Análisis multitemporal de las coberturas naturales de la RNSC PRAGA en el municipio de Turbaco, Bolívar, durante el periodo 2015-2024

Andrés Felipe Gómez Vargas

Diana Paola Castro Suarez

Camilo Andrés Torres Trejos

Sandy Milena Pestaña Díaz

Informe final de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Especialista(s) en Sistema de Información Geográfica.

Director:

M.Sc., José Fernando Mejía Correa

Asesora:

M.Sc., Ana María Giraldo Patiño

Territorios Inteligentes y Sostenibles

Grupo de Investigación y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Manizales, 2025

Resumen

El presente estudio analiza las transformaciones en las coberturas naturales de la Reserva Natural de la Sociedad Civil (RNSC) Praga, ubicada en Turbaco, Bolívar, durante el periodo 2015-2024, cuyo objetivo principal pretende evaluar el impacto de las estrategias de conservación implementadas en esta área protegida. Para ello, se aplicó una metodología basada en el análisis multitemporal mediante la clasificación supervisada en ArcGIS Pro, empleando imágenes satelitales de alta resolución y una clasificación adaptada de Corine Land Cover (CLC). Adicionalmente, como un valor agregado al proyecto, se realizó un análisis predictivo al año 2030 utilizando el módulo Land Change Modeler (LCM) de TerrSet, lo cual permitió proyectar dinámicas futuras en la cobertura del suelo.

Los resultados obtenidos muestran una recuperación parcial de las áreas boscosas y seminaturales dentro de la reserva, reflejando la efectividad de las estrategias de conservación implementadas. Sin embargo, también se identificaron dinámicas de fragmentación en los ecosistemas circundantes debido a la urbanización y la expansión agrícola, lo que subraya la necesidad de acciones regionales más amplias que fomenten la conectividad ecológica. Como conclusión principal, este trabajo resalta la relevancia de integrar herramientas SIG, técnicas de teledetección y análisis predictivo para fortalecer la gestión de áreas protegidas y garantizar la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos en contextos de alta presión antropogénica

Palabras clave: Análisis multitemporal, conservación privada, modelación espacial, cobertura del suelo, conectividad ecológica.

Abstract

This study analyzes the transformations in natural land cover within the Civil Society Nature Reserve (RNSC) Praga, located in Turbaco, Bolívar, during the period 2015-2024. Its primary objective is to evaluate the impact of conservation strategies implemented in this protected area. To achieve this, a methodology based on multitemporal analysis through supervised classification in ArcGIS Pro was applied, utilizing high-resolution satellite imagery and an adapted Corine Land Cover classification. Additionally, as an added value to the project, a predictive analysis for the year 2030 was conducted using the Land Change Modeler (LCM) module of TerrSet, allowing for projections of future land cover dynamics.

The results show a partial recovery of forested and semi-natural areas within the reserve, reflecting the effectiveness of the conservation strategies implemented. However, fragmentation dynamics were also identified in the surrounding ecosystems due to urbanization and agricultural expansion, emphasizing the need for broader regional actions to promote ecological connectivity. As a key conclusion, this study highlights the importance of integrating GIS tools, remote sensing techniques, and predictive analysis to enhance the management of protected areas and ensure the sustainability of ecosystem services in contexts under significant anthropogenic pressure.

Keywords: Multitemporal analysis, supervised classification, private conservation, spatial modeling, ecological connectivity.

Contenido

Pág.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN 11

1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA 11
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 14
1.3 JUSTIFICACIÓN 15

2. OBJETIVOS 18

2.1 OBJETIVO GENERAL 18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18

3. ANTECEDENTES 19

4. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL 33

5. REFERENTE TEÓRICO 39

5.1 RESERVA NATURAL DE LA SOCIEDAD CIVIL (RNSC) 41
5.2 RECURSO NATURAL 41
5.3 ECOSISTEMA NATURAL 42
5.4 GESTIÓN AMBIENTAL 42
5.5 PLANEACIÓN AMBIENTAL 42
5.6 ÁREA DE INFLUENCIA 43
5.7 CONSERVACIÓN 43
5.8 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA 43
5.9 TELEDETECCIÓN 43
5.10 PLANET SCOPE 44
5.11 CLASIFICACIÓN SUPERVISADA 46
5.12 ARCGIS PRO 46
5.13 COBERTURA DE SUELO 46
5.14 METODOLOGÍA CORINE LAND COVER (CLC) 47
5.15 TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS 47
5.16 TERRITORIOS AGRÍCOLAS 47
5.17 BOSQUES Y ÁREA SEMINATURALES 47
5.18 SUPERFICIES DE AGUA 48
5.19 ANÁLISIS DE CAMBIOS EN LAS COBERTURAS DEL SUELO 48
5.20 TERRSET: HERRAMIENTA PARA EL ANÁLISIS Y MODELACIÓN ESPACIAL 48

6. METODOLOGÍA 51

6.1 ENFOQUE METODOLÓGICO 51
6.2 TIPO DE ESTUDIO 53
6.3 PROCEDIMIENTO 54
6.3.1. Fase I – Preliminares 54
6.3.2 Fase II – Procesamiento de Imágenes Satelitales 55

6.3.1 Fase III – Influencia de las actividades antrópicas en las coberturas de naturales 62
6.3.2 Fase IV - Simulación de los cambios proyectados en la cobertura del suelo para el año 2030 63
6.3.3 Fase V - Estrategias para la conservación 67

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 69

7.1 ANÁLISIS DE LAS COBERTURAS TERRESTRES 70
7.2 INFLUENCIA DE LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN LAS COBERTURAS NATURALES DE LA RNSC PRAGA 78
7.3 ANÁLISIS DEL CAMBIO DE COBERTURAS SEGÚN LOS RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN 81
7.4 ESTRATEGIAS EFECTIVAS PARA LA CONSERVACIÓN Y USO SOSTENIBLE DE LAS COBERTURAS NATURALES EN LA RNSC PRAGA 83
7.4.1 Protección de los bosques persistentes 83
7.4.2 Recuperación de áreas degradadas: restauración ecológica 84
7.4.3 Regulación de la expansión de infraestructura: ordenamiento territorial 85
7.4.4 Fomento de la reconversión de suelos desnudos a bosques: oportunidad estratégica 86
7.4.5 Gestión sostenible de suelos desnudos persistentes: manejo sostenible 86
7.4.6 Monitoreo y modelación continua: SIG y modelación predictiva 87
7.5 DISCUSIÓN 87

8. CONCLUSIONES 90

9. RECOMENDACIONES 93

10. REFERENCIAS 98

Lista de figuras

Pág.

Figura 1. Enfoque de la investigación 52
Figura 2. Creación de muestras de entrenamiento 58
Figura 3. Creación de firmas ASCII 59
Figura 4. Predicción cobertura primer paso: clasificación supervisada 64
Figura 5. Predicción cobertura segundo paso: análisis de datos 65
Figura 6. Predicción cobertura tercer paso: simulación 65
Figura 7. Predicción cobertura cuarto paso: matriz de transición 66
Figura 8. Predicción cobertura quinto paso: validación de la información 66
Figura 9. Delimitación del área de estudio 69
Figura 10. Gráfica cambio de coberturas terrestres RNSC Praga 71
Figura 11. Gráfica cambio de coberturas terrestres zona de influencia 74
Figura 12. Coberturas terrestres año 2015 77
Figura 13. Coberturas terrestres año 2024 78
Figura 14. Resultados cambio de coberturas por simulación al año 2023 82

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Muestra de las características de una imagen adquirida 44
Tabla 2. Aspectos de Planet Scope 45
Tabla 3. Consolidado coberturas terrestres RNSC Praga 71
Tabla 4. Consolidado coberturas terrestres zona de influencia..... 73
Tabla 5. Resultados cambio de coberturas por simulación al año 2023 83

Introducción

A nivel mundial se presentan problemas de índole ambiental, situación que ha llevado a distintos países a implementar diferentes estrategias de conservación y restauración ecológica con el fin de mitigar el deterioro ambiental. En Colombia, como táctica para el bienestar ambiental, en los últimos años ha aparecido la figura de la Reserva Natural de la Sociedad Civil (RNSC), la cual consiste en predios privados en los cuales el dueño de manera voluntaria decide destinar su uso a actividades de sostenimiento, preservación o restauración en favor del medio ambiente.

En el presente estudio, se realiza un análisis multitemporal el cual tiene como objetivo evaluar el impacto de la RNSC Praga (ubicada en el municipio de Turbaco, Bolívar) en la conservación de los ecosistemas naturales. Se escogió un período de estudio de diez años (2015-2024) a fin de analizar el comportamiento de las coberturas terrestres antes y después del registro de la reserva en 2019 de modo que sea posible identificar patrones de conservación o deterioro de la superficie. Asimismo, con el fin de tener un marco de referencia, se estableció una zona de influencia a un kilómetro de la reserva, en la cual también se realiza el análisis de coberturas, de modo que, sea posible identificar si la RNSC Praga presenta mejores indicadores de conservación y restauración ecología que la zona de influencia.

Con base al análisis de coberturas tanto de la reserva como de la zona de influencia se analiza la influencia de las actividades antrópicas y el impacto de estas en la conservación de los ecosistemas. Adicionalmente, se sugieren estrategias de conservación y uso sostenible a implementar en el área de estudio con base a los cambios predichos en una simulación de uso de coberturas del suelo para el año 2030.

En esta investigación se pretende argumentar al lector que las estrategias de conservación y restauración ecológica pueden ofrecer resultados favorables. En este caso se espera demostrar que, después del registro de la RNSC Praga, esta ha presentado comportamientos positivos encaminados a la conservación y restauración ecológica, a diferencia de la zona de influencia, en donde se ha identificado fragmentación del ecosistema por causas como la agricultura, ganadería y el crecimiento poblacional (incremento de infraestructura).

