclo del agua, contribuyendo a la captación, almacenamiento y filtración. La reducción de estas áreas puede llevar a una disminución en la calidad y cantidad de agua disponible, aumentando la vulnerabilidad de las comunidades frente a fenómenos como sequías e inundaciones. Por lo tanto, entender el impacto de estas dinámicas en el paisaje es crucial para implementar estrategias que promuevan una coexistencia equilibrada entre la actividad agrícola y la conservación del medio ambiente.

El interés de esta investigación radica en dar una visión sobre el estado actual de las coberturas boscosas y el cambio que estas han tenido en los últimos años, basados en el uso de herramientas tecnológicas, contribuyendo al fortalecimiento de políticas ambientales en el municipio; por lo cual esta propuesta ofrece una solución innovadora, haciendo uso de tecnologías de información geográficas para identificar estos cambios, lo cual representa un avance significativo frente a los métodos convencionales. Este enfoque proporcionará datos actualizados, siendo el acceso a estos una de las dificultades que no han sido resueltas hasta ahora, dificultado la implementación de estrategias de conservación adecuadas y la planificación de un desarrollo sostenible.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Analizar los cambios de la expansión de la frontera agrícola y urbana en áreas boscosas mediante un estudio multitemporal en el municipio de Quinchía, Risaralda entre los años 2014 y 2023

### **2.2 Objetivos específicos**

1. Comparar cambios en la cobertura vegetal en las áreas boscosas entre los años 2014 y 2023.
2. Identificar áreas boscosas críticas con alto riesgo de deforestación y cambio en el uso del suelo.

### 3. Antecedentes

El Plan de Desarrollo Municipal de Quinchía 2020-2023 estableció un marco para abordar los desafíos ambientales que enfrenta el municipio. Este documento identifica la necesidad de implementar estrategias que promuevan la conservación de las áreas boscosas y los ecosistemas estratégicos, reconociendo el papel crucial que desempeñan en la regulación del ciclo hídrico y en el mantenimiento de la biodiversidad. A pesar de estas iniciativas, el avance tecnológico en el análisis geoespacial ha sido limitado y poco explorado, por lo cual, no se tiene una adecuada comprensión de las dinámicas del uso del suelo, debido a esto, se requieren estudios específicos que evalúen cómo estas transformaciones afectan directamente a las áreas protegidas y a los recursos naturales locales.

CARDER-UTP (2018) establecen el perfil climático del municipio de Quinchía, este documento proporciona información clave sobre las condiciones ambientales locales, este perfil revela cómo las variaciones climáticas pueden influir en los patrones de uso del suelo y en la salud de los ecosistemas forestales. La interacción entre el clima y las actividades humanas siendo un factor determinante que debe ser considerado al analizar el estado actual y futuro de las coberturas en el municipio.

El Plan Básico de Ordenamiento Territorial (1999) identificó áreas clave para la protección ambiental dentro del municipio, incluyendo dos parques naturales municipales y tres ecosistemas estratégicos. La conservación de estas áreas es vital para mantener no solo la biodiversidad local sino también los servicios ecosistémicos que sustentan a las comunidades.

---

Por lo tanto, esta investigación busca proporcionar información precisa que apoye decisiones informadas sobre gestión ambiental y conservación en Quinchía.

De acuerdo con Zalazar (2018), la minería tradicional constituye una de las principales actividades económicas del municipio, con una riqueza mineral del 60% de su territorio alberga 13 asociaciones mineras que bajo una perspectiva neoliberal reflejada en aspectos como el neoextractivismo, ha sido catalogada como insostenible por sus efectos sobre los ecosistemas y los pocos aportes a la economía nacional.

También es importante destacar que, de acuerdo con Zalazar (2018), Quinchía cuenta con el 80 % de territorio rural, es uno de los municipios de Risaralda con alta riqueza y diversidad natural. Este territorio se ha caracterizado por su potencial minero aurífero extraído en 26 veredas; razón por la cual confluyen diversas motivaciones asociadas a la presencia de una zona de reserva especial dedicada a la extracción de carbón por COOCARBOQUÍN, 13 asociaciones dedicadas a la extracción del patrimonio aurífero entre ellas la Corporación Área de Reserva Especial Minera (CORPOARE) (integrada por siete asociaciones), y dos multinacionales extractivas (Batero Gold Corporation y la Metminco Limited).

El sistema departamental de áreas protegidas de Risaralda ocupa un lugar destacado a nivel regional. de acuerdo con CARDER 2018 se ha constituido como uno de los más sólidos a nivel nacional, desde 1987, cuando se creó la primer área protegida hasta nuestros días, contando con un sistema de áreas protegidas en la actualidad y un sistema de actores sociales e institucionales que lo administran, entre ellos la gobernación de Risaralda, administraciones municipales, organizaciones ambientales y comunitarias, parques nacionales naturales de Colombia: En tres áreas protegidas del departamento y sus zonas de influencia directa: PNN Nevados, PNN Tatamá y SFF Otún Quimbaya.

El análisis multitemporal de la cobertura boscosa es esencial para entender cómo las dinámicas sociales y económicas afectan el medio ambiente en Quinchía. A través del uso de herramientas tecnológicas avanzadas y un enfoque basado en datos empíricos, esta investigación tiene el potencial de contribuir significativamente a la conservación y manejo sostenible del territorio, enfrentando así los retos impuestos por la expansión agrícola y urbana.

A nivel nacional, los análisis multitemporales de coberturas han permitido identificar de manera rápida los cambios.

Palacios (2015), en su análisis de cobertura boscosa en el norte del Departamento del Chocó, visualizó y cuantificó áreas degradadas y/o deforestadas. Este estudio destacó la importancia de las tecnologías de teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG) para monitorear cambios, permitiendo una evaluación precisa y oportuna del uso del suelo a lo largo del tiempo.

Arevalo y Duarte (2021) por medio del análisis multitemporal de la cobertura de páramo y la degradación de su extensión en la subcuenca San José - Páramo El Rabanal en Boyacá; lograron confirmar las intervenciones antrópicas generadas al ecosistema de alta montaña, en Subcuenca San José - Páramo El Rabanal en Boyaca; identificando el grave deterioro de la cobertura vegetal y con ello la degradación de la vegetación nativa del lugar.

Flórez-Yepes *Et al* (2017), implementaron los sistemas de información geográfica para el análisis de impactos ambientales ocurridos a través del tiempo, con fotografías aéreas de los años 1998 y 2010 y una imagen tomada de Google Earth del año 2015 debidamente georreferenciada., en las minas de oro ubicadas en la parte alta del sector de Maltería en Manizales. En el análisis se estableció como han sido las variaciones en las coberturas vegetales en el tiempo, la influencia

---

de los sistemas productivos sobre las áreas boscosas y como y como y como las áreas han tenido procesos de recuperación y otras que con el tiempo han ido desapareciendo.

Yela-Lara y Baca-Gamboa (2023), Por medio del análisis multitemporal, realizaron la caracterización de coberturas de la tierra para el periodo entre 1995 y 2018 para la cuenca alta del río Pasto. Adicionalmente, se calcularon el grado de fragmentación (F) y el índice de continuidad de Vogelmann (FCI). Entre los resultados encontrados se identificaron que el 58,26 % correspondía a áreas cultivadas, el 40,19 %, bosques y áreas seminaturales y el 1,55 %, territorios artificializados. Finalmente se evidenció la configuración de un paisaje fragmentado y discontinuo, caracterizado por la presencia de fragmentos de formas irregulares y un mayor efecto de borde que influye en el funcionamiento y la estructura del bosque.

Rojas y Castiblanco (2018), implementan un análisis espacial multitemporal con el propósito de analizar las transiciones de uso del suelo durante los años 1985, 2000 y 2016 en el municipio de San Carlos de Guaroa (departamento del Meta, Colombia). Identificaron patrones de cambio en tres coberturas de suelo definidas: bosques de galería, cultivo de palma de aceite y áreas de uso agropecuario. Entre 1985-2016 el 19,38% de los bosques de galería desapareció (1.845,45 hectáreas), con una tasa anual de reducción estimada media de 3,22% (59,53 hectáreas) y en su mayoría fueron reemplazados por cultivos de palma de aceite. La expansión del cultivo de palma de aceite en este periodo fue estimada en un promedio de 1.312,56 hectáreas por año.

Guzmán-Manrique y Flórez-García (2019). Determinaron el estado de la fragmentación del paisaje a partir del cambio de coberturas entre los años 1986 y 2013 utilizando imágenes Landsat TM y ETM+, con el fin de abordar la dinámica espacial de la explotación a cielo abierto

de los yacimientos de níquel al sur del departamento de Córdoba-Colombia. Como resultados se identificaron alteraciones en la configuración del territorio, como la reducción en rastrojos bajos en un 49,76% (2692,53 hectáreas) y una tala de bosques secundarios del 12% de los cambios totales (370,3 hectáreas). La dinámica antrópica generó un paisaje fragmentado con diferentes niveles de perturbación.

Hurtado Et *al*, (2020), realizan un seguimiento de la reserva forestal Thomas van der Hammen en el norte de Bogotá, entre los años 1977 y 2017. El análisis se enfoca en el cambio de coberturas de la tierra, teniendo en cuenta que dicha reserva es de carácter urbano y una de las principales presiones antrópicas es la expansión urbana. Para el análisis multitemporal se clasificaron diversas imágenes de satélite (Spot, RapidEye y Landsat) en periodos de tiempo establecidos para su comparación. El estudio arroja como el resultado más impactante el aumento acelerado de suelo de construcción el cual paso de 500 hectáreas en 1977 a más de 5100 hectáreas para el 2017, lo que permite concluir la existencia de un cambio crítico que conlleva una afectación directa sobre la estructura ecológica de la reserva.

Samboní y Chacón (2024), realizaron un análisis comparativo de los cambios en la cobertura de la tierra en el corredor biológico entre los Parques Nacionales Naturales (PNN) Puracé y Munchique, en el departamento del Cauca, Colombia para los años 2002 y 2019. Implementando imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8 clasificaron y mapearon 24 coberturas para el año 2002 y 26 para el año 2019. El análisis multitemporal mostró que el 31% del área presentó ganancia de coberturas, el 31% pérdida y el 25% persistencia. Las coberturas con mayor pérdida fueron los “mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales” (53,76%), la “vegetación secundaria o en transición” (46,69%) y los “cultivos permanentes arbustivos”

---

(35,91%). Por otro lado, las coberturas que más aumentaron fueron los “mosaicos de pastos y cultivos” (105,93%), los “pastos enmalezados” (248%) y las “tierras desnudas y degradadas” (99,82%). Finalmente concluyen que los conflictos de uso del suelo, la deforestación, la degradación y la intensificación de las actividades productivas fueron los principales factores que impulsaron los cambios en las coberturas

Además, investigaciones realizadas por Cañas (2022) sobre el análisis multitemporal en otras regiones colombianas destacaron las tendencias alarmantes en la pérdida de cobertura boscosa debido al cambio climático y a prácticas agrícolas no sostenibles. Estos estudios subrayan la necesidad urgente de implementar medidas efectivas para mitigar estos impactos, especialmente en cuencas hidrográficas críticas como la del "Río La Vieja", donde se han observado cambios significativos en el uso del suelo.

Por otro lado, a nivel internacional los estudios multitemporales han permitido identificar cambios en diferentes coberturas. Condori-Luna Et al (2018), por medio de la teledetección (multiespectral tipo Landsat), determinaron los cambios en la cobertura vegetal para los periodos de 1989-2005 y 2005-2014 sobre la sub-cuenca del río Coroico en el departamento de la Paz, Bolivia, obteniendo como resultado una disminución progresiva de las áreas boscosas, siendo más severa en el periodo 1989-2005 en comparación al periodo 2005-2014. Finalmente, concluyeron que la pérdida del bosque en mayor proporción se relaciona a inadecuadas técnicas de producción (agricultura), lo que da lugar a la migración y habilitación de nuevas áreas agrícolas en zonas donde anteriormente estaban constituidas por bosque.

El análisis de la cobertura boscosa y los usos de la tierra a lo largo del tiempo ha sido un tema recurrente en los estudios sobre la gestión ambiental y la sostenibilidad. En este contexto, Villalobos (2019) realizó un estudio multitemporal para analizar los cambios en la cobertura

boscosa y el uso del suelo en el distrito de Pomahuaca, provincia de Jaén en Paraguay, durante el periodo 2000-2019. Utilizando imágenes satelitales de los satélites LANDSAT 5TM, LANDSAT 8OLI y SENTINEL 2, los autores emplearon la clasificación supervisada a través del Sistema CORINE Land Cover (CLC). Los resultados mostraron una notable pérdida de 2630.17 hectáreas de bosque, un aumento en áreas urbanizadas y cultivos transitorios, así como una expansión de áreas sin vegetación o con vegetación escasa. Este estudio destaca el impacto de las actividades humanas, como la expansión agrícola migratoria, en la degradación de la cobertura boscosa, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones en la gestión sostenible de los recursos naturales en la región.

Bonilla y Taipe (2021). Implementaron imágenes satelitales Sentinel-2 y Landsat-8 de la Reserva Ecológica el Ángel desde el año 2016 al 2017 y la Reserva Ecológica Arenillas entre los años 2015-2019 al suroccidente de Ecuador, mediante la implementación de la clasificación supervisada para el análisis multitemporal de la cobertura vegetal. La detección de cambios de la cobertura vegetal se obtuvo mediante la matriz de tabulación cruzada ejecutado en el software ArcGIS, indicando en la Reserva Ecológica el Ángel el aumento de las superficies: páramo herbáceo (138,61 hectáreas), páramo de almohadilla (121,53 hectáreas); mientras las superficies que disminuyeron son: páramo arbustivo (189,84 hectáreas), páramo de frailejones (99,38 hectáreas). En la Reserva Ecológica Arenillas aumentaron: el bosque arbustal (513,04 hectáreas), bosque seco (225,61 hectáreas); mientras las superficies que disminuyeron son: suelo desnudo (305,09 hectáreas), zona urbana (280,13 hectáreas).

Sandoval-García Et al (2021). Mediante el uso de imágenes de alta resolución, se evaluó la dinámica de pérdida y ganancia de la cobertura vegetal con el fin de catalogar zonas

---

prioritarias para la conservación y restauración una microcuenca de la Mixteca Alta Oaxaqueña en Mexico, durante el periodo de 1995 a 2016. El análisis se desarrolló con una clasificación no supervisada y validación en campo. Los resultados mostraron un incremento positivo de 6.6 % durante el período de 1995 al 2016 en la cobertura forestal, a partir de las estrategias de restauración impulsadas por las comunidades indígenas e instituciones gubernamentales; mientras que, la agricultura tuvo una disminución de 8.4 %, lo cual se explica, en gran medida, porque muchas áreas han sido abandonadas por la migración y la pérdida de productividad del suelo, así como a la alteración del régimen de precipitación; lo que condujo a una conversión natural hacia los pastizales. Las áreas sin vegetación disminuyeron 4.1 % a consecuencia de los esfuerzos en la construcción de obras para la conservación de suelos, la formación de terrazas sucesivas y la estabilización de taludes.

Negassa Et al (2020), Examinaron la variación en la dinámica de la cubierta forestal durante el período 1991-2012 utilizando imágenes Landsat TM de 1991, ETM + de 2002 y OLI-TIRS de 2019, en el bosque de Komto, distrito de Guto Gida, en la zona de Wollega Oriental (Etiopía), y ha servido a la comunidad local para la construcción, la energía y el mobiliario doméstico. Los resultados de la detección cambios en el uso del suelo y la cubierta vegetal muestran que un aumento dramático de las tierras agrícolas de (24,78%) en 1991 a (33,5%) en 2019 con la tasa de expansión anual (23,68%), donde la cubierta forestal se redujo en un 20,1% en 1991 y 37,38% en 2019 con la tasa de disminución anual de 4,18%. Concluyendo el aumento de las tierras agrícolas, los pastizales y los asentamientos, mientras que la cubierta forestal densa y abierta muestra una tendencia a la baja.

Soria-Díaz Et al (2024), Cuantificaron la tasa de deforestación en la zona de amortiguamiento de la reserva nacional Tambopata en el Perú, para el período 2013-2022, implementando imágenes satelitales Landsat 8, 7 y Sentinel-2A mediante una clasificación supervisada utilizando el método del mapeo del ángulo espectral del complemento “*Semi-Automatic Classification Plugin – SCP*” del software QGIS. Como resultado señalan que desde el 2013 hasta el 2022 hubo una pérdida de cobertura forestal de 14 456,92 ha, donde la “minería” y la “agropecuaria” fueron las dos actividades antrópicas que más contribuyeron a la deforestación.

Cordova y Villalta (2024), mediante la metodología integrada de teledetección y análisis geoespacial, utilizando imágenes satelitales de Landsat 5 y 8 Identificaron la fragmentación de la cobertura vegetal en el cantón Huaquillas (Ecuador), durante el período comprendido entre 1999 y 2023. Adicionalmente, evaluaron por medio del índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI el estado actual de la vegetación. Como resultado se resalta la distribución heterogénea de la vegetación la cual reflejó una influencia significativa de las actividades humanas, como la urbanización y la acuicultura, sobre la estructura y composición de la vegetación en el cantón Huaquillas. El Índice (NDVI) reveló una variedad de condiciones vegetativas en el cantón Huaquillas, desde cuerpos de agua hasta áreas con vegetación moderada. Arboit & Maglione en sus trabajos del 2018, estudiaron el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y el índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) en el Área Metropolitana de Mendoza (AMM) Argentina, centros urbanos intermedios y en los oasis irrigados (Norte- Centro), de suma importancia para planes de manejo y gestión territorial. Al igual que el presente trabajo determinaron los valores de los índices de vegetación a partir de

---

imágenes satelitales Landsat 5, pero en un periodo del 1986-2011 en la estación de verano. Los resultados indican una pendiente general descendente de los valores medios de NDVI y SAVI en todos los sitios analizados y una correlación entre dichos índices, lo que favorece la toma de decisiones para futuros trabajos con relación al preliminar.

Pozzobon & Osorio en el 2002, realizaron un análisis multitemporal para evaluar las deforestaciones en la Reserva Forestal de Ticoporo, estado Barinas, Venezuela, empleando diferentes técnicas de interpretación sobre imágenes de satélite TM de LANDSAT y HRV de SPOT, y sobre fotografías aéreas de distinta data. Los datos obtenidos permitieron facilitar la toma de decisiones de los entes encargados al concluir que la Reserva Forestal de Ticoporo disminuyó su superficie boscosa en un 77%, esto representa una tasa de deforestación total media anual del 2%, equivalente a una pérdida de 3.424,4 ha de bosque por año. De esta manera confirmando la importancia de los análisis multitemporales para el sector ambiental en la región estudiada y el aporte en la calidad de la información y la academia.

Gonzales (2018) en la provincia de Manu (Perú) entre el 2000 al 2016 realizó un análisis multitemporal de la deforestación y pérdida de cobertura boscosa mediante el uso del software ENVI para el procesamiento de imágenes satelitales landsat lo que le permitió analizar la frecuencia con la cual la deforestación avanza constantemente durante los años mencionados, finalmente concluyó que las técnicas y procesos anteriormente nombrados son herramientas y pasos efectivos para la recolección, procesamiento y despliegue de información de carácter ambiental, y específicamente para el monitoreo y restauración de los recursos naturales a través del tiempo.

En los últimos años, diversos estudios han abordado el impacto del crecimiento urbano sobre el ambiente, especialmente en lo que respecta a la cobertura vegetal y la expansión de

áreas construidas. Un ejemplo relevante es el análisis realizado por Celemin y Arias (2023), quienes examinaron la evolución de la cobertura vegetal (NDVI) y el área construida (NDBI) en la ciudad de Mar del Plata, Argentina, durante el periodo 2018-2022. Utilizando imágenes satelitales del Sentinel 2 procesadas a través de la plataforma Google Earth Engine, los autores identificaron una tendencia decreciente en el NDVI y un aumento en el NDBI, lo que revela la relación directa entre la urbanización y la pérdida de vegetación local. Este estudio contribuye al entendimiento de cómo la densificación de las ciudades afecta los ecosistemas urbanos y subraya la importancia de herramientas tecnológicas, como el análisis de imágenes satelitales, para la gestión ambiental y la planificación urbana.

Vela et al en sus recientes trabajos del 2024, realizaron un análisis en la dinámica espaciotemporal de los cambios en el NDVI en una región con aprovechamiento maderable en el estado de Quintana Roo en la península de Yucatán, México y determinó sus posibles causas durante el periodo 1985-2022. Lo que favorece mucho al presente trabajo conocer que la información satelital permite el cálculo de diversos índices útiles para la administración forestal, como el NDVI. El autor concluyó principalmente que cambios significativos en las características de la vegetación solo ocurren después de perturbaciones importantes y extensas como los huracanes, lo que permite establecer la importancia de las alteraciones externas para el presente trabajo.

Quezada et al en el año 2020, realizaron el análisis multitemporal por medio de imágenes Landsat 7 y 8, con el fin de evaluar el estado de deforestación en las provincias de Pastaza y Orellana de la región amazónica del Ecuador durante el periodo 2000-2020. De acuerdo con los datos obtenidos, aplicaron la ecuación propuesta por la FAO para el cálculo de la tasa de deforestación en los periodos: 2000-2005, 2005-2010, 2010- 2015 y 2015-2020. El resultado de

este estudio evidencio el cambio de la cobertura del suelo, debido al crecimiento de la frontera agrícola, pastizales, zonas descubiertas, el crecimiento urbano y la aparición de actividades antrópicas como lo son las mineras y petroleras que afectan directamente la pérdida de cobertura forestal.

## 4. Referente normativo y legal

El análisis multitemporal con imágenes satelitales y el manejo de datos geoespaciales en Colombia se encuentran respaldados por un marco normativo que empieza con la Constitución de 1991, que establece principios clave sobre el ordenamiento del territorio, la protección del medio ambiente y el acceso a la información.

Entre las leyes más importantes está la Ley 388 de 1997, que regula el uso del suelo y la organización del territorio. A nivel reglamentario, el Decreto 3851 de 2006 es clave porque crea la Infraestructura Colombia de Datos Espaciales (ICDE), asegurando la calidad de la información geoespacial. En 2015, el Decreto 1170 organiza y regula el funcionamiento de la ICDE. En 2021, el Decreto 846 modifica la estructura del IGAC, que es el instituto encargado de la gestión de la información geográfica.

El CONPES 3585 de 2009 impulsa la política nacional de información geográfica, mientras que el CONPES 3951 de 2018 fomenta el uso de tecnologías geoespaciales con el Catastro Multipropósito. Por su parte, el CONPES 4007 de 2020 refuerza la gobernanza de la gestión geoespacial, alineándola con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Finalmente, el Decreto 3600 de 2007 establece normas sobre la protección de suelos rurales y el uso del suelo, y el Decreto 2372 de 2010 fija metas para la conservación de áreas protegidas, lo que resulta clave para los análisis basados en imágenes satelitales.

## 5. Referente teórico

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas esenciales para investigadores que trabajan con datos espaciales y territoriales. En este estudio, los SIG se emplean para cuantificar la expansión agrícola y urbana mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales. Según Coppin et al. (2004), este enfoque permite monitorear los cambios en las coberturas del suelo a lo largo del tiempo. Dicho análisis facilita la evaluación de las transformaciones en el entorno natural y los impactos de la actividad humana, ofreciendo información valiosa para la planificación y gestión de los recursos naturales (Chuvieco, 1990; Forman, 1995).

Una de las técnicas clave para identificar estos cambios es la clasificación supervisada, que permite distinguir las variaciones en las coberturas utilizando métodos de observación visual o computacionales (Suárez et al., 2017). Este proceso requiere una caracterización preliminar, en la cual el analista identifica en la imagen ejemplar homogéneos y representativos de los diferentes tipos de cobertura de interés (CCRS, 2015), posteriormente, el algoritmo seleccionado extrapola las características espectrales definidas a otras regiones de la imagen (Castillejo-González et al., 2009). En cuanto a la caracterización de coberturas de suelo, una de las metodologías más utilizadas es CORINE Land Cover (CLC), que comenzó en 1995 en Europa con el objetivo de crear una base de datos sobre la cobertura y el uso del suelo (Valencia y Anaya, 2011). Esta metodología se adoptó en Colombia en 2004 y se basa en la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra a escala 1:100.000, que fue adoptada en 2010. Su objetivo es la descripción, caracterización y clasificación de las coberturas del suelo mediante el uso de imágenes satelitales Landsat (Suárez-Parra, 2016). El resultado de este proceso es la "Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra: Metodología CORINE Land Cover para Colombia".

Por otro lado, uno de los índices más utilizados en teledetección es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), que permite generar imágenes para evaluar el verdor y la densidad de la vegetación en una imagen satelital. Este índice aprovecha el contraste entre dos bandas de una imagen multiespectral: la absorción de pigmento de clorofila en la banda roja y la alta reflectividad del material vegetal en la banda infrarroja cercana (NIR) (Gilabert et al., 1997; ESRI, 2025). El análisis temporal del NDVI ha demostrado ser útil para identificar áreas afectadas por procesos de degradación o que están experimentando recuperación o regeneración de la vegetación, como se ha aplicado en diversas regiones del mundo (Evans & Geerken, 2004; Herrmann et al., 2005; Wessels et al., 2007; Baldi et al., 2008). En este sentido, la deforestación se entiende como la eliminación de la cobertura arbórea debido a actividades humanas como la agricultura, la minería, la construcción de infraestructuras y la expansión urbana (Lamberechts, 2000). Por su parte, la degradación se refiere al uso inapropiado del suelo y su impacto ambiental, tal como lo define Fernández (1996)

## 6. Metodología

### 6.1 Enfoque metodológico

El enfoque utilizado en esta investigación es cuantitativo, dado que se buscó analizar y cuantificar los cambios en la cobertura boscosa y el uso del suelo. Este tipo de enfoque se fundamenta en la recolección de datos, los cuales posteriormente fueron analizados, Hernández *et al.*, (2014); específicamente en esta propuesta se hizo una recolección de imágenes satelitales las cuales fueron procesadas en sistemas de información geográfica con herramientas que permitieron obtener datos sobre la variación y extensión de los cambios ocurridos, facilitando la visualización de la transformación de la cobertura boscosa en las áreas de manejo especial.