1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación

1.1 Descripción del área problemática

El municipio de Turbaco, ubicado en el departamento de Bolívar, Colombia, presenta un panorama ambiental complejo caracterizado por la presencia de ecosistemas naturales de gran valor ecológico y la constante presión ejercida por actividades humanas que amenazan su integridad. Por otro lado, las Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC) se registran como áreas de conservación privada que buscan proteger la biodiversidad y los servicios ecosistémicos de estos espacios naturales; sin embargo, la efectividad de las RNSC en la conservación de ecosistemas naturales se ve desafiada por diversos factores, incluyendo principalmente:

- **Deforestación y fragmentación:** La expansión de la frontera agrícola, la ganadería extensiva y la extracción ilegal de madera han generado una alarmante pérdida de cobertura boscosa y fragmentación de hábitats naturales (García, 2012).
- **Contaminación ambiental:** El vertido de residuos sólidos y líquidos, el uso inadecuado de agroquímicos y la proliferación de actividades mineras generan contaminación del suelo, agua y aire, afectando negativamente la salud de los ecosistemas (MINAMBIENTE, 2021).
- **Cambio climático:** Los efectos adversos del cambio climático, como el aumento de la temperatura, la intensificación de eventos climáticos extremos y las alteraciones en los patrones de precipitación, exacerban las presiones sobre los ecosistemas naturales y la biodiversidad (IPCC, 2021).

De esta manera, es importante resaltar que las RNSC juegan un papel fundamental en la conservación de la biodiversidad, la regulación del clima, la protección de cuencas hidrográficas

y la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano (Verburg, et al., 2012). Sin embargo, existe una brecha significativa en el conocimiento sobre la dinámica y condición actual de las coberturas naturales en las RNSC de Turbaco, especialmente en el contexto del impacto de las actividades humanas y el cambio climático.

Este proyecto de investigación busca abordar la problemática descrita mediante un análisis multitemporal de las coberturas naturales en la RNSC del municipio de Turbaco, Bolívar, durante el periodo 2015-2024; por lo que el estudio se centrará en evaluar el impacto de la conservación privada en la preservación de ecosistemas naturales, utilizando herramientas de análisis espacial como los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El elemento del problema central de este estudio radica en la evaluación del impacto de la gestión ambiental privada, a través de la RNSC Praga, en la cobertura natural de Turbaco, donde se busca determinar cómo estas reservas han contribuido a la preservación de los ecosistemas naturales en un contexto de creciente presión antropogénica. Por ende, las relaciones entre la gestión ambiental privada y el uso del suelo serán examinadas para identificar patrones y tendencias significativas.

A nivel mundial, los ecosistemas naturales enfrentan amenazas crecientes debido a actividades como la deforestación, la conversión de tierras para uso agrícola y la urbanización. Según el Informe del IPCC (2021), estas presiones, exacerbadas por el cambio climático, están reduciendo la capacidad de los ecosistemas para proporcionar servicios esenciales. En Colombia, las Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC) son un ejemplo de cómo las estrategias de conservación privada pueden mitigar estos efectos, aunque su efectividad varía dependiendo del contexto local.

Dicho de otra forma, la gestión ambiental privada ha sido reconocida como una herramienta eficaz para proteger la biodiversidad y mantener la integridad de los ecosistemas (Rao et al., 2009), y para el país, las RNSC desempeñan un papel crucial en la conservación de áreas de alto valor ecológico, complementando los esfuerzos gubernamentales y comunitarios (Quintero y Arias, 2015).

No obstante, existen brechas en el conocimiento sobre la efectividad de estas reservas en contextos específicos, como el de Turbaco, donde la presión por el uso del suelo se intensifica con el paso del tiempo. Este estudio pretende llenar esos vacíos proporcionando datos empíricos y análisis multitemporales que ilustren los cambios en la cobertura vegetal y evalúen el impacto de la conservación privada en el municipio.

Por consiguiente, el área de estudio es la RNSC y su área de influencia (1 kilometro), en jurisdicción del municipio de Turbaco, Bolívar durante el periodo 2015-2024. Esta delimitación temporal permitirá un análisis comprensivo de los cambios en la cobertura vegetal a lo largo de una década, proporcionando una visión clara de las tendencias y los efectos de las estrategias de conservación implementadas.

Las relaciones entre las actividades humanas, como la agricultura y la urbanización, y las coberturas naturales de la RNSC Praga son dinámicas y complejas en la medida en que se considera que la expansión de los territorios agrícolas afecta directamente la cobertura boscosa, mientras que la urbanización fragmenta hábitats y dificulta la conectividad ecológica; siendo estas dinámicas las que resaltan la importancia de estrategias de manejo que integren conservación y sostenibilidad.

De manera complementaria, cabe resaltar que la descripción detallada del área problemática y su contexto influye directamente en los objetivos del estudio, por lo que se busca

no solo evaluar los cambios en la cobertura vegetal, sino también comprender las causas subyacentes y los impactos de las intervenciones humanas y las estrategias de conservación. Estos hallazgos contribuirán al desarrollo de un marco teórico robusto y a la formulación de recomendaciones prácticas para la planificación y gestión ambiental en el municipio de Turbaco.

1.2 Formulación del problema

La formulación del problema es un paso fundamental en la estructuración de la investigación ya que implica la delimitación clara y precisa del objeto de estudio; por lo tanto, para abordar el tema del análisis multitemporal de las coberturas naturales de las Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC) en el municipio de Turbaco, Bolívar, durante el periodo 2015-2024, y evaluar el impacto en la conservación de ecosistemas naturales, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué impacto ha tenido la conservación privada en la cobertura natural de las Reservas Naturales de la Sociedad Civil en el municipio de Turbaco, Bolívar, durante el periodo 2015-2024?

La elección del periodo 2015-2024 responde a la necesidad de analizar una década de cambios en la cobertura vegetal, marcada por eventos críticos como el registro formal de la RNSC Praga en 2019 y los impactos recientes del cambio climático en la región.

Por otro lado, la anterior pregunta se formula con el objetivo de proporcionar una respuesta que sea factible de resolver mediante métodos de investigación científica, utilizando herramientas de análisis espacial y plataformas de estudio de imágenes satelitales; de esta manera, la pregunta está diseñada para guiar el estudio hacia una comprensión integral del problema, contribuyendo a la solución o entendimiento del impacto de las estrategias de conservación privada en la región.

La coherencia de esta pregunta con el título y el objetivo general de la investigación se mantiene ya que ambos elementos se enfocan en evaluar los cambios en la cobertura natural y la efectividad de la conservación privada en un contexto temporal específico. De este modo, la formulación del problema permite estructurar la investigación de manera que las respuestas obtenidas sean relevantes y aplicables a la planificación y gestión ambiental en Turbaco, Bolívar.

1.3 Justificación

La importancia de este proyecto de investigación radica en su potencial para generar conocimientos cruciales sobre la efectividad de la conservación privada en las Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC) en Turbaco, Bolívar; por lo que este estudio es significativo para los investigadores, la institución y la sociedad, ya que aborda una necesidad crítica en la planificación y gestión ambiental. La creciente presión sobre los ecosistemas naturales por la expansión urbana y agrícola hace imprescindible comprender el impacto de las estrategias de conservación privada, en donde la motivación de los investigadores incluye el interés teórico por profundizar en los enfoques de conservación y el deseo práctico de desarrollar soluciones concretas para la gestión sostenible de los recursos naturales.

Adicionalmente, este estudio responde al compromiso ético de los investigadores con la sostenibilidad ambiental, destacando la necesidad de preservar los ecosistemas naturales en contextos locales afectados por actividades antrópicas. Para la comunidad académica, este proyecto ofrece una oportunidad única de explorar metodologías avanzadas en análisis multitemporal mediante SIG, ampliando el marco teórico y práctico en el campo de la conservación ambiental.

La utilidad del proyecto se manifiesta en múltiples niveles al estimar que los resultados proporcionarán información detallada sobre los cambios en la cobertura vegetal de las RNSC de Turbaco, lo cual es esencial para diseñar estrategias de conservación efectivas, y estos datos beneficiarán a las autoridades locales y nacionales en la implementación de políticas públicas orientadas a la conservación de los ecosistemas. Además, las RNSC (del municipio objeto de estudio e incluso del país) podrán utilizar los hallazgos para mejorar sus prácticas de manejo ambiental, contribuyendo al desarrollo sostenible de la región y del país. De esta manera, los resultados no solo serán útiles para diseñar estrategias locales en Turbaco, sino también para orientar iniciativas de conservación en áreas con condiciones ecológicas similares en Colombia; contribuyendo así directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente en lo relacionado con la acción por el clima y la vida de ecosistemas terrestres.

La innovación de este proyecto radica en el uso estratégico de los SIG para generar evidencia empírica clave, a través de un análisis multitemporal detallado de los cambios en la cobertura vegetal. Estas herramientas avanzadas no solo permiten obtener datos precisos y de alta resolución, sino que agregan un valor diferencial al estudio al optimizar la evaluación y monitoreo de los impactos en la conservación ambiental.

El uso de ArcGIS Pro y el módulo Land Change Modeler (LCM) en TerrSet es clave para el análisis multitemporal, ya que permite no solo evaluar cambios históricos, sino también proyectar dinámicas futuras con precisión. Estas herramientas optimizan el procesamiento de datos espaciales y mejoran la toma de decisiones en gestión ambiental.

Finalmente, este proyecto aborda vacíos y desafíos no resueltos, ofreciendo soluciones basadas en evidencia aplicables a contextos similares, al generar nuevos conocimientos y

metodologías para la conservación ambiental, contribuye al desarrollo del sector y a la mitigación del impacto humano en los ecosistemas. Además, responde a la falta de datos actualizados sobre las coberturas naturales en reservas privadas, facilitando la formulación de políticas informadas. Mediante un análisis detallado de los cambios espaciales y temporales en la RNSC Praga, esta investigación cierra brechas de información y aporta estrategias efectivas para la conservación a nivel local, regional y nacional.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar el impacto de la Reserva Natural de la Sociedad Civil (RNSC) Praga en la conservación de los ecosistemas naturales en el municipio de Turbaco, Bolívar, durante el período 2015-2024, mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar los cambios en las coberturas naturales de la RNSC Praga a través de la clasificación de imágenes satelitales correspondientes al periodo 2015-2024.
- Analizar la influencia de las actividades antrópicas en las coberturas naturales de la RNSC Praga para determinar su impacto en la conservación de los ecosistemas.
- Sugerir estrategias efectivas para la conservación y el uso sostenible en la RNSC Praga integrando los resultados previos a una simulación de los cambios proyectados en la cobertura del suelo hacia el año 2030 mediante un software especializado.

3. Antecedentes

A nivel mundial los análisis multitemporales empleando los SIG, han tomado gran relevancia en diferentes disciplinas dado que, permiten estudiar diversos cambios en el tiempo de fenómenos geográficos. Estos análisis se concentran principalmente en la comparación de diversas imágenes satelitales del área de estudio en diferentes períodos con el propósito de identificar las mutaciones geográficas, lo que permite: detectar patrones, identificando tendencias y ciclos de los fenómenos estudiados; cuantificar cambios, midiendo la magnitud de los mismos; y modelar escenarios futuros, simulando como podrían evolucionar los sistemas geográficos bajo diferentes condiciones.

Dada la utilidad que han demostrado los análisis multitemporales en la detección y cuantificación de modificaciones en la cobertura terrestre, estos procesos se emplean con mayor regularidad en estudios ambientales y socioeconómicos. Para García et al. (2012) “Los estudios sobre el cambio de uso del suelo y cobertura vegetal proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad” (p. 63). Por tal razón, el análisis de cobertura vegetal resulta idóneo para determinar el impacto de la conservación en ecosistemas naturales.

Como se mencionó anteriormente, los análisis multitemporales se ejecutan a nivel mundial en diversas áreas con diferentes finalidades. Martínez (2002) en su estudio del análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la Reserva Biológica de Yuscarán, El Paraíso, Honduras; en el cual evaluó los cambios en el uso de la tierra en la Reserva Biológica de Yuscarán en un período de 20 años (1975 – 1995), empleando el análisis de fotografías aéreas las cuales fueron georreferenciadas con el programa de ERDAS y digitalizadas con ArcView. La finalidad del estudio fue aportar conocimientos sobre la problemática del cambio del uso de la

tierra por causas como la deforestación, el impacto de la pérdida de hábitat y el incremento de la vulnerabilidad ambiental en la reserva. Con el análisis multitemporal se demostró que la reserva presentó un alto grado de deterioro puesto que, según el análisis en el año 1995 la reserva solo tenía un 40% de cobertura de bosques a diferencia del 53,1% que presentaba en el año 1975.

Las cuencas o microcuencas hidrográficas son un escenario óptimo para los análisis multitemporales puesto que se conforman por elementos bióticos y abióticos que conforman un ecosistema. Sin embargo, en varias ocasiones, estos sistemas se ven afectados por la intervención del hombre y sus actividades como la ganadería y/o agricultura. Es por esta razón, que surge la necesidad de realizar análisis multitemporales de las coberturas vegetales en estas áreas, de tal modo que se pueda cuantificar la afectación de estas zonas.

Sandoval y González (2021) en el Análisis multitemporal del cambio en la cobertura del suelo en la Mixteca Alta Oaxaqueña, el cual tenía como objetico evaluar los cambios del suelo y vegetación en una microcuenca de Mixteca Alta Oaxaqueña en el período de 21 años (1995 – 2016), para ello emplearon imágenes de alta resolución lo cual permitió identificar la perdida y ganancia de cobertura vegetal en la zona, y de esta manera determinar las áreas prioritarias para conservación y restauración. Finalmente, el análisis demostró que, en el período de estudio, la microcuenca tuvo un incremento positivo del 6,6% de cobertura vegetal; las áreas dedicadas a la agricultura disminuyeron en un 8,4%; y las zonas sin vegetación se redujeron en un 4,1%.

En México, Sandoval et al. (2021) llevaron a cabo un análisis multitemporal del uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey, un área caracterizada por su diversidad ecosistémica y su importancia para la captura de carbono y el abastecimiento de agua del Área Metropolitana de Monterrey, por lo que, utilizando imágenes satelitales de alta resolución, los investigadores determinaron la dinámica de cambio del uso del suelo y de la

vegetación. Los resultados mostraron cambios constantes en los ecosistemas debido a factores tanto naturales como antropogénicos. De igual forma, se observó una recuperación de la cobertura forestal en los bosques de pino, encino-pino y encino, con tasas anuales de cambio positivas (0,406, 0,272 y 0,245 respectivamente), equivalente a un aumento de 3.590,50 ha. Sin embargo, ecosistemas como el pastizal, matorral desértico rosetófilo y matorral desértico microfila experimentaron pérdidas, con tasas anuales de cambio negativas (-0,954, -0,735 y -0,562), representando una disminución de 1.919,97 ha. Por lo que no está de más relacionar que, este estudio resalta la necesidad de estrategias de conservación para mantener la integridad y multifuncionalidad del parque y de las áreas protegidas y no protegidas aledañas a dicha zona.

En el ámbito urbano, López y Plata (2009) analizaron los cambios de cobertura del suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) durante la década de 1990. Los investigadores emplearon una metodología que combina técnicas de clasificación digital y visual de imágenes satelitales, SIG y análisis estadísticos. El estudio se centró en observar los cambios espaciotemporales e identificar las coberturas de suelo más afectadas por la expansión urbana. Utilizando una matriz de tabulación cruzada a diferentes niveles, los autores lograron distinguir los cambios producto de transiciones sistemáticas, permitiendo una valoración más completa de las transformaciones significativas en el territorio, lo cual torna relevante este enfoque ya que el mismo proporcionó una comprensión detallada de la dinámica de cambio en el uso del suelo en una de las áreas metropolitanas más grandes del mundo, ofreciendo información valiosa para la planificación urbana y la gestión ambiental.

La zona de “Lo Números” en el municipio de Guisa, Cuba está compuesta en más de 80% de actividad forestal, siendo uno de los consejos rurales más extensos del territorio. Dado que, aunque los análisis de cambio de vegetación se realizan con frecuencia, en cuba son pocos

los estudios que se han realizado enfocados en este ámbito. Por esta razón, la investigación realizada por Figueredo et al. (2020) tuvo como finalidad evaluar la dinámica espacio-temporal del cambio de cobertura en la zona “Los Números” en los años 1986 y 2016. Esta investigación se llevó a cabo empleando imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8 realizando la clasificación supervisada donde se categorizó la cobertura en 4 grupos: bosques; arbustivo; herbazales, pastos o cultivos y suelo desnudo. El análisis consistió en determinar la pérdida o ganancia en extensión de cada una de las categorías desde al año inicial al año final del estudio, obteniendo los siguientes resultados: la extensión de los bosques aumento significativamente aumentando de 44,04 a 77,98 Km^2; Arbustivo cedió en área disminuyendo de 26,7 a 5,8 Km^2; Herbazal, pastos o cultivos, disminuyeron notablemente de 6,51 a 0,12 Km^2; finalmente, los suelos desnudos redujeron su extensión de 6,65 a 0,0015 Km^2.

Los análisis de cobertura vegetal no están únicamente enfocados en las áreas protegidas, reservas naturales, entre otros; por tal razón es pertinente realizar estos análisis en zonas de crecimiento y densificación de las ciudades, puesto que, a causa de estas actividades la cobertura vegetal se ve afectada. Así lo analiza Celemin y Arias (2023) en su investigación Evolución de la cobertura vegetal y área construida en la ciudad de Mar del Plata (Argentina), en el periodo 2018-2022 en donde utilizando imágenes satelitales de Sentinel 2 procesadas con la plataforma online Google Earth Engine se analiza la evolución de la cobertura vegetal (NDVI) y el área construida (NDBI). Como resultado se obtuvo que en el período de estudio se presenta una tendencia decreciente del NDVI con una media global de 0,194, mientras que, el NDBI registra una tendencia opuesta con un promedio de 0,105. Estos resultados demuestran como la urbanización afecta la cobertura vegetal de una determinada zona, asimismo, estos procesos se

convierten en una herramienta relevante en los planes de ordenamiento territorial y gestión urbana, al permitir, visualizar y cuantificar los cambios en la cobertura.

En el contexto colombiano, Jiménez y Sánchez (2017) proporcionaron un análisis multitemporal de la cobertura de la tierra en el páramo Rabanal-Río Bogotá, un ecosistema crucial para el suministro de agua en la región. El estudio abarcó un período de 12 años (2000-2012) y utilizó software SIG para procesar la información cartográfica en tres fases. Los investigadores identificaron las coberturas de tierra predominantes en tres períodos: 2000-2002, 2005-2009 y 2010-2012, y analizaron los cambios en dos intervalos: 2000-2005 y 2005-2010. Contrariamente a las tendencias observadas en otros páramos, el estudio reveló un aumento en la cobertura de Herbazal Denso de Tierra Firme, característica del ecosistema de páramo. Además, los autores evaluaron la condición del páramo frente a escenarios de cambio climático para el período 2011-2040, proyectando un incremento del 20% en los valores de precipitación en la zona del nacimiento del río Bogotá y un aumento generalizado de la temperatura en toda el área de estudio.

Es de conocimiento general que la sobreexplotación y el uso irracional de los recursos naturales afectan significativamente los ecosistemas, entre las consecuencias de estas actividades destacan los grandes cambios que presentan las coberturas vegetales del área determinada. Por esta razón, autoridades ambientales buscan alternativas para mitigar o contrarrestar estos efectos mediante la delimitación de espacios geográficos para iniciar un proceso de conservación del ecosistema, en consecuencia, en el Norte de Santander, entre la jurisdicción de las veredas Alto Grande y El Totumo en el municipio de Pamplona, se realizó la adquisición de tierras para la reserva El Volcán. La investigación realizada por Peñaloza et al. (2020) tuvo como objetivo determinar los cambios de la cobertura vegetal en la reserva el Volcán entre los años 1992 y

2017, en donde se seleccionaron y procesaron imágenes satelitales de 1992, 1997, 2014 y 2017 aplicando la metodología CLC a escala 1:100000 adaptada a Colombia empleando el software ArcGIS. Como resultado se obtuvo que entre 1992 a 2017 la reserva el Volcán demostró un cambio positivo dado que, para el 2017 las coberturas de bosque y áreas seminaturales presentaron una extensión de 476,1 ha, aumentando 14,1 ha respecto a 1992.