De igual manera, el análisis estadístico permitió identificar patrones en los cambios con los cuales se evaluará la magnitud de la deforestación y/o expansión de la frontera agrícola. Por lo cual, este enfoque proporcionó una perspectiva objetiva para tener una base en futuras tomas de decisiones de materia ambiental en el municipio de Quinchía.

### 6.2 Tipo de estudio

Este estudio como tuvo como objetivo principal llevar a cabo un análisis descriptivo multitemporal a partir de la adquisición de imágenes satelitales del municipio de Quinchía Risaralda, con las cuales se pudo determinar cuantitativamente los cambios en las coberturas.

El análisis multitemporal se enfocó en proporcionar un panorama sobre el estado actual de los ecosistemas estratégicos en Quinchía y su variación en los últimos años. Este análisis se centró

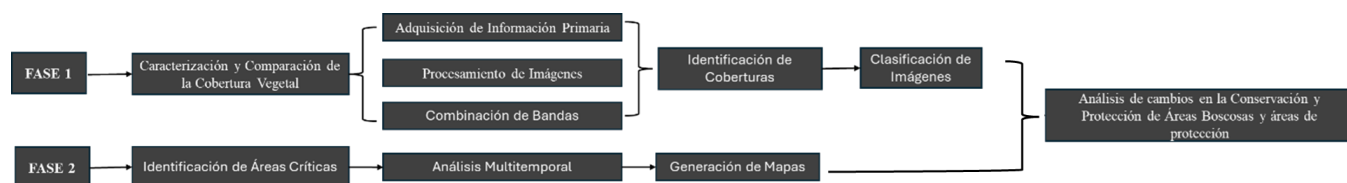
en la cantidad de cobertura vegetal perdida, lo que permitirá determinar las áreas con mayor riesgo de deforestación.

Se plantearon medidas y recomendaciones de conservación de los ecosistemas terrestres, buscando apoyar a los tomadores de decisiones y a la comunidad en general en la alineación de las políticas públicas con los objetivos de desarrollo sostenible.

### 6.3 Procedimiento

El proceso metodológico desarrollado en este proyecto consta de tres fases; la primera hace referencia a la caracterización y comparación de la cobertura vegetal entre los años 2014 y 2023, seguido de la identificación de áreas críticas y posteriormente revisión enfocada a la conservación y protección de áreas boscosas y áreas de protección en el municipio de Quinchía (Figura 1).

**Figura 1.** *Flujograma del proceso metodológico.*



Fuente: Elaboración propia

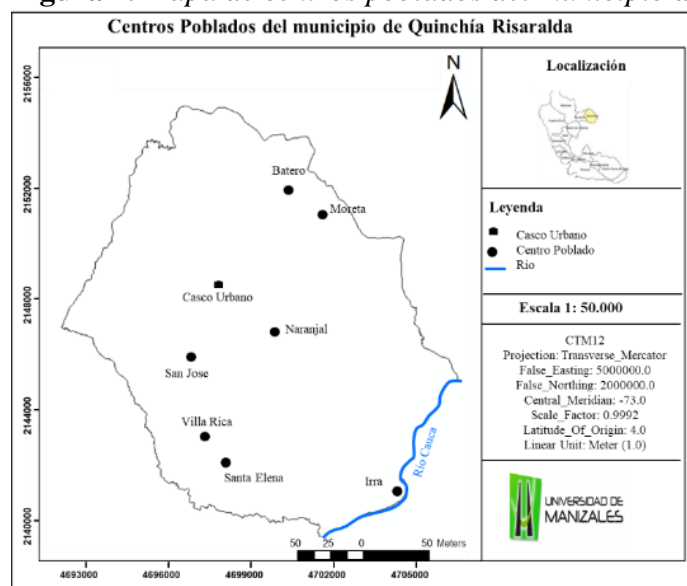
### **6.3.1 Fase 1. Caracterización y comparación de la cobertura vegetal entre los años 2014 y 2023**

Se llevó a cabo un análisis comparativo de los cambios en la cobertura vegetal en las áreas boscosas entre los años 2014 y 2023. Para ello, se emplearon imágenes satelitales Landsat correspondientes a ambos años, las cuales fueron procesadas y clasificadas mediante técnicas de clasificación supervisada, permitiendo identificar y categorizar las distintas clases de cobertura vegetal, como áreas boscosas, zonas agrícolas y otras superficies relevantes por medio de la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, a continuación, se describe el paso a paso desarrollado en esta fase:

#### **Adquisición de la información primaria.**

**Área del municipio de Quinchía.** Se encuentra ubicado en el departamento de Risaralda, en el flanco oriental de la cordillera occidental. Para delimitar con precisión la extensión territorial del municipio de Quinchía, se tomó como primer paso la obtención de datos geospaciales actualizados. En este caso, se buscó el archivo SHP (Shapefile) correspondiente a los municipios de Colombia, que contiene información geográfica detallada sobre los límites y características territoriales de cada una de las divisiones político-administrativas del país. Este archivo permitió obtener la delimitación exacta de los bordes del municipio, facilitando así el análisis (Figura 2).

**Figura 2.** Mapa de centros poblados del municipio de Quinchía Risaralda



Fuente: Elaboración propia

**Descarga de imágenes satelitales.** Las imágenes satelitales utilizadas fueron obtenidas a través de la plataforma del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Estas imágenes de Landsat 8, con una resolución espacial de 30 metros, fueron seleccionadas teniendo en cuenta parámetros específicos de calidad y precisión de la información. Los parámetros considerados para la selección de las imágenes se resumen en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Características de las imágenes Landsat 8 utilizadas en el análisis (2014 y 2023)

Atributo	SATÉLITE	SENSOR	PATH	ROW	Cobertura de Nubes	Calidad de Imagen	Corrección Geométrica (RMSE)	Fecha Adquisición
2014	Landsat 8	OLI/TIRS	9	56	20.28%	9 (Buena calidad)	1.031 (Bajo)	19/07/2014
2023	Landsat 8	OLI/TIRS	9	56	25.95%	9 (Buena calidad)	6.522 (Alto)	29/08/2023

**Nota:** Las imágenes Landsat 8 utilizadas en este estudio fueron seleccionadas con base en la cobertura de nubes, calidad de la imagen y RMSE geométrico. Las imágenes de 2014 y 2023 tienen una calidad de imagen "buena", con un RMSE geométrico bajo en 2014 (1.031) y más alto en 2023 (6.522).

**Identificación de bandas de interés.** Las imágenes satelitales utilizadas en este estudio incluyen varias bandas espectrales, de las cuales se emplearon siete, que se describen en la Tabla 2. Estas bandas cubren un rango de longitudes de onda que permiten analizar diferentes características de la superficie terrestre:

**Tabla 2.** *Especificaciones de las bandas espectrales del satélite Landsat 8*

<b>Banda</b>	<b>Nombre</b>	<b>Rango de Longitud de Onda (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
Banda 1	Ultravioleta Azul	0.43 - 0.45 $\mu\text{m}$
Banda 2	Azul	0.45 - 0.51 $\mu\text{m}$
Banda 3	Verde	0.53 - 0.59 $\mu\text{m}$
Banda 4	Roja	0.64 - 0.67 $\mu\text{m}$
Banda 5	Infrarrojo Cercano	0.85 - 0.88 $\mu\text{m}$
Banda 6	Infrarrojo de Onda Corta	1.57 - 1.65 $\mu\text{m}$
Banda 7	Infrarrojo de Onda Corta	2.11 - 2.29 $\mu\text{m}$

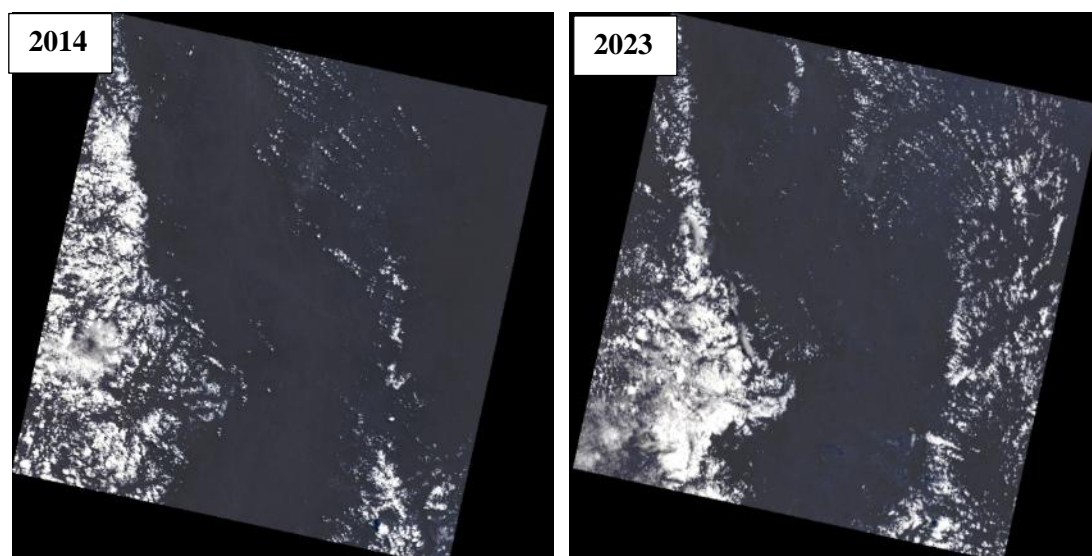
**Nota:** Las bandas espectrales del satélite Landsat 8 cubren un rango de longitudes de onda que permiten analizar diferentes características de la superficie terrestre. Estas bandas incluyen desde el ultravioleta azul hasta el infrarrojo de onda corta, lo que facilita la clasificación y el análisis detallado de la cobertura del suelo.

### **Procesamiento de imágenes**

**Corrección de imágenes.** Con el fin de unificar la información y disminuir interferencias en el momento de analizar las imágenes satelitales, se realizó la eliminación de las nubes por medio de la herramienta Cloud Masking en el Software QGIS.

**Layer Stacking.** En este paso del proceso, se llevó a cabo la combinación de múltiples bandas espectrales de una imagen satelital en un solo conjunto de datos utilizando el software ENVI. El Layer Stacking, o apilamiento de capas, fusionando las diferentes bandas espectrales. Los resultados de este proceso para las imágenes de 2014 y 2023 se muestran en la Figura 3.

**Figura 3.** *Layer Stacking para las imágenes Landsat 8 de 2014 y 2023*



Fuente: Elaboración propia

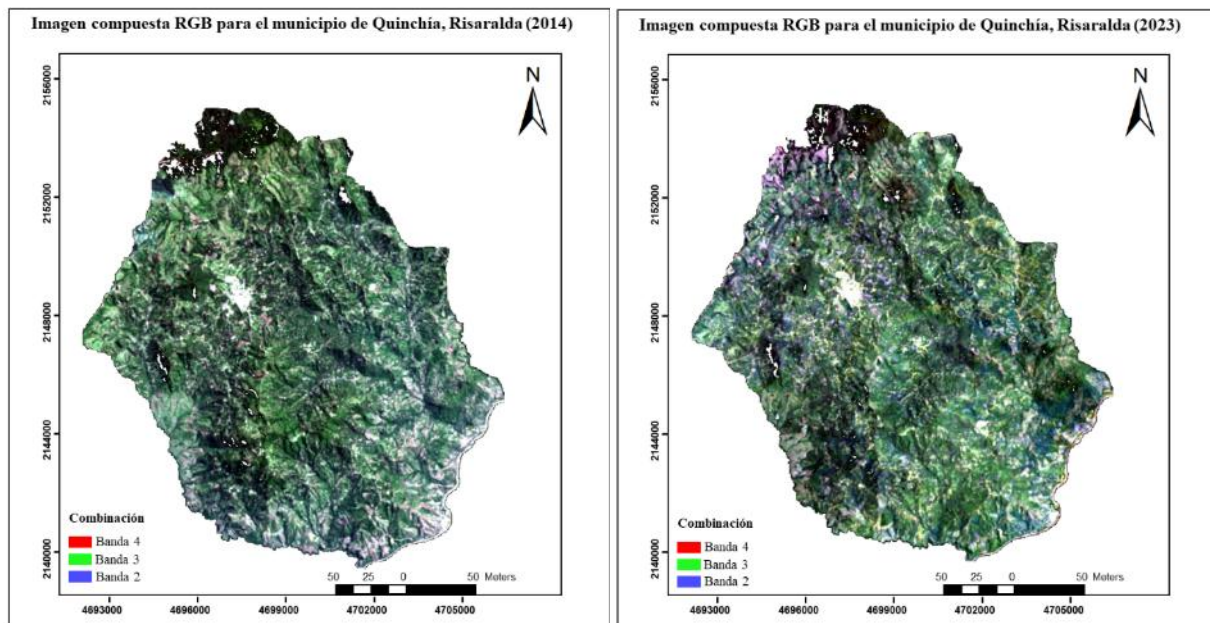
**Escala de trabajo.** Se definió una escala de 1:80,000 para el análisis multitemporal del municipio de Quinchía, ya que esta escala es adecuada para la resolución espacial de las imágenes satelitales Landsat 8, que tienen una resolución de 30 metros por píxel.

**Sistema de coordenadas.** Para el análisis geoespacial de las imágenes satelitales, se definió el sistema de coordenadas CTM12 (Coordenadas Transversales de Mercator 12).