En Colombia, en municipios como Manizales la ganadería y la minería son de las actividades antrópicas que generan impactos ambientales significativos. Por esta razón Flórez et al. (2017), utilizando imágenes satelitales de los años 1998 a 2015, correctamente georreferenciadas, digitalizadas y procesadas en el software ArcGIS con una escala 1:25000 analizó las variaciones de cobertura vegetal en este período. Las coberturas vegetales se categorizaron en cuatro grupos y de cada uno se obtuvieron los siguientes resultados: los bosques disminuyeron notablemente su cobertura vegetal pasando de 613,99 a 427,10 ha; los bosques y áreas seminaturales, tuvieron una reducción drástica puesto que, pasaron de 25,2 a 0 ha; los mosaicos de pastos con espacios naturales fueron la categoría presentó mayor aumento de 50,24 a 353,39 ha; los pastos limpios se redujeron de 880,3 a 802,8 ha; las tierras desnudas o revegetalizadas y las zonas industriales o comerciales presentaron una reducción similar, pasando de 49,5 a 42,4 ha y 49,0 a 42,51 ha respectivamente.

Por otro lado, en el estudio sobre "Análisis multitemporal de la expansión de la frontera agrícola en el Parque Natural Municipal La Correntosa y su área de influencia", realizado por Cuéllar (2024), se llevó a cabo un análisis multitemporal en el mismo parque, abarcando los años 2000, 2017 y 2023, utilizando la metodología CLC adaptada para Colombia, en donde se evidenció una disminución de 56 hectáreas de bosque denso que fueron transformadas en mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales durante el periodo evaluado.

Dicho estudio destaca que la expansión de la frontera agrícola hacia el interior del Parque y su área de influencia compromete no solo la conservación de la biodiversidad, sino también los servicios ecosistémicos críticos, como el suministro de agua potable al municipio de Acevedo, Huila. Sin embargo, Cuéllar (2024) también identificó una recuperación parcial del bosque denso entre 2017 y 2023, atribuida a la adquisición de predios por entidades gubernamentales, aunque señaló la necesidad de continuar implementando medidas de conservación para mitigar los riesgos asociados al uso de agroquímicos y la deforestación. De esta manera, se puede argumentar que antecedentes como estos resaltan la pertinencia de emplear análisis multitemporales para comprender los efectos del cambio de uso del suelo y la importancia de estrategias de conservación integrales en áreas protegidas.

Desde un contexto local, el departamento de Bolívar en Colombia, según el IDEAM (2016) es uno de los departamentos que más presentan incendios forestales. En el noroccidente del departamento se encuentra el municipio de San Jacinto, el cual motiva la investigación desarrollada por García y Buitrago (2022), en ella se emplean dos imágenes satelitales de Sentinel 2 en el año 2015 y 2022, con estas imágenes, mediante clasificación supervisada y un análisis de fragmentación se realizó el respectivo estudio de cambio en la cobertura vegetal. Para ello, se clasificó la cobertura en 5 categorías y se obtuvieron los siguientes resultados: los territorios artificializados disminuyeron en extensión superficial, pasando de 240 ha a 235,5 ha; los territorios agrícolas aumentaron de 19725,53 ha a 24083,41 ha; los bosques y áreas seminaturales disminuyeron de 24031,74 ha a 19244,314 ha; las áreas húmedas desaparecieron, de 12,77 ha a 0 ha; finalmente, las superficies de agua aumentaron significativamente de 254,22 ha a 701,866 ha.

Es apropiado considerar posible la recuperación de bosque si se aplican en el las estrategias de conservación apropiada, así lo indican Romero-Mieres et al. 2014 en su investigación titulada “Recuperación natural del bosque Siempre Verde afectado por tala rasa y quema en la Reserva Costera Valdiviana, Chile”, la cual tuvo como objetivo comprender la recuperación natural del bosque Siempreverde, poseedor de un alto número de endemismos y riqueza especifica afectado por tala rasa, quema y abandono hace más de una década ubicado en la reserva costera Valdiviana.

Para ello, se determinó la zona de estudió en 3.5 hectáreas y se registró la composición florística y determinando a estructura cuantitativa y diamétrica, finalmente, se identificó el patrón de establecimiento temporal de las principales especies arboleas presentes. Como resultado se obtuvo que el Bosque Siempreverde se encuentra recuperándose con especies nativas propias de la comunidad original. Asimismo, se indica que, de excluirse el ganado vacuno, el bosque aumentaría y con ello disminuiría el crecimiento y desarrollo de especies inducidas.

Quesada (2002) en su investigación titulada “Recuperación de áreas degradadas por medio de un proceso natural: el bosque secundario” menciona, generalmente, debido a actividades antrópicas se desaparecen los bosques naturales para dejar en su lugar tierras que van a ser destinadas a la agricultura o ganadería. En algunas ocasiones, después de la tierra cumplir su rol antropogénico, se dejan abandonadas, es ahí donde surge el establecimiento de un bosque secundario, el cual, en algunas ocasiones es utilizado por los habitantes del sector como fuente de maderas de crecimiento rápido, razón por la cual el bosque no puede regenerarse. Por tal razón, es posible indicar que debe buscarse un equilibrio entre la recuperación de bosques y el

uso de los bosques por parte de los habitantes, para así lograr la restauración ecológica sin afectar las fuentes de ingresos de los habitantes.

En Colombia Fernández et al. (2016) en la investigación titulada “Recuperación ecológica de áreas afectadas por un incendio forestal en la microcuenca Tintales (Boyacá, Colombia)”, hacen referencia al proceso de restauración que se llevó a cabo en la Microcuenca Tintales, la cual fue afectada por un incendio forestal. En este proceso de recuperación, se evaluó la regeneración natural en 29 parcelas permanentes estudiando el afloramiento rocoso a fin de comparar la riqueza, diversidad y dominancia. El procedimiento consistió principalmente en establecer vegetación dentro del área de recuperación. Producto de ello, se obtuvo que la vegetación establecida está dominada por especies colonizadoras y pioneras que se han adaptado al suelo; la regeneración natural registrada en afloramiento rocoso, presentó diferencias significativas en el número de especies; finalmente, la vegetación caracterizada después del incendio sirve como fundamento a la línea base de futuros proyectos de recuperación.

En complemento a lo anterior Vergara-Buitrago (2020) en su investigación titulada “Estrategias implementadas por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia para conservar los páramos” la cual tuvo como objetivo analizar el estado actual de articulación de las estrategias de conservación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia con los páramos delimitados y de la cual se concluyó la importancia de que las autoridades ambientales en Colombia implementen estrategias de conservación con la finalidad de asegurar la continuación de los procesos ecológicos y evolutivos naturales que soporten la diversidad biológica de los ecosistemas, asimismo, se reconoce la importancia de reconocer y estudiar los impactos que tienen las iniciativas de conservación en las comunidades que habitan estas zonas,

del mismo modo, los proyectos de conservación deben responder a procesos de poder, política y reivindicación de los derechos humanos.

Molina (2019) en su investigación titulada “La reforestación como estrategia ambiental para la conservación de ríos y quebradas” la cual tuvo como objetivo relacionarse con los habitantes de la zona comunidad Socó de la parroquia Baranncas en el municipio Cruz Paredes) e identificar su concepción respecto a la reforestación y cuidado del medio ambiente para así dar respuestas a las necesidades colectivas con el fin de mitigar y de ser posible revertir los daños ocasionados al medio ambiente a causa de las malas decisiones de pobladores anteriores de la zona. Como resultado de esta investigación, se obtuvo que en la zona de estudio el 40% de la muestra reconoce que en ocasiones se hacen proyectos ambientales de integración social, mientras que el 60% indica que casi nunca se planifica en comunidad proyectos ambientales que impulsen la integración de la familia, sociedad y ambiente. El trabajo de Molina, deja ver la importancia de la comunidad en las actividades de reforestación, demostrando que es indispensable sensibilizar sobre la importancia de la reforestación, así como el cuido y el resguardo del medio ambiente.

Rengifo et al. (2012) permiten entender como la educación ambiental es indispensable como estrategia de conservación del medio ambiente, en el trabajo titúlalo “La educación ambiental como una estrategia pedagógica que contribuye a la solución de la problemática ambiental en Colombia” indica como uno de los objetivos de la educación ambiental es comprender la complejidad del ambiente natural y el creado por los seres humanos de modo que, desde la educación ambiental se consiga desarrollar un sentido de responsabilidad y solidaridad para garantizar la conservación, preservación y mejoramiento del ambiente. Rengifo et al. (2012)

resaltan la importancia de incluir políticas gubernamentales que permitan a la población interrelacionarse con las políticas ambientales del gobierno, asimismo, se destaca la importancia de los docentes ambientales como instrumento de concientización con los diferentes grupos de interés.

Con el fin de tener una posible vista del comportamiento de las coberturas terrestres, se han empezado a aplicar en diversos proyectos técnicas de predicción, como es el caso de Buendía et al. (2003) en la investigación titulada " Aplicación de Redes Neuronales Artificiales y técnicas SIG para la predicción de coberturas vegetales" en la cual, se evaluó la habilidad de las redes naturales artificiales (RNA) en la predicción de coberturas vegetales, tomando como insumos información geográfica e imágenes satelitales haciendo uso del análisis de componentes principales para definir la variable dependiente (vegetación). Como resultado se obtuvo que las RNA son eficientes para la clasificación de patrones que presentan gran variabilidad, probando que alcanzan mayor precisión que otras formas de clasificación y/o modelos de predicción, lo cual permite llevar a cabo en forma oportuna y adecuada la planeación y ejecución de programas de manejo forestal.

Ibáñez (2019) en su tesis de grado titulada "Predicción de los cambios de cobertura y uso de la tierra al año 2026 en la cuenca del Río Tocache, San Martin" el cual tuvo como objetivo predecir los cambios en la coberturas y uso de la tierra al año 2026, para lo cual empleó mapas de los años 2006, 2011 y 2016 producto de la clasificación de imágenes de Sentinel 2A y Landsat 8. Como resultado se obtuvieron predicciones respecto a la cobertura terrestre, en las cuales, se indica la pérdida de 4.000 y 527 hectáreas de bosque y vegetación secundaria respectivamente, por otro lado, se predice un aumento en las áreas antropogénicas.