**Combinaciones de Bandas.**

**Combinación de Bandas RGB.** Se empleó la combinación de bandas RGB (Rojo, Verde y Azul) como una técnica fundamental para crear representaciones en color verdadero a partir de las imágenes satelitales. Específicamente, se asignó la banda 4 al canal rojo (R), la banda 3 al canal verde (G) y la banda 2 al canal azul (B), siguiendo el modelo estándar de representación en color verdadero. La combinación de estas bandas se llevó a cabo utilizando el software ENVI, donde previamente se generó una capa de Layer Stacking que fusionó las diversas bandas espectrales (Figura 4).

**Figura 4.** *Combinación de bandas RGB, color verdadero en ENVI*

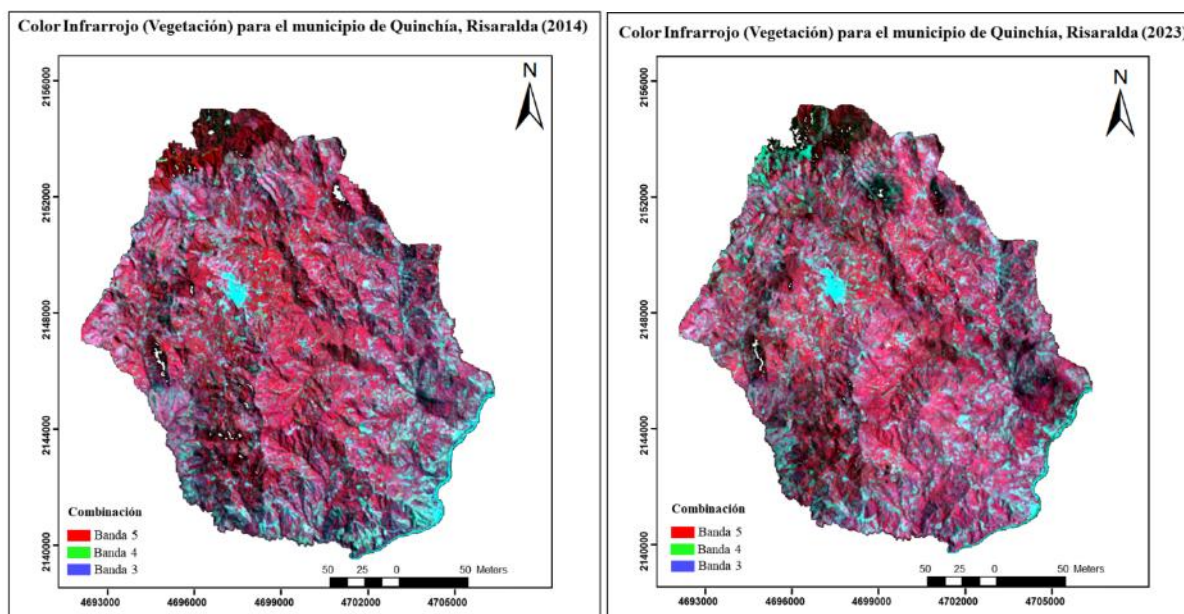


Fuente: Elaboración propia

**Combinación de Bandas Infrarrojo.** Se seleccionaron las bandas 5 (infrarrojo cercano), 4 (roja) y 3 (verde); estas bandas fueron elegidas por su capacidad para proporcionar información relevante sobre la vegetación. Para realizar la combinación, se utilizó el software ENVI, lo que

permitió generar imágenes multispectrales que evidencian las variaciones en la vegetación (Figura 5).

**Figura 5.** *Combinación de bandas infrarrojas en ENVI*



Fuente: Elaboración propia

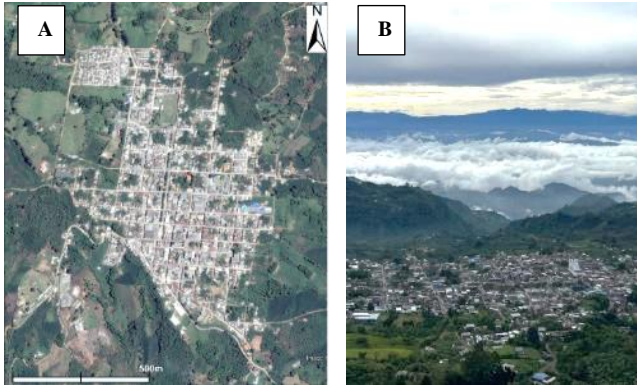
### **Identificación de coberturas mediante la metodología Corine Land Cover (CLC).**

Para este estudio, se empleó la metodología CLC para identificar y clasificar las diferentes coberturas en el municipio de Quinchía, Risaralda, en el período comprendido entre los años 2014 y 2023.

Las coberturas se identificaron previamente mediante en la plataforma Google Earth, y se verificaron en campo para tener certeza de lo observado satelitalmente, a continuación, se describen aspectos relevantes dados por la metodología CLC y los identificados en las visitas a campo:

**Zonas Urbanizadas (1.1).** Caracterizadas por la presencia de infraestructuras humanas como viviendas, carreteras, y servicios públicos (Figura 6).

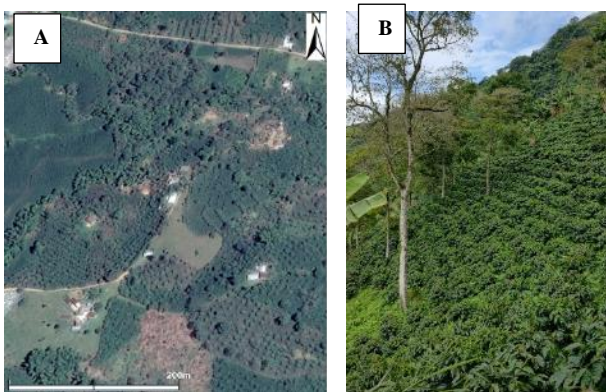
**Figura 6.** Cobertura de zonas urbanizadas de Quinchía



Nota. La imagen (A) representa una vista desde Google Earth y la (B) es una fotografía del municipio de Quinchía.

**Zonas Agrícolas Heterogéneas (2.4).** Compuesta por áreas dedicadas a actividades agrícolas, donde predominan cultivos diversos como café, aguacate, maíz, caña de azúcar, entre otros. La heterogeneidad se refiere a la mezcla de diferentes tipos de cultivos en un mismo espacio, lo que caracteriza la variabilidad de la actividad **agrícola** (Figura 77).

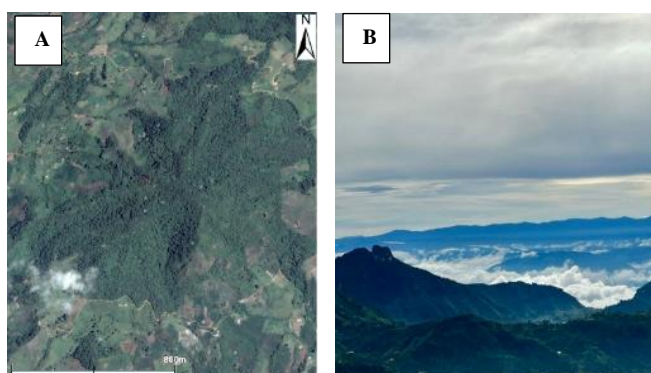
**Figura 77.** Cobertura de zonas agrícolas heterogéneas



**Nota:** Las imágenes A y B muestran un cultivo de café, una obtenida a través de Google Earth y la otra mediante fotografía.

**Bosques (3.1).** Se identifican dos tipos de coberturas para bosques, las naturales y las cultivadas. La primera hace referencia a las áreas de conservación; la segunda está dada por cultivos de pinos en la zona norte del municipio (Figura 8)

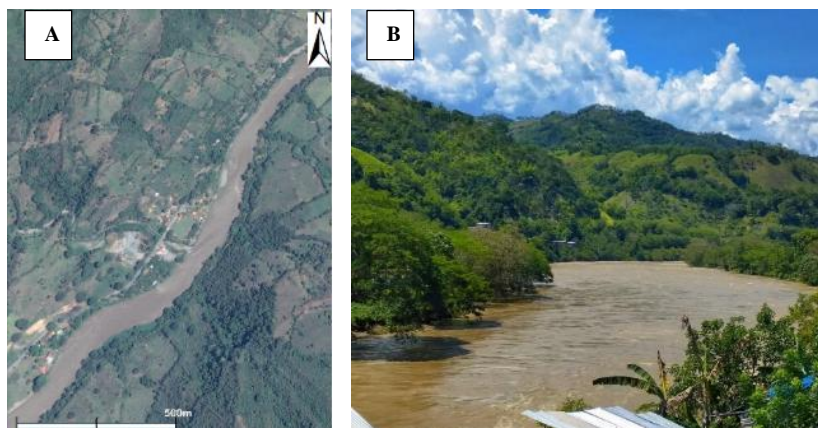
**Figura 8.** Cobertura de zonas agrícolas heterogéneas



**Nota:** (A) Imagen del cerro Gobia obtenida desde Google Earth y (B) Fotografía del cerro Batero.

**Aguas Continentales (5.1).** Las aguas continentales incluyen ríos, lagos, embalses y otros cuerpos de agua dulce (Figura 9).

**Figura 9.** Cobertura de aguas continentales



**Nota:** Vista del río Cauca en el corregimiento de Irra: (A) Imagen desde Google Earth y (B) Fotografía.

- **Clasificación supervisada.**

Por medio del Software ENVI, se implementó la técnica de clasificación supervisada teniendo como base las combinaciones RGB e infrarrojo con el fin de identificar patrones y estructuras, para posteriormente agruparlos en categorías, para estas se definieron en total 200 zonas de entrenamiento para cada imagen, posteriormente se validó la clasificación por medio de los siguientes índices espectrales:

*Cálculo del Índice Jeffries-Matusita (JM):* A través del menú Spectral en ENVI, se accedió a la herramienta "Jeffries-Matusita". Allí, se seleccionaron las clases de entrenamiento previamente definidas, y el software generó el índice JM para cada par de clases, proporcionando valores que reflejan la separabilidad espectral entre ellas (Tabla 3).

**Tabla 3.** Valores del Índice Jeffries-Matusita (JM) para las combinaciones de clases en 2014 y 2023

Combinación de Clases	Jeffries-Matusita	
	2014	2023
Zona Urbana y Zonas Agrícolas	1.3	2.0
Zonas Agrícolas y Bosques	1.7	1.9
Zona Urbana y Bosques	1.9	2.0
Agua y Zonas Agrícolas	2.0	2.0
Zona Urbana y Agua	2.0	2.0
Agua y Bosques	2.0	1.6

**Cálculo de la Divergencia Transformada.** En ENVI se accedió al menú "Spectral", posteriormente se seleccionó la opción "Divergence", lo que permitió iniciar el cálculo del índice para las clases seleccionadas (Tabla 4).

**Tabla 4.** Valores de la DT para las combinaciones de clases en 2014 y 2023

Combinación de Clases	Divergencia Transformada	
	2014	2023
Zona Urbana y Zonas Agrícolas	1.6	2.0
Zonas Agrícolas y Bosques	2.0	2.0
Zona Urbana y Bosques	2.0	2.0
Agua y Zonas Agrícolas	2.0	2.0
Zona Urbana y Agua	2.0	2.0
Agua y Bosques	2.0	1.9

A continuación, se realizó el análisis multiespectral de la imagen Landsat de ambos periodos de tiempo utilizando la clasificación de máxima verosimilitud.

La imagen fue exportada en formato TIFF y cargada en el software ArcMap, donde se transformó en polígonos. Luego se realizaron ajustes precisos para identificar discrepancias entre la combinación RGB de color verdadero y las coberturas asignadas en la clasificación supervisada realizada en ENVI. Una vez efectuados los ajustes necesarios, se procedió al cálculo del área y al porcentaje de cobertura correspondiente en cada imagen.

- **Integración de datos de Global Forest Watch**

Esta plataforma ofreció datos actualizados y precisos relacionados con la deforestación, la degradación del suelo y la restauración de bosques para el municipio de Quinchía.

Los datos se descargaron de la página en formato .TIFF, por medio del software ArcGIS PRO se realizó la proyección del ráster a origen único nacional CTM 12 con la herramienta Project, para posteriormente realizar el recorte del área de interés (Quinchía) con la herramienta Clip ráster.

Los datos se encuentran discriminados por año desde el 2002, para realizar el análisis de la información se procedió a realizar la conversión del ráster a vector para calcular el área discriminada por años.

Para efecto de la salida del mapa ilustrativo y los datos de área intervenida para el año 2014, se tuvo en cuenta los recursos disponibles en el archivo, los cuales se remontan al año 2002. y para la salida del mapa y datos del año 2023 se realizó la representación y análisis específicamente con la información de los años comprendidos entre el 2014-2023.

### **6.3.2 Fase 2. Identificación de áreas críticas**

Para identificar las áreas boscosas críticas con alto riesgo de deforestación y cambio en el uso del suelo mediante el análisis de imágenes satelitales, se utilizó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

- **Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI)**

Por medio del Software QGIS, se realizó el cálculo del índice NDVI, implementando en la calculadora ráster la siguiente fórmula:

NDVI:  $(NIR - Red) / (NIR + Red)$ , donde:

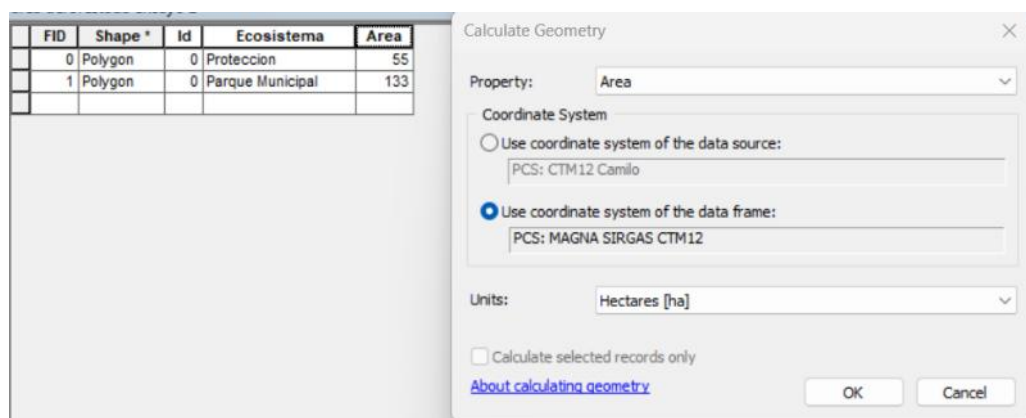
NIR: Banda 5

Red: Banda 4

- **Identificación de cambios en las áreas de manejo especial.**

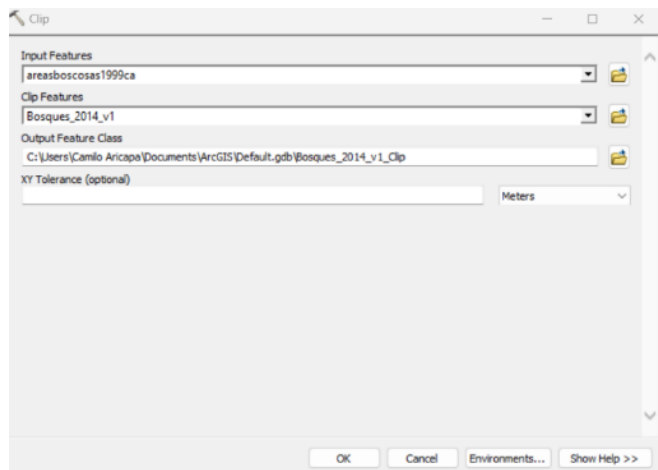
A partir del Plan de Ordenamiento Territorial de 1999, se identificaron y georreferenciaron las áreas de interés ambiental del municipio utilizando el software ArcMap. Posteriormente, estas áreas fueron digitalizadas y se calculó su superficie mediante la herramienta de cálculo de geometría (Figura 10).

**Figura 10.** *Calculo superficie de las áreas de interés ambiental*



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se realizaron recortes espaciales, comenzando con las áreas del año 1999, que fueron superpuestas con las coberturas boscosas del año 2013, obtenidas de la clasificación CLC. Este proceso se repitió utilizando las coberturas boscosas de 2023. Para ello, se empleó la herramienta Clip de ArcMap (Figura 11), que permite extraer las áreas de interés de las coberturas forestales.

**Figura 11.** Extracción áreas de interés por medio de la herramienta Clip

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos los recortes, se calculó el área de cada una de las zonas resultantes, y se procedió a analizar los cambios en la cobertura forestal dentro de las áreas de manejo especial a lo largo del tiempo.

- **Análisis enfocado a la conservación y protección de áreas boscosas**

Una vez identificados los cambios en las coberturas vegetales, evaluada la calidad de la vegetación presente en el municipio y analizados los cambios ocurridos en las áreas de manejo especial, se procedió a definir e implementar las medidas de conservación necesarias para mitigar los impactos observados y garantizar la protección de los ecosistemas.

Estas medidas de conservación se basaron en la creación de un plan de recuperación que tuvo como objetivo la restauración y preservación de las áreas de manejo especial y los ecosistemas estratégicos del municipio. Para ello, se utilizó el software ArcMap para desarrollar un Shapefile (SHP) con polígonos que delimitan las áreas de protección y los parques

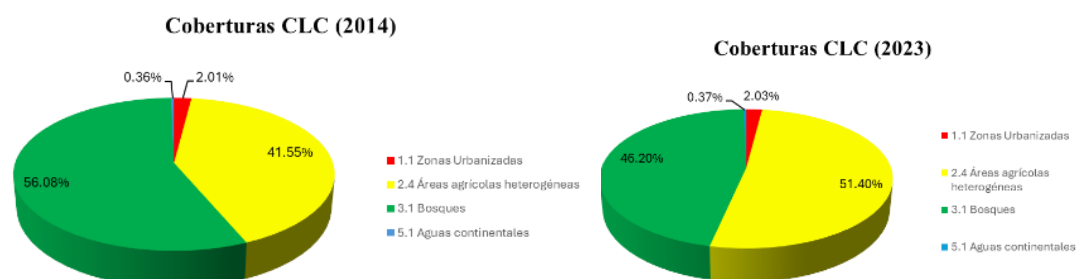
municipales. Esta acción permitió establecer claramente las fronteras de las zonas de interés ambiental, facilitando su gestión.

Con las áreas de protección debidamente delimitadas, se ampliaron y reforzaron las políticas de conservación. De esta manera, se buscó promover un enfoque integral de conservación que no solo preservara las áreas de mayor importancia ecológica, sino que también promoviera la restauración de aquellas que hayan sido afectadas por procesos de cambio en la cobertura vegetal o por actividades humanas.

## 7. Resultados

Los resultados muestran un leve aumento de las zonas urbanizadas, pasando de 282 hectáreas (2.01%) en 2014 a 284 hectáreas (2.03%) en 2023 (Figura 12). Este aumento se concentra principalmente en el casco urbano y los corregimientos de Naranjal, Irra y Batero. Este crecimiento, aunque moderado en términos absolutos, refleja la expansión de infraestructuras urbanas, impulsada por el aumento poblacional. Sin embargo, este crecimiento urbano tiene implicaciones importantes sobre las áreas boscosas circundantes, lo que puede resultar en una pérdida progresiva de cobertura vegetal.

**Figura 12.** Coberturas Corine Land Cover 2014 - 2023



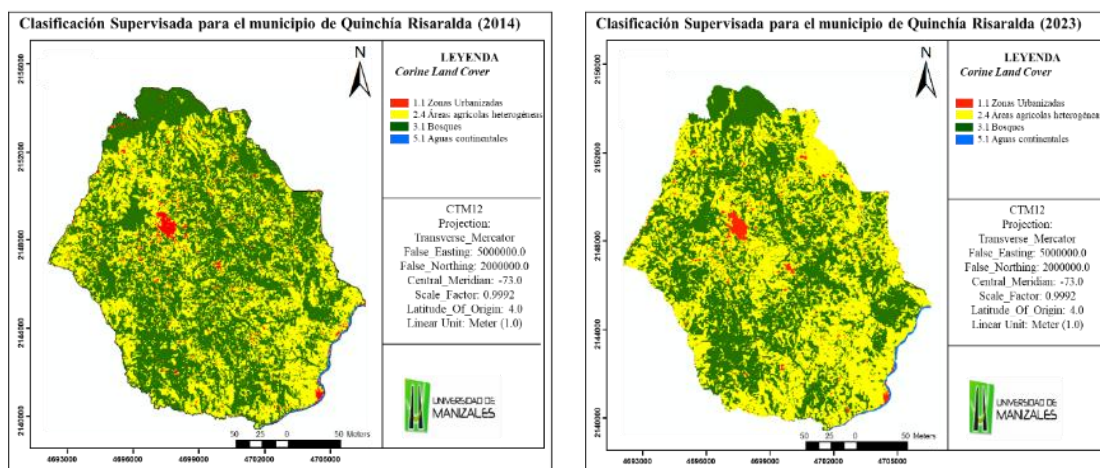
Fuente: Autores

En cuanto a las zonas agrícolas heterogéneas, se observó un notable crecimiento, pasando de 5,821 hectáreas (41.55%) en 2014 a 7,202 hectáreas (51.40%) en 2023. Este aumento se concentró en tres áreas clave: entre el casco urbano y el corregimiento de Naranjal, donde predominan cultivos de café y plátano; al noreste, entre los corregimientos de Batero y Moreta, con cultivos de café; y al sur, en el corregimiento de Irra, donde aumentaron los cultivos de cacao y caña de azúcar. Este cambio refleja una conversión de áreas boscosas en terrenos de cultivo, fenómeno que está relacionado con la expansión de la frontera agrícola, lo cual está en sintonía con lo mencionado por Veloza (2016), el cual destaca que, “en Colombia, la pérdida de

cobertura boscosa se debe principalmente a la expansión agrícola, así como a la explotación forestal y las prácticas insostenibles de uso del suelo, como la ganadería y la minería”. Por lo tanto, el incremento en las zonas agrícolas observadas en este estudio podría ser un reflejo de estos mismos procesos que contribuyen a la degradación de los ecosistemas forestales a nivel nacional.

Por otro lado, la cobertura boscosa experimentó una disminución significativa, pasando de 7,858 hectáreas (56.08%) en 2014 a 6,473 hectáreas (46.20%) en 2023, lo que representa una pérdida del 9.88% (Figura 13). La mayor transformación se observó entre el casco urbano y el corregimiento de Naranjal, donde el cambio hacia zonas agrícolas ha sido particularmente evidente. También se observó un cambio en la zona noreste, entre los corregimientos de Batero y Moreta, lo que puede estar relacionado con la expansión de cultivos en la región. La conversión de tierras boscosas en áreas agrícolas refleja la presión sobre estos ecosistemas naturales y subraya la necesidad de estrategias de conservación y manejo sostenible de los recursos naturales.

**Figura 13.** Clasificación supervisada para el municipio de Quinchía, Risaralda, para los años 2014 y 2023

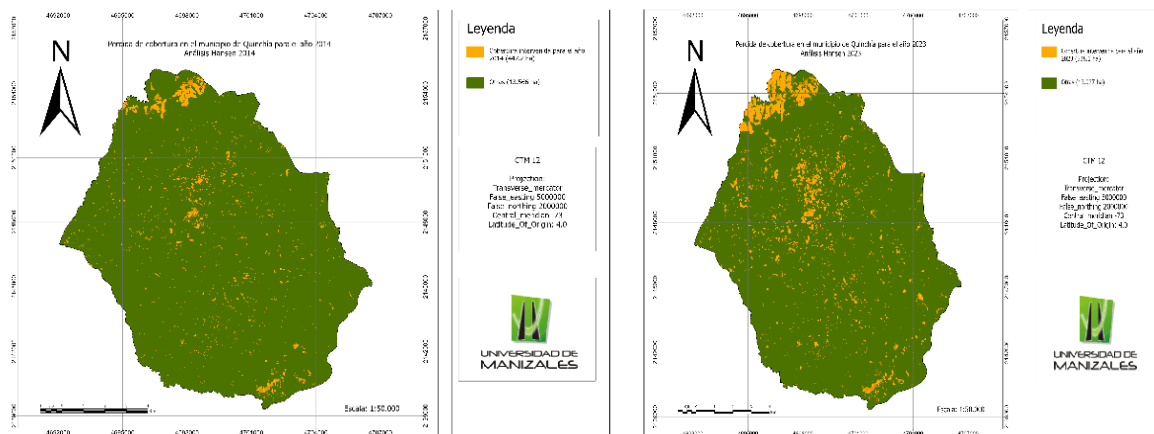


Fuente: Elaboración propia

Si bien la disminución de la cobertura boscosa en el municipio de Quinchía no supera el 10% en un periodo de nueve años, este dato es relevante, ya que, aunque no parece alarmante, refleja una tendencia creciente que podría tener implicaciones más significativas a largo plazo

En comparación con los datos obtenidos de Hansen en la plataforma Forest Watch, la información previa a 2014 muestra una pérdida de cobertura vegetal del 2,99%, mientras que en el mismo periodo de este estudio se observa una pérdida del 3,59% (Figura 14). Aunque estos datos difieren ligeramente en cuanto a su exactitud con los obtenidos en el análisis multitemporal a través de la clasificación supervisada, ambos conjuntos de datos permiten identificar un crecimiento exponencial en la pérdida de coberturas boscosas y vegetales. Este 9,88% de pérdida está también en concordancia con la tendencia observada a nivel nacional, tal como se muestra en los datos presentados por Rojas y Castiblanco (2018), quienes reportan una disminución del 19,38% en los bosques de galería. Aunque la cifra en Quinchía es inferior, la tendencia creciente observada es similar.

**Figura 14.** *Perdida de Cobertura. Hansen 2014 - 2023*

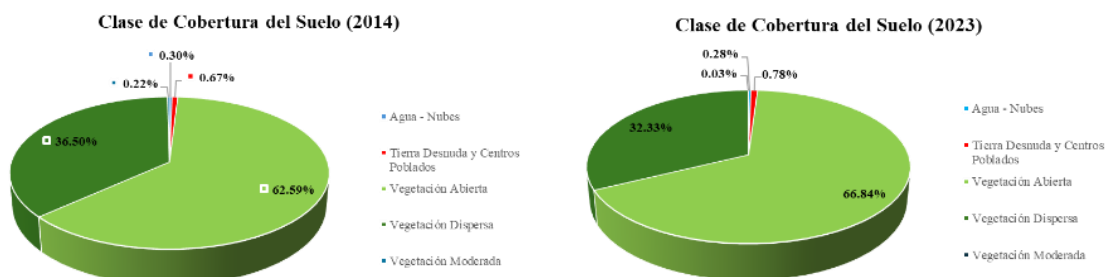


Fuente: Elaboración propia

En sinergia al análisis multitemporal, el análisis de los datos del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) revela diversos procesos de transformación. El aumento la vegetación abierta entre 2014 y 2023 (587 hectáreas) es un indicador significativo de la expansión de actividades agrícolas y pastizales (Figura 15).