En otra investigación, Tarazona (2015) en la tesis de grado titulada “Predicción de tierras degradadas a partir del análisis de series temporales del índice mejorado de vegetación y temperatura de superficie de suelo mediante imágenes MODIS - caso estudio Piura” la cual tuvo como objetivo analizar y validad la tendencia de la variable biofísica en complemento con la temperatura de superficie de suelo de imágenes MODIS para la predicción de tierras en degradación 2001-2014. Como resultado se obtuvo que, mediante la metodología utilizada por medio del análisis matemático y de los datos estadísticos, fue posible predecir no solo las tierras en degradación, también fue posible identificar el período de cambio de cobertura debido a la expansión agrícola en el área.

Respecto a predicciones, hay diferentes softwares y modelos, Vallejo y Medina (2019) en la investigación titulada “Generación de un modelo de predicción espacial de la deforestación en la jurisdicción de Corpochivor para el período 2017-2047 basados en mapas de cobertura y análisis de variables espaciales con Dinamica EGO” la cual tuvo como objetivo plantear un modelo de predicción espacial de cambio de bosque basado en el análisis de agentes y driver en zonas de Piemonte haciendo uso del software Dinamica EGO. Del cual se obtuvo: el monitoreo histórico de las imágenes satelitales permite identificar las áreas con mayor intervención antrópica, el cual es un insumo para la generación de un modelo predictivo espacial de la deforestación, sin embargo, se incluyen más variables como, distancia a vías, centros poblados, polígonos de explotación minera.

Por otro lado la investigación desarrollada por Palacios y Arellano (2021) titulada “Modelo predictivo del cambio de cobertura forestal en el área de conservación municipal Quílamo –Cantón Morona” tiene como objetivo generar un modelo predictivo del cambio de

cobertura forestal en el área de conservación municipal (ACM) Quílamo como un aporte a la toma de decisiones y a la generación de políticas enfocadas a la reducción del impacto de la deforestación en áreas protegidas. La ACM se escogió, dado que, a pesar de haber sido declarada como área protegida aún presenta altas tasas de deforestación. Empleando imágenes satelitales de Landsat 5 de los años 2011, 2016 y 2020 se realizó la clasificación supervisada para identificar las coberturas del suelo, posteriormente se aplica el modelo de simulación. Como resultado el modelo predictivo para la ACM indica que para el año 2025 se proyecta una deforestación anual de 31.76 ha/año, además de una elevada fragmentación del paisaje.

Por la misma línea de estudio Zumaeta (2021) en la investigación titulada “análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal” cuyo objetivo fue el de realizar un análisis multitemporal predicativo del cambio de cobertura terrestre empleando técnicas de teledetección y análisis geoespacial aplicadas a Imágenes satelitales Landsat en la microcuenca Yuyac, amazonas. En esta investigación se evaluó el cambio del uso del suelo y la perdida de cobertura vegetal en el período de 1998 a 2018, para posteriormente realizar una simulación del escenario futuro de las coberturas para el año 2030. Como resultado de este análisis se obtuvo que la microcuenca ha perdido 592 hectáreas en un período de 20 años y, la simulación estima que para el año 2030 se perderán 129 hectáreas. Se resalta la influencia de actividades antrópicas en el cambio del uso del suelo y perdida de cobertura vegetal, siendo las principales, la agricultura y la ganadería.

En la investigación realizada por Ortiz (2020) titulada “Análisis de los cambios de cobertura del suelo en el departamento del Guaviare en los años 2002 - 2018 y estimación para el año 2030” se habla sobre la problemática que presenta el departamento del Guaviare en

Colombia (conocido por su riqueza natural) respecto a la deforestación, seguías y otros problemas causados por las actividades antrópicas de la zona. Por tal razón se realiza un estudio el cual tiene como objetivo identificar los cambios en las coberturas terrestres en un período de 16 años (2002-2018), para posteriormente, empleando el software Idrisi Selva se obtuvieron las coberturas terrestres predictivas para el año 2030. Como resultados se obtuvo la cantidad de área que ha cambiado en el período de estudio en Km^2 Presentando un comportamiento de incremento en las coberturas de pastizal y diminución en las coberturas de bosque. Considerando los resultados anteriores, el programa Idrisi Selva determinó que para el año 2030 se perderán aproximadamente 2505 Km^2 de bosque.

El uso de herramientas predictivas no solo es útil para el análisis de cambios de coberturas, también se puede aplicar en otros ámbitos como es el caso de las áreas vulnerables a inundaciones, así lo plantean Londoño et al. (2024) en la investigación titulada “Identificación de Áreas Vulnerables a Inundaciones en Supatá Cundinamarca, mediante Técnicas de SIG”, el cual tenía como propósito modelar un mapa de riegos de inundación empleando las herramientas de los SIG por medio del software especializado ArcGIS PRO, integrando variables como pendiente, cobertura del suelo, precipitaciones, entre otras. Para ello se recopilaron datos geoespaciales y se reclasificaron y ponderaron las variables para modelar el riesgo y uso de los suelos, para así obtener un mapa temático que presente las zonas más vulnerables a inundaciones. Como resultado se obtuvo que el 28% del territorio municipal presenta un riesgo muy alto de inundación, mientras que el 31.5% está clasificado como riesgo alto.

4. Referente normativo y legal

La normatividad ambiental define responsabilidades específicas para las autoridades gubernamentales, comunidades locales, el sector privado y la sociedad civil, promoviendo la cooperación y la acción conjunta en favor del medio ambiente. Su propósito no solo es proteger las reservas naturales como patrimonio ecológico, sino también garantizar un futuro sostenible para las generaciones presentes y futuras.

A continuación, se presentan el marco legal nacional referente a las Reservas Naturales de la Sociedad Civil, identificando sus principales componentes e instrumentos para el caso de estudio.

- **CONPES 3680/10.** Establecer las pautas y orientaciones para avanzar en la consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia como un sistema completo, ecológicamente representativo y eficazmente gestionado, de forma que contribuya al ordenamiento territorial, al cumplimiento de los objetivos nacionales de conservación y al desarrollo sostenible en el que está comprometido el país.
- **CONPES 4050/21.** Reducir al 2030 el riesgo de pérdida de naturaleza en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, de tal manera que se garantice la protección de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que soportan el desarrollo social, económico y cultural de la nación.
- **Ley 99 de 1993**. Crea el Ministerio del Medio Ambiente y establece los principios y conceptos generales para la conservación del medio ambiente y los recursos naturales en Colombia. Esta ley es fundamental para cualquier actividad relacionada con la gestión ambiental. Esta ley establece la creación del Sistema Nacional Ambiental (SINA) y regula la gestión

ambiental en Colombia. Define las políticas para la protección del medio ambiente y el uso sostenible de los recursos naturales. Las RNSC están reguladas bajo esta ley como parte de la estrategia de conservación en el país. Artículo 109: Este artículo específicamente establece que las RNSC son áreas privadas dedicadas a la conservación de la biodiversidad. Esto les otorga un estatus legal especial, que incluye beneficios tributarios y acceso a fondos de compensación ambiental, lo que es importante para el mantenimiento y monitoreo de estas áreas a lo largo del tiempo.

- **Ley 388 de 1997.** Conocida como la Ley de Ordenamiento Territorial, esta normativa establece directrices para el desarrollo urbano y rural, incluyendo la preservación de áreas de importancia ecológica. Es relevante para el análisis multitemporal ya que establece las bases para la planificación y el uso del suelo, lo cual es esencial para entender las transformaciones del territorio en las RNSC.
- **Ley 165 de 1994.** Aprueba el Convenio sobre la Diversidad Biológica, que compromete a Colombia a conservar la diversidad biológica y usar sus componentes de manera sostenible.
- **Ley 1450 de 2011.** Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, que incluye estrategias para la gestión de cuencas hidrográficas y la protección de los recursos hídricos.
- **Ley 1333 de 2009.** Esta ley regula las infracciones ambientales y las sanciones correspondientes. Es relevante en el contexto del análisis multitemporal, ya que facilita la identificación de cambios en el uso del suelo que podrían constituir infracciones a las normativas ambientales.
- **Ley 1448 de 2011.** (Ley de Víctimas y Restitución de Tierras) Aunque enfocada principalmente en la reparación a víctimas del conflicto armado, esta ley también toca temas de

ordenamiento territorial y restitución de tierras, que pueden ser importantes en casos donde las RNSC estén ubicadas en áreas afectadas por el conflicto.

- **Ley 1972 de 2019.** Regula la implementación de la política de protección de ecosistemas estratégicos en Colombia, de la que las RNSC pueden formar parte. Esta ley impulsa el monitoreo y la gestión activa de estas áreas, que es fundamental en el análisis multitemporal.
- **Decreto 2372 de 2010.** Este decreto regula la creación, manejo y administración de las Áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), del cual hacen parte las RNSC. Define los criterios para la conservación y el uso sostenible, así como las responsabilidades de los propietarios de estas áreas.
- **Decreto 1076 de 2015.** Por el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, consolidando y actualizando la normativa ambiental existente en Colombia. En el capítulo 2 define como las RNSC son áreas protegidas de propiedad privada reconocidas por su importancia en la conservación y su principal objetivo es contribuir a la preservación de la biodiversidad a partir de un manejo sostenible en el territorio, refuerza el papel de los propietarios privados como aliados clave en la conservación de la biodiversidad, otorgándoles incentivos y responsabilidades para la sostenibilidad de los ecosistemas protegidos.
- **Decreto 1007 de 2018.** En lo relacionado con la reglamentación de los componentes generales del incentivo de pago por servicios ambientales y la adquisición y mantenimiento de predios en áreas y ecosistemas estratégicos que tratan el Decreto Ley 870 de 2017 y los artículos 108 y 111 de Ley 99 de 1993, modificados por los artículos 174 de la Ley 1753 de 2015 y 210 de la Ley 1450 de 2011, respectivamente.
- **Resolución 116 de 2019.** Se registran los predios Barcelona y Praga ubicados en la vereda Turbaco como RNSC, municipio de Turbaco en el departamento de Bolívar siendo

propiedad de las sociedades HILSACA ACOSTA & CIAS, HILSACA CARRASQUILLA & CIAS y HILSACA ESCUDERO & CIAS, con el objetivo de propender la continuidad de los procesos ecológicos mediante la conectividad de la muestra de Ecosistema Subxerofitia basal y Bosque de Galería Basal Seco o Bosque seco Tropical.