Este cambio es particularmente relevante al considerar que las zonas de vegetación abierta son, en su mayoría, áreas de uso agrícola o ganadero, con una baja densidad de vegetación, lo cual de acuerdo con Cañas (2022), influye negativamente en la biodiversidad local y en los servicios ecosistémicos.

**Figura 15.** Variaciones en el NDVI de Quinchía entre 2014 y 2023



Fuente: Autores

En particular, este tipo de expansión podría estar afectando áreas que, aunque no densas en vegetación, funcionan como corredores ecológicos y zonas de recarga hídrica, cruciales para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos locales.

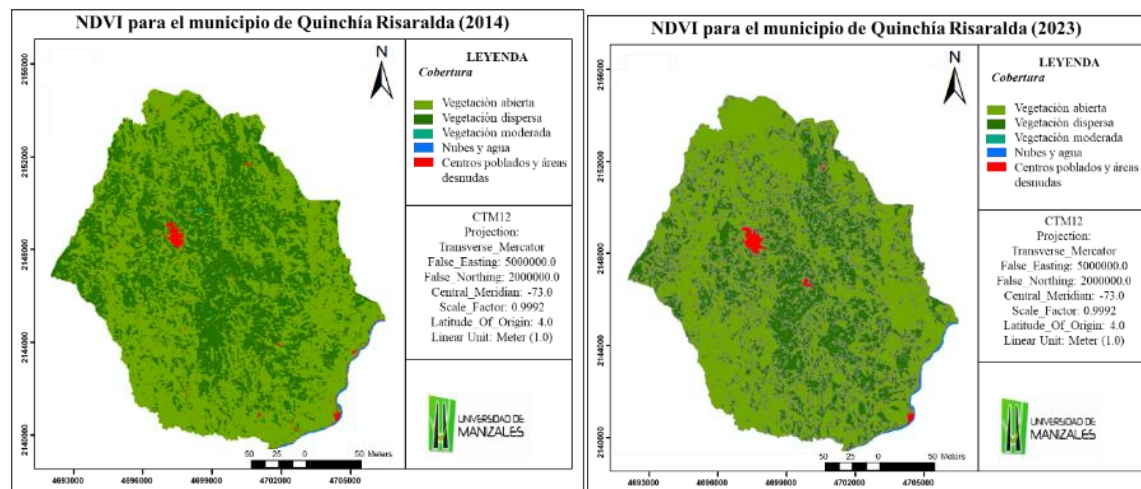
La pérdida de vegetación dispersa es otro hallazgo importante, que refleja una conversión significativa de tierras que, aunque no completamente boscosas, contienen fragmentos de vegetación que desempeñan un papel crucial en la conectividad ecológica. La vegetación dispersa está frecuentemente relacionada con áreas de transición entre bosques y otros tipos de uso del suelo, y su pérdida puede contribuir a la fragmentación del hábitat y a la disminución de

la conectividad entre ecosistemas, lo cual puede tener efectos devastadores en las especies locales. Guzmán-Manrique y Flórez-García (2019) mencionan que la pérdida y fragmentación de estos ecosistemas pueden reducir la resiliencia de los paisajes frente a alteraciones ambientales, como cambios climáticos o eventos extremos.

Aunque la vegetación moderada no fue fácilmente identificable debido a la resolución de las imágenes satelitales, la reducción de 27 hectáreas entre 2014 y 2023 es una señal de que áreas previamente cubiertas por vegetación densa y saludable también han experimentado alteraciones. Esta reducción puede estar relacionada con la deforestación, la degradación del suelo y las prácticas agrícolas no sostenibles, las cuales están empujando los límites de las áreas boscosas en la región. La disminución de vegetación moderada podría estar ocurriendo en zonas que previamente servían como un refugio para biodiversidad o que son clave para la regulación hídrica del municipio.

En conjunto, los resultados obtenidos del análisis NDVI indican que, a pesar de algunos aumentos en áreas agrícolas y pastizales, el municipio de Quinchía está experimentando un proceso de transformación del uso del suelo caracterizado por la conversión de vegetación natural en terrenos utilizados para actividades humanas (Figura 16). La expansión agrícola, en particular, presenta un riesgo significativo de deforestación, ya que implica la eliminación de bosques y áreas naturales para dar paso a la producción de cultivos y pastizales.

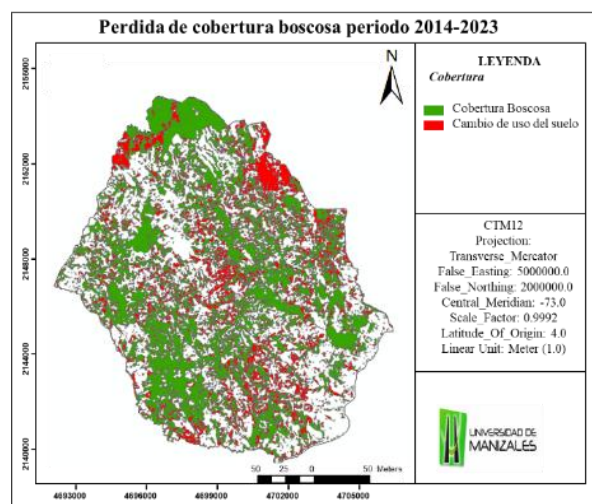
**Figura 16.** NDVI para el municipio de Quinchía, Risaralda, para los años 2014 y 2023



Fuente: Elaboración propia

Entre las áreas boscosas críticas que se deben identificar con alto riesgo de deforestación, aquellas con vegetación dispersa y moderada deben ser monitoreadas con especial atención, ya que son las más susceptibles a transformaciones hacia usos agropecuarios y urbanización. Estas áreas, a pesar de no ser completamente boscosas, juegan un papel esencial en la conservación de la biodiversidad y la conectividad ecológica. Su pérdida podría tener efectos en cadena sobre los ecosistemas circundantes y la resiliencia del paisaje (Figura 17).

**Figura 17.** Perdida de cobertura boscosa periodo 2014 - 2023



Fuente: Elaboración propia

Los resultados y el análisis del NDVI permitieron identificar cambios significativos en la cobertura vegetal. Sin embargo, es importante tener en cuenta que no se consideraron variables climáticas, las cuales, de acuerdo con Arboit & Maglione (2018), pueden generar resultados negativos en estos análisis. Este aspecto es particularmente interesante de profundizar en futuros trabajos, ya que los factores climáticos desempeñan un papel crucial en lo establecido por el NDVI, especialmente en Quinchía (Risaralda – Colombia). La temperatura, la precipitación, la radiación solar y la humedad del suelo son variables que afectan directamente la fotosíntesis, la cobertura vegetal y, por ende, los valores de NDVI.

Integrar datos climáticos en futuros estudios permitirá interpretar con mayor precisión las dinámicas de la vegetación, identificar patrones estacionales y evaluar el impacto de fenómenos como sequías o lluvias extremas. Además, estos factores son esenciales para modelar escenarios futuros en estudios de cambio climático, manejo agrícola y conservación de ecosistemas, apoyándose en herramientas tecnológicas y sistemas de información geográfica.

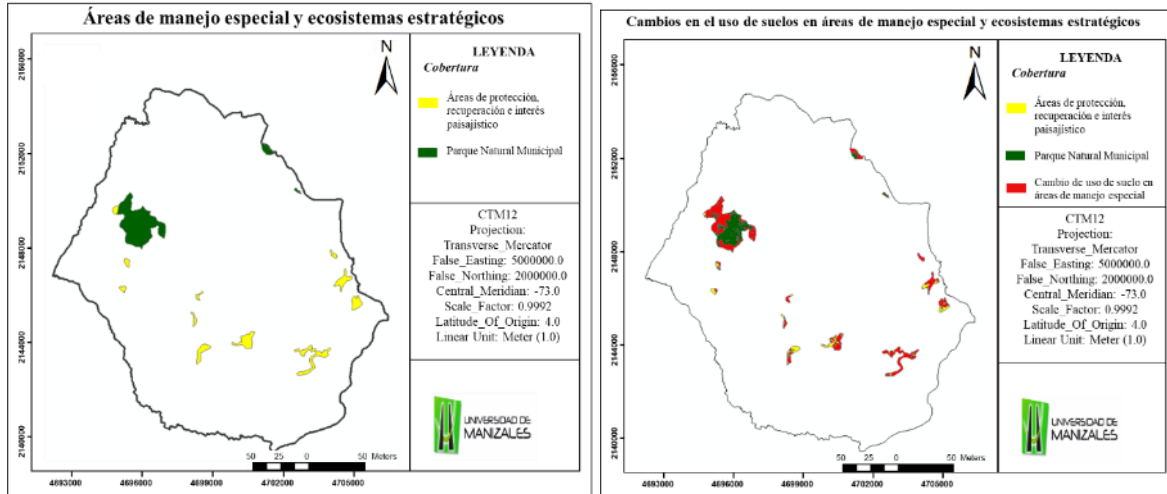
Por otro lado, es fundamental considerar cómo la transformación del paisaje influye en la cobertura vegetal. La alta transformación de los paisajes naturales en paisajes rurales ha causado una fragmentación importante en los ecosistemas estratégicos. La conservación de estas áreas requiere un proceso de planeación donde el plan de ordenamiento territorial es esencial para generar un conjunto de acciones coordinadas y concertadas que se enfoquen en la recuperación y conservación de los bienes y servicios ambientales (Lozano – Zambrano 2009). En este sentido, la planificación del territorio debe fundamentarse en la potencialidad de las áreas y los intereses de las comunidades presentes.

De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Quinchía, establecido para el año 1990, se disponía de 262 hectáreas de parques municipales (Gobia y Batero) y 173 hectáreas de áreas destinadas a la protección, recuperación e interés paisajístico. Sin embargo, al comparar estos datos con el cambio en la cobertura boscosa entre los años 2014 y 2023, se observa una considerable disminución de estas áreas, quedando solo 133 hectáreas de parques municipales y 55 hectáreas de áreas de protección representando un 2.8% de las coberturas boscosas para el año 2023 (Figura 18). Este cambio representa reducción del 40% en la extensión de estas áreas un porcentaje considerablemente superior al 8.9% de pérdida de cobertura boscosa a nivel municipal, pero de gran importancia por su carácter de manejo especial y conservación.

Este cambio en el uso del suelo refleja una tendencia alarmante en estas áreas, especialmente en el Parque Municipal Cerro Gobia, que ha sufrido una transformación notable debido a su proximidad al casco urbano. La cercanía de este parque al área urbana lo ha hecho más vulnerable a la expansión de la actividad agrícola y urbana, lo que ha acelerado su degradación y reducción.

**Figura 18.** Áreas de manejo especial y cambios en la cobertura del suelo

(Figura 18A). (Figura 18B).



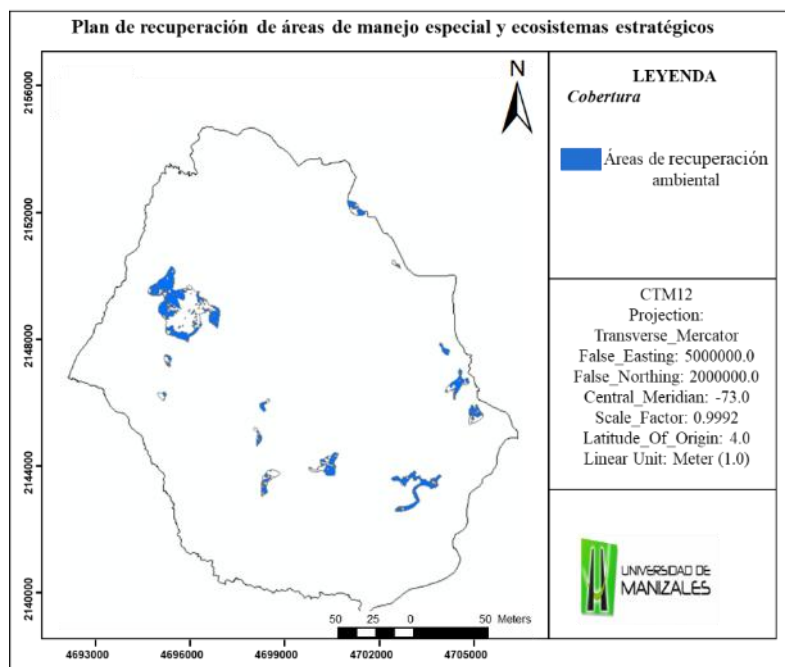
Fuente: Elaboración propia

Por lo cual es necesario implementar un plan de recuperación de áreas de manejo especial y ecosistemas estratégicos, monitoreo y de amortiguamiento que permitan establecer corredores ecológicos que generen conexión y faciliten la restauración de las áreas objeto de conservación, con el fin de recuperar inicialmente en un periodo de 10 años 100 hectáreas en los parques municipales (De igual manera, es fundamental desarrollar e implementar corredores ecológicos que no solo conecten las áreas protegidas, sino que también sirvan como rutas de paso para la fauna local, permitiendo el intercambio genético entre poblaciones aisladas. Estos corredores deben ser diseñados de manera que integren tanto los ecosistemas naturales como las zonas de uso humano, garantizando que las especies puedan moverse de manera segura entre diferentes hábitats sin enfrentar barreras significativas. Además, los corredores ecológicos contribuyen a la resiliencia de los ecosistemas al facilitar la restauración de las áreas degradadas y mejorar su capacidad para enfrentar cambios ambientales, como el cambio climático. (Figura 19). Este plan

deberá incluir las comunidades aledañas, pues son los actores principales y conocedores de los territorios.