- **Resolución 1526 de 2012.** Emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, esta resolución regula el acceso a los recursos genéticos y productos derivados de la biodiversidad en áreas protegidas, incluidas las RNSC. Es relevante en estudios multitemporales que analicen cambios en la biodiversidad dentro de estas áreas.

- **Resolución 1517 de 2012.** Emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, esta resolución establece los lineamientos para el manejo sostenible de los bosques naturales en Colombia. Aunque no se refiere específicamente a las RNSC, es relevante si el análisis multitemporal incluye la evaluación de cambios en la cobertura forestal dentro de estas áreas.

- **Resolución 200 de 2014.** Define las directrices para la delimitación, zonificación y manejo de las reservas naturales de la sociedad civil.

- **Plan de Ordenamiento Territorial (2022-2034).** Determina la RNSC Praga su calidad ambiental considerando un área total de 166,42 ha, a su vez plantea como objetivo de conservación preservar las condiciones naturales del ecosistema, la preservación y protección de las poblaciones y los hábitats necesarios para las especies de flora y fauna, mantener los procesos de restauración ecológica y la regulación en la oferta de bienes y servicios ambientales.

- **Conferencia de las Naciones Unidas sobre Biodiversidad 2024 – COP 16 COLOMBIA.** En la COP 16 realizada en Colombia, se alcanzaron varios acuerdos importantes para la conservación y manejo de las reservas naturales, especialmente las

gestionadas por comunidades locales y pueblos indígenas. Uno de los logros más significativos fue la creación de un órgano subsidiario de trabajo para pueblos indígenas y comunidades locales dentro del Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB), lo que les otorga un papel clave en las decisiones relacionadas con la biodiversidad. Asimismo, se presentó el Plan de Acción de Colombia hacia 2030, que incluye la meta de aumentar las áreas protegidas del país del 24% al 34%.

5. Referente teórico

A nivel global, las reservas naturales enfrentan una creciente presión por el avance urbano, la expansión agrícola y el cambio climático, lo que evidencia la limitación de las estrategias tradicionales de conservación; la fragmentación de hábitats, la falta de financiamiento y la gestión ineficiente agravan esta situación, dificultando la protección efectiva de los ecosistemas (Sánchez, et al., 2019). Ante este panorama, es fundamental adoptar enfoques integrales y colaborativos que involucren a comunidades locales, instituciones y organismos ambientales, garantizando la preservación a largo plazo de los recursos naturales.

Según la UICN, aproximadamente un tercio de todas las tierras globales están degradadas. Las áreas protegidas, si son gestionadas de manera eficaz, pueden ofrecer beneficios para la biodiversidad y las comunidades locales. Sin embargo, la falta de gobernanza efectiva y la presión de actividades humanas como la deforestación y la minería comprometen su eficacia (UICN, 2023). La ONU identifica que el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la contaminación son las principales crisis que afectan los esfuerzos de conservación. Sin acciones urgentes, la extracción de recursos podría incrementarse en un 60% para 2060, exacerbando los impactos negativos en las áreas protegidas (UNEP, 2024).

Se están llevando a cabo iniciativas globales para restaurar ecosistemas, como las promovidas por el Decenio de las Naciones Unidas para la Restauración de Ecosistemas. Estas acciones buscan revertir la degradación ambiental y crear modelos sostenibles para la coexistencia entre humanos y naturaleza (PNUMA, 2024). La UICN también ha implementado la Lista Verde de Áreas Protegidas, que evalúa y reconoce a las áreas que cumplen con criterios de conservación efectivos. Sin embargo, solo 77 sitios a nivel mundial han alcanzado este

estándar, lo que resalta la necesidad de mayor apoyo y recursos para la gestión de estas áreas (UICN, 2023).

En América Latina, las reservas naturales protegidas enfrentan limitaciones económicas significativas, ubicándose particularmente en regiones periurbanas. La insuficiencia de fondos limita la implementación de programas integrales de manejo y conservación. En México, las reservas periurbanas muestran carencias en la delimitación espacial y en los planes de manejo. Además, la introducción de especies exóticas y conflictos sociales relacionados con la propiedad de tierras no contribuye con las acciones de conservación. La falta de coordinación entre los distintos niveles gubernamentales también ha sido un obstáculo recurrente (Tlapa, 2020).

Muchas estrategias adoptan enfoques tradicionales como son las medidas de comando y control, que no siempre consideran las necesidades de las comunidades locales o las dinámicas específicas de los ecosistemas. En los páramos colombianos, existe poca información sobre estrategias de manejo alternativo que promuevan restauración o sostenibilidad. La deforestación amenaza al 76% de los parques nacionales. Problemas como el cambio en el uso del suelo, el conflicto armado y la pobreza contribuyen a la presión sobre estos ecosistemas. Por ejemplo, los páramos han perdido más del 15% de su vegetación nativa debido a la conversión de tierras y otros factores humanos (Cely, 2022).

En el Refugio de Vida Silvestre Marino Costero Pacoche, Ecuador, la clasificación supervisada ayudó a seleccionar áreas de muestreo para especies cinegéticas, basándose en patrones espaciales detectados en imágenes satelitales. Este enfoque fue fundamental para la planificación y manejo de zonas protegidas (Cartaya, 2015). En el caso del municipio de Guadalajara de Buga, Colombia, se utilizó clasificación supervisada para identificar áreas óptimas para la agricultura a partir de imágenes satelitales (Landsat 8). Esta técnica permitió la

categorización precisa de territorios agrícolas, zonas urbanas y otros tipos de uso del suelo, contribuyendo a decisiones sobre desarrollo sostenible y producción de alimentos eficientes (Jiménez, 2023).

5.1 Reserva Natural de la Sociedad Civil (RNSC)

Parte o todo del área de un inmueble que conserve una muestra de un ecosistema natural y sea manejado bajo los principios de sustentabilidad en el uso de los recursos naturales y que por la voluntad de su propietario se destina para su uso sostenible, preservación o restauración con vocación de largo plazo. Corresponde a la iniciativa del propietario del predio, de manera libre, voluntaria y autónoma, destinar la totalidad o parte de su inmueble como RNSC (Decreto 1076 de 2015).

5.2 Recurso Natural

Los recursos naturales como aquellos elementos de la naturaleza y del medio ambiente, esto es, no producidos directamente por los seres humanos, que son utilizados en distintos procesos productivos. A su vez, los recursos naturales se clasifican usualmente en renovables y no renovables. Los primeros, son aquellos que la propia naturaleza repone periódicamente mediante procesos biológicos o de otro tipo, esto es, que se renuevan por sí mismos. Por el contrario, los recursos no renovables se caracterizan por cuanto existen en cantidades limitadas y no están sujetos a una renovación periódica por procesos naturales (Sentencia C-221-97)

5.3 Ecosistema Natural

Los ecosistemas son medios estratégicos para garantizan la oferta de bienes y servicios ambientales siendo importantes para el desarrollo humano y la sostenibilidad del país. Estos ecosistemas contribuyen al equilibrio y los procesos ecológicos como la regulación de clima, del agua, realizar la función de depuradores del aire, agua y suelos; la conservación de la biodiversidad (Minambiente, s.f.).

5.4 Gestión Ambiental

Es un proceso que busca prevenir, resolver, mantener y fortalecer el desarrollo sostenible, relacionado con el uso relacional de los recursos, en el cual tiene participación diferentes actores como la comunidad, las organizaciones y el Estado, mediante acciones que tiendan a disminuir el impacto a los problemas sociales a través de la formulación y adopción de políticas públicas (Colciencias, s.f.).

5.5 Planeación Ambiental

La planeación ambiental es un campo de estudio que desde 1970 se ha ocupado de la administración colectiva de una sociedad determinada a lo largo de sus recursos que en definitiva incluye los de todo el planeta. El objetivo de la planeación ambiental es el de integrar la planeación del sector público con la problemática ambiental y proporcionar un marco de trabajo integral que facilite la toma de decisiones a fin de garantizar el desarrollo sostenible (Secretaría Distrital de Ambiente, s.f.).

5.6 Área de Influencia

Esta área puede extenderse más allá del área intervenida para incluir hábitats críticos, corredores ecológicos, o comunidades humanas que dependen de los recursos protegidos. Esto es crucial para prever y mitigar impactos sobre ecosistemas sensibles y garantizar la sostenibilidad de los recursos dentro y alrededor de la reserva (ANLA, 2019)

5.7 Conservación

Es el conjunto de prácticas y principios orientados a proteger, restaurar y gestionar de manera sostenible los recursos naturales y la biodiversidad. Su objetivo principal es garantizar la funcionalidad de los ecosistemas y la calidad de vida tanto de las generaciones actuales como de las futuras (Barón, 2023).

5.8 Sistemas de Información Geográfica

Los SIG son herramientas que combinan software, hardware, datos geográficos y metodologías para capturar, almacenar, analizar y representar información espacial. Estas herramientas permiten trabajar con datos relacionados con ubicaciones en la superficie terrestre, facilitando el análisis y la visualización de patrones, relaciones y tendencias espaciales (Los Sistemas de Información Geográfica, 2006).

5.9 Teledetección

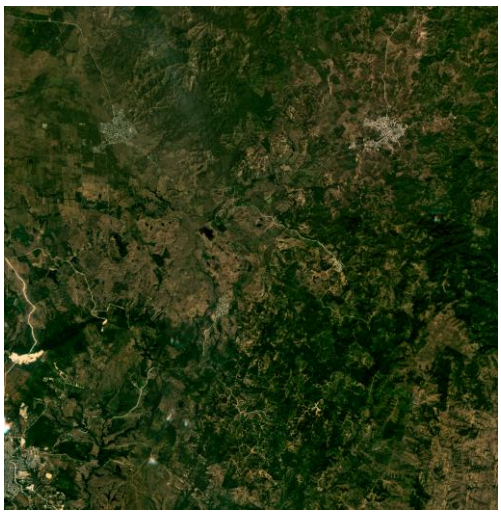
La teledetección se define como el conjunto de técnicas y herramientas que permiten recopilar información sobre la superficie terrestre y otros objetos o fenómenos sin necesidad de contacto físico directo. Estas tecnologías emplean sensores ubicados en plataformas como

satélites, aviones o drones, que detectan y registran radiaciones electromagnéticas reflejadas o emitidas por los objetos en estudio (Sacristán, 2006).

En la Tabla 1, se ilustra una imagen satelital con sus respectivas características que contiene de manera de ejemplo, siendo una de las imágenes de estudio para el procesamiento descrito en el capítulo de la metodología.

Tabla 1.

Muestra de las características de una imagen adquirida

Reserva Natural Año 2015	**características**
	Columnas 956 Filas 847 Número de bandas 4 Tamaño de celda X 4,7773142671602224 Tamaño de celda Y 4,77731426716029 Tamaño sin comprimir 3,09 MB Formato FGDBR Tipo de fuente Genérico Tipo de píxel caracteres sin signo Profundidad de píxel 8 bits Valor No Data Mapa de color ausente Pirámides niveles: 4, Re muestreo: Vecino más cercano Compresión LZ77 Capacidades de medición Basic

Fuente: (Planet Scope, 2025)

5.10 Planet Scope

Planet Scope es una constelación de satélites operada por la empresa Planet Labs. Está formada por más de 430 pequeños satélites denominados "Doves" y "SuperDoves". Estos satélites son capaces de capturar imágenes diarias de casi toda la superficie terrestre, con una resolución espacial de aproximadamente 3 a 4 metros. Su principal objetivo es proporcionar

monitoreo constante y detallado de los cambios en el terreno a nivel global (ESA, 2024). En la Tabla 2 se presentan algunos aspectos relevantes de Planet Scope.

Tabla 2.

Aspectos de Planet Scope

Tipo de sensor	Generador de imágenes de marco de tres bandas o generador de imágenes de marco de cuatro bandas con un filtro NIR de marco dividido (Dove-C) Generador de imágenes de marco de cuatro bandas con filtro tipo bloque que proporciona franjas azules, verdes, rojas y NIR (Dove-R) Generador de imágenes de marco de ocho bandas con filtro tipo bloque que proporciona franjas azules, verdes, rojas, de borde rojo y NIR (SuperDove)
Bandas espectrales	Azul costero: 431 - 452 nm Azul: 465 – 515 nm Verde I: 513 - 549 nm Verde: 547 – 583 nm Amarillo: 600 - 620 nm Rojo: 650 – 680 nm RedEdge: 697 – 713 nm NIR: 845 – 885 nm
Distancia de muestra del suelo	Dove-C: 3.0 m-4.1 m Dove-R: 3.0 m-4.1 m SuperDove: 3.7 m-
Tamaño del marco	24 km x 8 km (aproximadamente) para Dove-C 24 km x 16 km (aproximadamente) para Dove-R 32,5 km x 19,6 km (aproximadamente) para SuperDove
Franja de imagen máxima por órbita	20.000 km^2
Tiempo de revisión	Diariamente en el nadir
Capacidad de captura de imágenes	200 millones km^2/ día

Fuente: (Planet Scope, 2025)

5.11 Clasificación Supervisada

La clasificación supervisada es un método que permite clasificar imágenes satelitales o datos geoespaciales en diferentes clases de cobertura terrestre o uso del suelo. Este enfoque utiliza información previa de "entrenamiento" basada en áreas conocidas del mapa para asignar etiquetas a los píxeles de una imagen, como bosques, agua, áreas urbanas, entre otros (Poveda, 2022).

5.12 ArcGIS Pro

Es un software desarrollado por Esri que permite trabajar con datos geográficos en 2D y 3D. Es una evolución de los programas anteriores como ArcMap, integrando herramientas avanzadas para la visualización, análisis, edición y compartición de información geoespacial. Su arquitectura de 64 bits mejora el rendimiento y soporta funciones como la integración con ArcGIS Online, programación con Python 3, y un entorno basado en proyectos (archivos. aprx), que organiza mapas, escenas, tablas y más elementos en una estructura coherente (Arcgis, 2024).

5.13 Cobertura de Suelo

Es la capa biológica, física o artificial que cubre la superficie terrestre dentro de estas áreas protegidas. Esta cobertura incluye elementos naturales como vegetación nativa, cuerpos de agua y suelos desnudos, así como modificaciones inducidas por actividades humanas. Su estudio es esencial para entender las dinámicas de los ecosistemas, evaluar los impactos del cambio de uso de suelo y diseñar estrategias de conservación (Von Thaden, 2020)

5.14 Metodología Corine Land Cover (CLC)

La metodología **Corine Land Cover (CLC)** es un sistema estandarizado para mapear y monitorear la cobertura y el uso del suelo en Europa y otras regiones. Su principal objetivo es generar bases de datos espaciales detalladas que permitan evaluar cambios en el territorio y apoyar la toma de decisiones sobre políticas ambientales y de uso del suelo (Súarez, 2016).

5.15 Territorios artificializados

Comprende zonas urbanas y sus alrededores, destacando aquellas áreas periféricas que, a través de un proceso paulatino de urbanización o transformación del uso del suelo, se integran a la ciudad para fines comerciales, industriales, de servicios o recreativos (IDEAM, 2010).

5.16 Territorios Agrícolas

Se trata de terrenos utilizados principalmente para la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales. Estos pueden estar destinados a cultivos, pastos, rotación, descanso o barbecho. Incluyen áreas de cultivos permanentes y transitorios, zonas de pastos, así como terrenos agrícolas heterogéneos (IDEAM, 2010).

5.17 Bosques y área seminaturales

Se Incluye un conjunto de coberturas vegetales boscosas, arbustivas y herbáceas que se desarrollan en distintos sustratos y altitudes, producto de procesos climáticos. También abarca áreas con suelos desnudos, así como afloramientos rocosos y arenosos, originados por procesos naturales o degradación inducida (IDEAM, 2010).

5.18 Superficies de agua

Se refiere a los cuerpos y cauces de agua que pueden ser permanentes, intermitentes o estacionales. Estos se encuentran dentro del continente o en áreas cercanas a la línea costera continental, como los mares y otros cuerpos de agua adyacentes (IDEAM, 2010)

5.19 Análisis de Cambios en las Coberturas del Suelo

El análisis de cambios en las coberturas del suelo es una herramienta clave para la gestión sostenible de los recursos naturales. Este enfoque permite identificar patrones de transformación del paisaje, cuantificar tasas de cambio y proyectar tendencias futuras, proporcionando información esencial para la planificación ambiental (Meléndez, 2024). Su relevancia es aún mayor en áreas protegidas, como las Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC), que desempeñan un papel crucial en la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático.

5.20 TerrSet: Herramienta para el Análisis y Modelación Espacial

TerrSet, desarrollado por el Clark Labs, es un sistema integrado de software ampliamente utilizado en análisis espacial y modelación de datos geográficos (Eastman, 2016). Entre sus módulos más destacados se encuentra el **Land Change Modeler (LCM)**, diseñado específicamente para el análisis, modelación y predicción de cambios en la cobertura del suelo.

1. **Análisis de Cambios Históricos:**

   El LCM permite identificar transiciones clave entre distintas clases de cobertura del suelo, generando matrices de cambio que cuantifican áreas ganadas y perdidas por categoría. Este análisis es fundamental para comprender la dinámica del

paisaje y evaluar tendencias de cambio en períodos específicos (Pineda et al., 2018).

2. **Proyección a Futuro:**

   Utilizando algoritmos avanzados, el LCM calcula probabilidades de transición basadas en patrones históricos. Estas probabilidades son distribuidas espacialmente mediante autómatas celulares, produciendo mapas proyectados que representan escenarios plausibles de cambio futuro (Eastman, 2016). Esta metodología es particularmente útil para anticipar los impactos del cambio en la cobertura del suelo bajo diferentes escenarios de manejo y políticas ambientales.

El diseño del LCM incluye herramientas de visualización que mejoran la interpretación de los resultados. Mapas interactivos, gráficos de cambio y resúmenes estadísticos facilitan la comunicación de hallazgos tanto a audiencias técnicas como no técnicas, asegurando que los resultados puedan ser utilizados directamente en la toma de decisiones (Rodríguez y Torres, 2015).

Ventajas de TerrSet en Estudios de Cobertura Vegetal

- **Integración de Datos Espaciales:** Manejo eficiente de datos multitemporales y multiescala.
- **Predicción Basada en Evidencia:** Generación de escenarios de alta precisión utilizando patrones históricos y factores espaciales.
- **Visualización Intuitiva:** Resultados fácilmente interpretables gracias a herramientas gráficas y mapas dinámicos.

El uso de TerrSet permite que los resultados del análisis sean directamente aplicables en la formulación de políticas, el diseño de estrategias de conservación y el desarrollo sostenible. Su enfoque integral lo convierte en una herramienta indispensable para gestores ambientales y apoya en gran medida a la toma de decisiones.

6. Metodología

Para alcanzar los objetivos específicos de este proyecto, se adoptó un enfoque cuantitativo, empleando herramientas y técnicas avanzadas de análisis espacial y procesamiento de imágenes satelitales, por lo que, en las siguientes líneas se describe detalladamente la metodología a aplicar teniendo en cuenta que de esta manera, se garantizará que la investigación cumpla con los objetivos planteados y aporte información valiosa y aplicable para la planificación y gestión ambiental de la RNSC Praga:

6.1 Enfoque metodológico

Esta investigación adopta un enfoque metodológico cuantitativo, caracterizado por la recolección y análisis de datos numéricos para identificar patrones y relaciones dentro del conjunto de datos (Creswell, 2018). Este enfoque se empleó para evaluar el impacto de la conservación privada en las coberturas naturales de la RNSC Praga en el municipio de Turbaco, Bolívar, de tal manera que sea posible evidenciar el estado de cada una de las coberturas en cada año de estudio identificando y analizando los comportamientos que demuestren en el período de estudio (Figura 1).