De igual manera, es fundamental desarrollar e implementar corredores ecológicos que no solo conecten las áreas protegidas, sino que también sirvan como rutas de paso para la fauna local, permitiendo el intercambio genético entre poblaciones aisladas. Estos corredores deben ser diseñados de manera que integren tanto los ecosistemas naturales como las zonas de uso humano, garantizando que las especies puedan moverse de manera segura entre diferentes hábitats sin enfrentar barreras significativas. Además, los corredores ecológicos contribuyen a la resiliencia de los ecosistemas al facilitar la restauración de las áreas degradadas y mejorar su capacidad para enfrentar cambios ambientales, como el cambio climático.

**Figura 19.** *Plan de recuperación de áreas de manejo especial y ecosistemas estratégicos*



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, cada una de estas estrategias requiere de una política integral, donde se fortalezca la gobernanza del territorio y la toma de decisiones concretas con respecto al uso y administración de los recursos naturales, priorizando la conservación y restauración de las coberturas boscosas. Así mismo, es necesario aplicar la normativa vigente y establecer los criterios adecuados para el uso del suelo y la implementación de actividades con enfoque sostenible, considerando siempre el bienestar social como la protección de la biodiversidad. La importancia de herramientas y estrategias que permitan la toma de decisiones ambientales por medio de la tecnología es confirmada por Arboit & Maglione en el 2018 al concluir que estos estudios son de suma importancia para planes de manejo y gestión territorial, y permite disponer de mayor información sobre la cobertura vegetal y avanzar sobre el conocimiento de las transformaciones y la dinámica del territorio, con el propósito de aportar conocimiento para mejorar la gestión del patrimonio “culturalambiental”.

## 8. Conclusiones

El análisis multitemporal mediante la clasificación supervisada permitió identificar un cambio alarmante en las coberturas boscosas del 9.8% en entre los años 2014 y 2024. lo cual está directamente relacionado con el proceso de conversión de tierras para la expansión agrícola, especialmente en zonas cercanas al casco urbano y en los corregimientos de Naranjal, Irra, y Batero.

El análisis del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para el municipio de Quinchía entre 2014 y 2023 reveló transformaciones significativas en el uso del suelo, destacándose la expansión de áreas de vegetación abierta; siendo las zonas de mayor riesgo de deforestación los Parques Naturales Cerro Gobia y Cerro Batero, donde se observó un cambio en el uso del suelo del 40% durante este período, lo que subraya la necesidad urgente de monitorear y gestionar estas áreas críticas para mitigar los impactos ambientales y conservar los ecosistemas locales.

El análisis de la dinámica de la cobertura vegetal en el municipio de Quinchía revela la necesidad de implementar estrategias de manejo sostenible de los bosques que prioricen la conservación de la biodiversidad y la protección de los ecosistemas. Los resultados de este estudio sugieren que la deforestación y la degradación de los bosques en el municipio están relacionadas con la expansión de la agricultura, la ganadería, la minería y la urbanización. Por lo tanto, es importante que se realicen estudios adicionales para explorar las causas subyacentes de la deforestación en la región y para identificar soluciones efectivas para abordar este problema. Además, es fundamental que se promuevan prácticas sostenibles de manejo de los bosques, como

la reforestación, la agroforestería y la certificación de productos forestales, para garantizar la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible del municipio.

Finalmente, la implementación de un plan de recuperación de áreas de manejo especial y ecosistemas estratégicos es de suma importancia para garantizar la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad en Quinchía. La creación de corredores ecológicos y la restauración de áreas críticas no solo contribuirán a la protección de los ecosistemas locales, sino que también facilitarán la conectividad ecológica, esencial para la resiliencia de los paisajes frente a transformaciones humanas y cambios climáticos. Involucrar a las comunidades locales en este proceso es crucial, ya que su conocimiento del territorio y su participación son fundamentales para el éxito del plan.

## 9. Recomendaciones

Es fundamental que las autoridades locales desarrollen políticas de conservación más efectivas para las áreas boscosas en riesgo, especialmente en los corregimientos de Naranjal, Irra, y Batero, los cuales son los más afectados por la expansión agrícola y urbana. Estas políticas deben incluir la creación de áreas de recuperación ambiental y corredores ecológicos que permitan la conectividad entre las zonas forestales fragmentadas, asegurando la conservación de la biodiversidad. Esto es crucial para proteger los paisajes naturales que son el principal atractivo turístico del municipio.

Implementar un sistema de monitoreo continuo del uso del suelo mediante herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG), permitiendo una evaluación precisa y en tiempo real en las coberturas vegetales y uso del suelo. Lo anterior facilitara la toma de decisiones fundamentada en información actualizada, optimizando la planificación territorial y promoviendo estrategias sostenibles de conservación de los recursos naturales y gestión del territorio en el territorio del municipio de Quinchía.

Se recomienda a la Administración municipal de Quinchía el desarrollo de un plan de ordenamiento territorial que considere las dinámicas de expansión urbana y agrícola, así como la necesidad de preservar las áreas boscosas, implementando políticas de recuperación ambiental en los parques naturales del municipio (Batero y Gobía) y en las áreas de protección, recuperación e interés paisajístico.

Es necesario que la academia continúe investigando sobre el impacto de la expansión urbana y agrícola en las coberturas en Quinchía. Además, se recomienda fomentar la

colaboración interdisciplinaria entre investigadores, autoridades locales y organizaciones no gubernamentales, para mejorar la comunicación y efectividad de las políticas de conservación y restauración ambiental.

## 10. Referencias

- Arboit, M. E., & Maglione, D. S. (2018). Análisis multitemporal y multiespacial del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y del índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) en centros urbanos forestados y oasis irrigados, con climas secos. Tomado de: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/87643>
- Arciniegas, N., Forero-Medina, G. y Gutiérrez-Chacón., C. (2023). *Deforestación en los parques nacionales naturales* pp. 178. En: León-Parra, A., Cortés-Gómez, A. Gutiérrez-Chacón, C., Solano-Gutiérrez, C. L., Fagua-González, G., López-Franco, M., Franco, O. (Eds). *Parques Nacionales Cómo Vamos- PNCV, “Los Parques Nacionales Naturales colombianos: amenazas y oportunidades para su gestión. Informe 2023”* Editorial Fundación Natura, Bogotá D.C. <https://parquescomovamos.com/wpcontent/uploads/2023/12/informe-2023-pncv.pdf>
- Arevalo, D y Duarte, J. (2021). Análisis multitemporal de la cobertura de páramo y la degradación en la extensión de la cobertura de paramo - Subcuenca San José - Páramo El Rabanal. Universidad Santo Tomás, Facultad de ingeniería Civil. Tunja.
- Akhidime, A. E. (2017). *The importance and development of research problem: A didactic discuss.* International Journal of Economic, Commerce and Management, 5(8), 631- 640. <https://ijecm.co.uk/wp-content/uploads/2017/08/5835.pdf>
- Axess Networks. (2021). *Las imágenes satelitales y sus aplicaciones en la vida cotidiana.* Axess Networks, Tomado de. <https://axessnet.com/las-imagenes-satelitales-y-sus-aplicaciones-en-la-vida-cotidiana/>

- Baldi, G.; M.D. Nosetto, M.R. Aragón, F. Aversa, J.M. Paruelo and E.G. Jobbágy, (2008). Long-term satellite NDVI datasets: Evaluating their ability to detect ecosystem functional changes in South America. *Sensors* 8:5397-5425. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/1424-8220/8/9/5397>
- Bonilla, D. M y Taípe J. M. (2021). Análisis multitemporal de la cobertura vegetal a partir de la imagen satelital Sentinel-2 y Landsat-8 mediante el uso de algoritmos de clasificación, en la Reserva Ecológica El Ángel y Reserva Ecológica Arenillas. Tomado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20884>
- Cabral, N. R. A., Côrtes, M. R., y Souza, M. P. (2001). *Áreas de Protección Ambiental en Brasil y los conflictos en su administración. Investigaciones geográficas*, (26), 181-189. URL: [https://repositorio.usp.br/directbitstream/e41ac4ba-84ab-4fea-8e44-1c6f585a632e/PROD\\_001150\\_SYSNO\\_1228338.pdf](https://repositorio.usp.br/directbitstream/e41ac4ba-84ab-4fea-8e44-1c6f585a632e/PROD_001150_SYSNO_1228338.pdf)
- Cañas, J. D (2022). Análisis multitemporal de cobertura boscosa en la cuenca hidrográfica del “Rio La Vieja” debido al cambio climático y deforestación. Tomado de <https://repository.unimilitar.edu.co/server/api/core/bitstreams/e5aa938e-b9c0-4dc9-883f-bd440fbb18ae/content>
- CARDER – UTP. (2018). Perfil climático del municipio de Quinchía. Tomado de [https://blog.utp.edu.co/educacion-ambiental-de-risaralda/files/2023/12/2018\\_Perfil-Climatico-Territorial-Quinchia.pdf](https://blog.utp.edu.co/educacion-ambiental-de-risaralda/files/2023/12/2018_Perfil-Climatico-Territorial-Quinchia.pdf) [https://blog.utp.edu.co/educacion-ambiental-de-risaralda/files/2023/12/2018\\_Perfil-Climatico-Territorial-Quinchia.pdf](https://blog.utp.edu.co/educacion-ambiental-de-risaralda/files/2023/12/2018_Perfil-Climatico-Territorial-Quinchia.pdf)
- Castillejo-González, I.L., López-Granados, F., García-Ferrer, A., Peña-Barragán, J.M., Jurado-Expósito, M., Sánchez de la Orden, M., González-Audicana, M. (2009). Object- and pixelBased Analysis for Mapping Crops and their Agro-Environmental Associated

- Measures Using QuickBird Imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*. 68, 207–215. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.06.004>
- Celemin, J. P., & Arias, M. E. (2023). *Evolución de la cobertura vegetal y área construida en la ciudad de Mar del Plata (Argentina), en el periodo 2018-2022*. *Revista Electrónica de Medioambiente*, 1886-3329. Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de [Evolución de la cobertura vegetal y área construida en la ciudad de Mar del Plata \(Argentina\), en el periodo 2018-2022](#)
- CERDER. (2018). *Plan De Gestión Ambiental Regional De Risaralda*. Tomade de CARDER. <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.carder.gov.co/wp-content/uploads/2020/06/Anexo.3.Espacialidad.y.Territorialidad.pdf>
- Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de teledetección espacial*. Rialp. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/23090>
- Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección*. 3ª edición revisada. Ediciones RIALP, Madrid. España Correa.URL:  
[https://www.ucursos.cl/forestal/2011/1/EF016/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=487457](https://www.ucursos.cl/forestal/2011/1/EF016/1/material_docente/bajar?id_material=487457)
- CPNT. (2018). Propuesta de la Proyección Cartográfica única para la administración de tierras en Colombia. Recuperado de [CTM12\\_Proposal\\_v2-2018.06.01\\_compressed.pdf](#)
- Creswell, J. (2009). *Research designs. Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. SAGE Publications Ltd. ISBN 978-1-4129-6556-9.  
[https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog\\_609332/objava\\_105202/fajlovi/Creswell.pdf](https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_609332/objava_105202/fajlovi/Creswell.pdf) 10
- Codazzi-IGAC, I. G. A. (s/f). *Colombia OT - DocuVisor*. Gov.co. Recuperado el 1 de abril de 2024, de

- <https://www.colombiaot.gov.co/pot/buscador.html?u=66594&etapa=Diagn%C3%B3stico>
- Condori-Luna, I., Loza-Murguía M., Mamani-Pati F y Solíz-Valdivia H. (2018). Multitemporal analysis of forest cover using spatial remote sensing and GIS methodology in the Coroico River sub-basin-Caranavi Province in the years 1989-2014. *J. Selva Andina Res. Soc.* 2018; 9(1):25-44
- Coppin, I, y Yonckheere, K. (2024). *Métodos de detección de cambios digitales en el monitoreo de ecosistemas: una revisión*. *Revista Internacional de Teledetección*. Volumen (25,2024). 15.67
- Cordoba y Villalba (2024). Análisis multitemporal de la fragmentación de la cobertura vegetal del cantón Huaquillas, en los periodos comprendidos entre 1999 y 2023. Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura. 63 Pg. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6620>
- Di. Gregorio. A. (2005). *Sistema de clasificación de la cobertura terrestre (LCCS)*. Land Cover Classification System. Tomado de. <https://www.fao.org/4/x0596e/x0596e00.htm>
- Decreto 3600 de 2007, por el cual se reglamentan las disposiciones de las Leyes 99 de 1993 y 388 de 1997 relativas a las determinantes de ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación en este tipo de suelo y se adoptan otras disposiciones. Tomado de: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=26993>
- Decreto 2372 de 2010, Por el cual se reglamenta el Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y el Decreto-ley 216 de 2003, en relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y se dictan otras

- disposiciones. Tomado de:  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=39961>
- Villalobos, L. (2019). *Análisis multitemporal de la cobertura boscosa y uso de la tierra en el distrito de Pomahuaca, provincia de Jaén, periodo 2000-2019* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Jaén. <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/165>
- ESRI, (2025). Función NDVI. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/raster-functions/ndvi-function.htm#:~:text=El%20C3%ADndice%20diferencial%20de%20vegetaci%C3%B3n,tambi%C3%A9n%20conocida%20como%20biomasa%20relativa.>
- Evans, J. y R. Geerken. (2004). Discrimination between climate and human-induced dryland degradation. *Journal of Arid Environments* 57:535-554. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140196303001216>
- Fearnside. (1985). *Environmental change and deforestation in the Brazilian Amazon*. En Hemming J (Ed.) *Change in the Amazon Basin: Man's Impact on Forests and Rivers*. Manchester University Press. Manchester, RU. pp. 70-89.
- Fernández. (1996). Ciudades en riego. Recuperado de: [https://www.desenredando.org/public/libros/1996/cer/CER\\_todo\\_ene-7-2003.pdf#page=14](https://www.desenredando.org/public/libros/1996/cer/CER_todo_ene-7-2003.pdf#page=14)
- Florez-Yepes, G. Y., Rincon-Santamaría, A., Cardona, P. S. y Alzate Alvarez, A. M. (2017). Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en el área de influencia de las minas de oro ubicadas en la parte alta del sector de Maltería en Manizales, Colombia. *DYNA*, 84(201), 95–101. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.55759>

- Forman. (1995). *Algunos principios generales de la ecología del paisaje y de las regiones*. *Landscape Ecology*, 10, 133-142.
- García, M. E. (2016). La deforestación: una práctica que agota nuestra biodiversidad. *Producción + Limpia*, 11(2), 161-168. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a13> URL: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552016000200014&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552016000200014&script=sci_arttext)
- García, E. A. (2022). Análisis Multitemporal y de Fragmentación de la Cobertura de Bosque en el Municipio de San Jacinto, Bolívar. Tomado de <https://repositorio.uan.edu.co/server/api/core/bitstreams/2ab2f0ae-2baf-4f79-ae4e-9cbbe9667af9/content>
- Galindo et al. (2014). *Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia*. V 2.0. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá D.C., Colombia.
- Gilabert, M., González-Piqueras, J., & García-Haro, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección*, 8. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/39195330\\_Acerca\\_de\\_los\\_indices\\_de\\_vegetacion/link/00b7d5187635eb5a1a000000/download](https://www.researchgate.net/publication/39195330_Acerca_de_los_indices_de_vegetacion/link/00b7d5187635eb5a1a000000/download)
- Gonzales, A. (2018). Análisis multitemporal de la deforestación y pérdida de cobertura boscosa en la Provincia de Manu, 2000-2016. URL: <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/2277>
- Guzmán-Manrique, J. y Flórez-García, A. C. (2019). Fragmentación del paisaje empleando análisis multitemporal de imágenes de satélite Landsat TM y ETM+ en el municipio de Montelíbano, Córdoba-Colombia. *Gestión y Ambiente*, 22(1), 31–41. <https://doi.org/10.15446/ga.v22n1.76116>

- Herrmann, S., Anyamba, A y Tucker, C. (2005). Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate. *Global Environmental Change* 15:394-404  
Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378005000531>
- Hurtado, L., Pulido, D y Lizarazo, I. (2020). Multi-temporal analysis of soil changes for the Thomas Van Der Hammen Forest Reserve - Bogotá. *Revista Geográfica De Chile Terra Australis*, 56(1), 71–86. <https://doi.org/10.23854/07199562.2020561.Hurtado71>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2020). Resolución 471 y 529 sobre el Origen Único CTM12. Recuperado de [Magna Sirgas / Origen Nacional CTM12 – Herramienta para la acción Climática](#)
- Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE) (2021). *Marco de referencia geoespacial de la ICDE*, Bogotá: IGAC. Tomado de <https://www.icde.gov.co/sites/default/files/archivos/Marco%20de%20Referencia%20Geoespacial%20de%20la%20ICDE%20%281%29.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2022). Actualización de cifras de monitoreo de la superficie de bosque – Año 2021. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, (2022). Tomado de [https://visionamazonia.minambiente.gov.co/content/uploads/2023/04/Cifra\\_Actualizacion\\_Deforestacion%CC%81n2021\\_julio2022\\_CORTA.pdf](https://visionamazonia.minambiente.gov.co/content/uploads/2023/04/Cifra_Actualizacion_Deforestacion%CC%81n2021_julio2022_CORTA.pdf)
- Lugones B. M y Ramírez B. M. (2016). *Daños a la agricultura, el medio ambiente y la salud ocasionados por el caracol gigante africano*. *Rev Cubana Hig Epidemiol.* 2016;54(2):53- 61. 11
- Lamberechts. (2000). Deforestación. Recuperado de: <http://www.aag.org/galleries/mycoe-files/T.Deforestacion.pdf>

- Hernández, S. (2023). Análisis del clima urbano en áreas de expansión de la comuna de Pudahuel, proponiendo medidas desde los objetivos de desarrollo sostenible. Tomado de: <https://repositorio.uchile.cl/xmlui/bitstream/handle/2250/198321/analisis-del-clima-urbano-en-areas-de-expansion-de-la-comuna-de-Pudahuel.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Monsalve Buriticá, S. (2014). Los hipopótamos (*Hippopotamus amphibius*) en Colombia. Especie exótica, introducida e invasora. *Revista Lasallista de Investigación*, 11(1), 229-230. [fecha de Consulta 18 de Febrero de 2025]. ISSN: 1794-4449. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69531554031>
- Negassa, M.D., Mallie, D.T. y Gemedá, D.O. Forest cover change detection using Geographic Information Systems and remote sensing techniques: a spatio-temporal study on Komto Protected forest priority area, East Wollega Zone, Ethiopia. *Environ Syst Res* 9, 1 (2020). <https://doi.org/10.1186/s40068-020-0163-z>
- Ni, R., Baiketuohan, Y., Zhang a, C., Zhao a, X. y Von Gadow K. (2014). *Analysing structural diversity in two temperate forests in northeastern China*. *Forest Ecology and Management*, 316, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.10.012>
- ONU – Objetivos del Desarrollo Sostenible - 2025. Tomado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2020). El estado de los bosques del mundo. Los bosques, la biodiversidad y las personas. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2020). Comité Forestal. *El estado de los bosques del mundo 2020*. 25.º Período de sesiones. 5-9 de octubre de 2020. FO:COFO/2020/4.1. <https://www.fao.org/3/nd452es/nd452es.pdf>
- Palacios, E. (2015). Análisis multitemporal en la cobertura boscosade la zona Norte del Departamento del Chocó,1990-2014. Universidad de Manizales. Tomado de [https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/2459/Palacios\\_Bermudez\\_Erika\\_2015.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/2459/Palacios_Bermudez_Erika_2015.pdf?isAllowed=y&sequence=1)
- Pardede, P. (2018). *Identifying and formulating the research problem*. *Research in ELT*, [https://www.researchgate.net/publication/329179630\\_Identifying\\_and\\_Formulating\\_the\\_Research\\_Problem#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/329179630_Identifying_and_Formulating_the_Research_Problem#fullTextFileContent)
- Pozzobon, E y Osorio, R. (2002). Evaluación de las deforestaciones en la Reserva Forestal de Ticoporo, estado Barinas-Venezuela, en base al análisis multitemporal de imágenes de percepción remota. URL: <https://saber.ula.edu.ve/bitstream/handle/123456789/24581/articulo43-2-3.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Plan de Desarrollo Municipal de Quinchía 2020-2023. Tomado de [https://blog.utp.edu.co/educacion-ambiental-de-risaralda/files/2023/12/Plan-de-Desarrollo\\_Quinchia.pdf](https://blog.utp.edu.co/educacion-ambiental-de-risaralda/files/2023/12/Plan-de-Desarrollo_Quinchia.pdf)[https://blog.utp.edu.co/educacion-ambiental-de-risaralda/files/2023/12/Plan-de-Desarrollo\\_Quinchia.pdf](https://blog.utp.edu.co/educacion-ambiental-de-risaralda/files/2023/12/Plan-de-Desarrollo_Quinchia.pdf)
- Quezada, S., Sevilla, J. y Avilés E. (2020). Estimación de la tasa de deforestación en Pastaza y Orellana- Ecuador mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales durante el

- período 2000-2020. *Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, ALFA Vol. 6 Núm. 17 (2022).  
<http://repositorio.cidecuador.org/jspui/handle/123456789/2112>
- RedPrensaVerde. (Julio 2022). *Comunidad embera resiste hace 13 años a la minería en Quinchía*  
Tomado de. RedPrensaVerde <https://redprensaverde.org/2022/07/05/comunidad-embera-hace-13-anos-resiste-a-la-mineria-en-quinchia/>
- Rojas, J.-C. y Castiblanco Rozo, C. (2018). Variabilidad espacial y análisis multitemporal sobre los cambios en las coberturas de la tierra ocasionados por la expansión del cultivo de la palma de aceite en los años 1985, 2000 y 2016 en el municipio de San Carlos de Guaroa (Colombia). *Gestión y Ambiente*, 21(1), 59–68. <https://doi.org/10.15446/ga.v21n1.69096>
- Samboní, Y y Chacón, J. (2024). Análisis multitemporal del corredor biológico Parque Nacional Natural (PNN) Munchique y PNN Puracé en el periodo 2002–2019. *Revista Novedades Colombianas*, 19(1).  
<https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/novedades/article/view/2471/1994>
- Sánchez. (2007). *El marco lógico. Metodología para la planificación, seguimiento y evaluación de proyectos*. *Visión gerencial*, (2), 328-343. <https://www-redalycorg.biblioproxy.umanizales.edu.co/articulo.oa?id=465545876012>
- Sandoval-García, R., González-Cubas, R y Jiménez-Pérez, J. (2021). Análisis multitemporal del cambio en la cobertura del suelo en la Mixteca Alta Oaxaqueña. *Revista mexicana de ciencias forestales*. Vol.12 no.66 México jul./ago. 2021 Epub 04-Oct-2021.  
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.816>
- Santana. (2013). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio*. *Entorno Geográfico*, (3). <https://doi.org/10.25100/eg.v0i3.759812>

- SGC. (2018) *Informe de caracterización y valoración de la Colección geológica del municipio de Quinchía, Risaralda*. Tomado de Servicio Geológico Colombiano <https://www2.sgc.gov.co/Nosotros/Normatividad/Lists/Institucionales2023/Attachments/7/Informe-de-caracterizacion-y-valoracion-de-la-coleccion-Geologica-del-municipio-de-Quinchia.pdf>
- Soria-Díaz, H. F., Valeriano-Quispe, V. D., Da-Fonseca, M. V., Chambi-Legoas, R., Zevallos-Pollito, P. A., & Soria-Solano, B. (2024). Análisis multitemporal de la deforestación de una zona de amortiguamiento en la Amazonía suroeste. *Madera Y Bosques*, 30(3), e3032678. <https://doi.org/10.21829/myb.2024.3032678>
- Suárez, A. S., Jiménez, A. F., Castro, M., & Cruz, A. A. (2017). Clasificación y mapeo automático de coberturas del suelo en imágenes satelitales utilizando Redes Neuronales Convolucionales. *Orinoquia*, 21(1 Sup), 64–75. <https://doi.org/10.22579/20112629.432>
- Suárez-Parra, K., Cély-Reyes, G y Forero-Ulloa, F. (2016). *Validación de la metodología Corine Land Cover (CLC) para determinación espaciotemporal de coberturas: caso microcuenca de la quebrada Mecha (Cómbita, Boyacá), Colombia*. *Biota Colombiana* 17 (1): 1-15. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21068/C2016v17r01a01>
- Valencia, G. y Anaya, J. (2011). Implementación de la metodología Corine Land Cover con imágenes Ikonos. *Revista Ingenierías Universidad De Medellín*, 8(15), 39–52. <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/245>
- Vela, A. A., Navarro, M. A., Mendoza, M. A., Sánchez, J. A., y Esparza Olgún, L. G. (2024). Análisis multitemporal de cambios en el NDVI en una región con aprovechamiento forestal en la península de Yucatán, México. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 15(81), 160–186. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i81.1425>

- Wessels, K. J., Prince, S. D., Malherbe, J., Small, J. y Frost, P.E. (2007). Can human-induced land degradation be distinguished from the effects of rainfall variability? A case study in South Africa. *Journal of Arid Environments* 68:271-297. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014019630600190X>
- World Wildlife Fund Inc. (2024). Los devastadores impactos de la deforestación en Colombia. 12 de febrero 2024. <https://www.wwf.org.co/?386550/deforestacion-colombia-causasconsecuencias>
- Yela-Lara, S.- del-M., y Baca-Gamboa, A.-E. (2023). Dinámicas de cambio de las coberturas del suelo y su impacto en el sector suroriental de Pasto, Colombia. *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 47(185), 996–1007. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1995>
- Zalazar, Y. (2018). Evaluación de la sustentabilidad cultural y ambiental de la minería tradicional en Quinchía, Risaralda. Caso de estudio corporación área de reserva especial minera (corpoare). Universidad de Manizales. Tomado de: <https://doi.org/10.17151/luaz.2019.47.8>