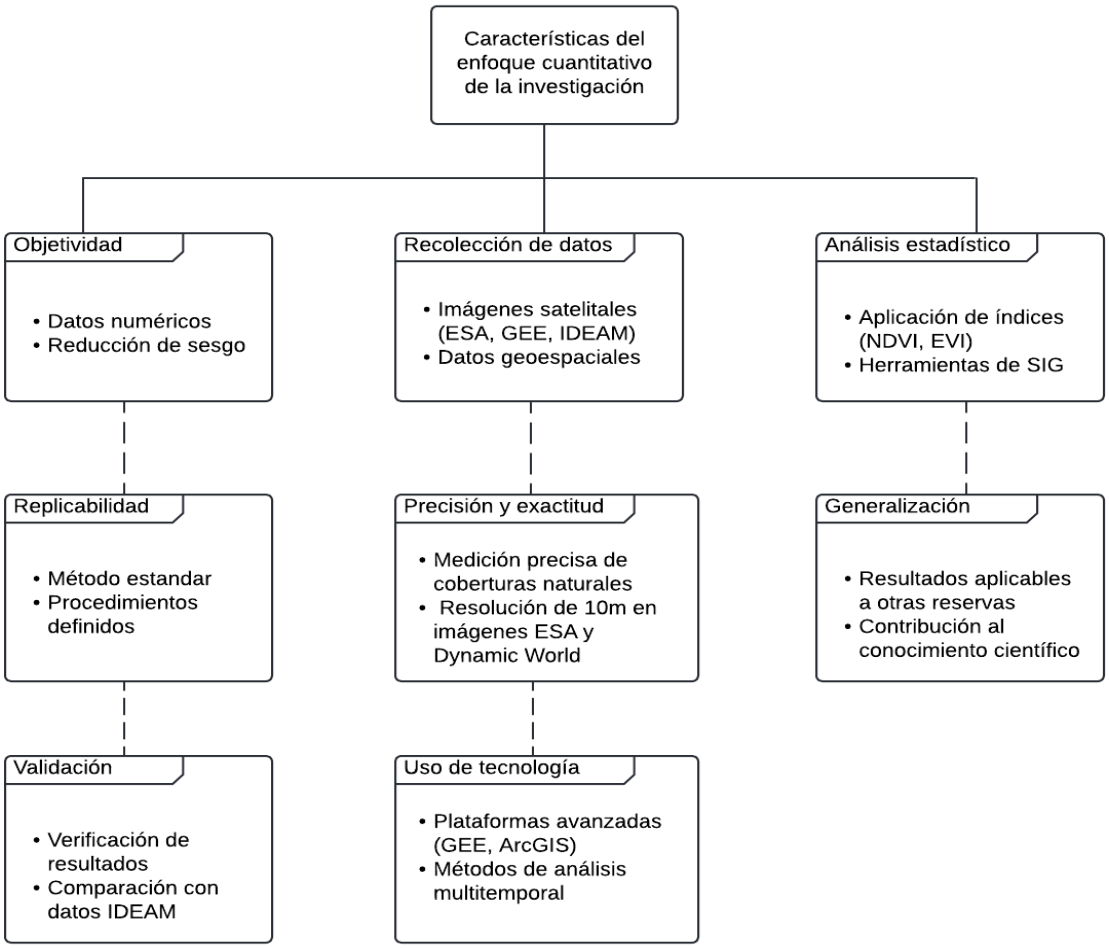
El uso de imágenes satelitales y su análisis mediante herramientas como ArcGIS permite un tratamiento riguroso y sistemático de los datos espaciales, lo que facilitó la cuantificación y monitoreo de los cambios en las coberturas naturales a lo largo del tiempo (Jensen y Jensen, 2016), en la medida en que este enfoque es particularmente adecuado para estudios ambientales donde se requiere precisión en la detección de cambios y patrones en el paisaje.

Finalmente, la integración de los resultados obtenidos mediante estas técnicas avanzadas de análisis espacial facilita la formulación de estrategias de conservación y manejo sostenible de

los recursos naturales en la RNSC Praga. Por lo que resulta clave resaltar que este enfoque metodológico asegura un alto grado de precisión y confiabilidad en los resultados, contribuyendo significativamente a la comprensión y mitigación de los impactos ambientales en la región (Turner et al., 2003).

Figura 1.

Enfoque de la investigación



Fuente: (Elaboración propia, 2025)

6.2 Tipo de estudio

El proyecto de investigación se adscribe a una metodología cuantitativa correlacional, entendiéndose su finalidad conocer la relación o nivel de asociación que puede existir entre dos o más variables, conceptos o categorías en una muestra o situación en particular. En primera instancia, para identificar el nivel de relación entre dos o más variables, en los análisis correlacionales se midió cada variable de estudio, y posteriormente se cuantificó, analizó y estableció vinculaciones. Estas correlaciones identificadas se toman como hipótesis que serán puestas a prueba a medida del desarrollo de la investigación (Hernández, et al., 2010).

Como se menciona en el siguiente apartado, se expone el procedimiento a realizar en cada etapa del estudio, se toman algunas características de otro tipo de investigaciones como el descriptivo y el explicativo, partiendo de la revisión bibliográfica con un contexto desde lo general a lo particular, explicando las diversas causas de la problemática planteada y las consecuencias o presiones ejercidas en nuestra área de estudio definida.

La adquisición y el procesamiento de imágenes involucró herramientas y análisis estadístico con programas que facilitaron la identificación y medición de nuestras variables de interés, esto permitió crear asociaciones y dar explicación a los fenómenos antrópicos que afectan directa o indirectamente nuestra área de interés.

6.3 Procedimiento

6.3.1. Fase I – Preliminares

Para llevar a cabo el análisis de los cambios en las coberturas naturales de la RNSC Praga durante el período 2015-2024, se desarrolló una metodología basada en la clasificación de imágenes satelitales. Este enfoque permite identificar y cuantificar las transformaciones en las coberturas terrestres, proporcionando información precisa sobre las dinámicas de uso del suelo y los patrones de cambio. A través del uso de herramientas de teledetección y SIG, se garantiza un análisis detallado y replicable que contribuye al entendimiento de los procesos que afectan a los ecosistemas de la reserva.

Inicialmente, se llevó a cabo una completa revisión de recursos de estudio, cuyo propósito fue obtener un conocimiento profundo del tema mediante la recopilación y análisis de literatura académica, informes técnicos y bases de datos relevantes. De esta manera, esta etapa incluyó la búsqueda y selección de investigaciones previas, artículos científicos y documentos técnicos relacionados con las Reservas Naturales de la Sociedad Civil y el uso de herramientas de análisis multitemporal. Además, se evaluó cuidadosamente la calidad y relevancia de los recursos seleccionados, asegurando que la información recopilada proporcione una base sólida para el desarrollo del proyecto. Los hallazgos obtenidos fueron esenciales para estructurar los antecedentes del estudio y justificar la pertinencia de abordar la problemática desde un enfoque técnico y ambiental.

6.3.2 Fase II – Procesamiento de Imágenes Satelitales

Recolección de información primaria: Si bien este tipo de estudio se basa principalmente en información secundaria (imágenes satelitales y datos geoespaciales), se puede considerar registros o estudios a actores clave, como los gestores de las RNSC, para obtener información contextual que complemente el análisis multitemporal entre los cuales se pueden encontrar:

- Cambios en las políticas de conservación o manejo.
- Percepciones sobre la pérdida o recuperación de cobertura natural.
- Impacto de las actividades humanas en las RNSC.

Recolección de información secundaria: El núcleo del análisis multitemporal se fundamentó en imágenes satelitales multitemporales comprendidas entre los años 2015 y 2024; y bases de datos geoespaciales de libre acceso (IDEAM, IGAC, USGS EarthExplorer).

Criterios de selección

La elección de las imágenes satelitales se justifica en función de varios aspectos clave tales como:

- **Resolución espacial.** Se seleccionaron imágenes satelitales con una resolución espacial adecuada para el propósito del estudio, que permite distinguir detalles relevantes a nivel de superficie terrestre. Una resolución espacial de entre 3 a 10 metros es ideal para la clasificación de coberturas de suelo, ya que permite identificar categorías como bosques, cuerpos de agua y áreas degradadas con precisión suficiente, sin generar un volumen de datos excesivamente grande que dificulte el procesamiento.

- **Disponibilidad temporal**. La selección de imágenes multitemporales entre los años 2015 y 2024 responde a la necesidad de analizar los cambios en la cobertura del suelo a lo largo del tiempo. Es fundamental contar con imágenes de alta frecuencia para realizar un monitoreo continuo y detectar tendencias de degradación, regeneración o cambios en el uso del suelo.
- **Calidad atmosférica**. Se escogen imágenes con baja cobertura nubosa, puesto que, que las nubes y sombras pueden interferir en la correcta identificación de las características del terreno. Las imágenes con menor interferencia atmosférica aseguran resultados más precisos y minimizan la necesidad de aplicar correcciones adicionales en el procesamiento.
- **Disponibilidad de bandas espectrales.** La selección de imágenes multiespectrales (por ejemplo, bandas visibles y el infrarrojo cercano) es crucial, puesto que, estas permiten analizar propiedades biofísicas de la superficie terrestre, como la salud de la vegetación o la presencia de cuerpos de agua. Las bandas adicionales enriquecen la capacidad de clasificación y diferenciación de coberturas de suelo.
- **Condiciones meteorológicas.** La elección de diciembre se fundamentó en que este mes marca el inicio de la temporada seca en la región Caribe de Colombia, caracterizándose por una notable reducción de las lluvias en comparación con los meses anteriores. Además, durante este periodo, la nubosidad disminuye significativamente, lo que permite una mayor incidencia de radiación solar y genera condiciones más estables para la observación y recolección de datos.

Las imágenes obtenidas por las plataformas Landsat, Sentinel y Planet Scope permiten un seguimiento continuo de fenómenos como cambios en la cobertura del suelo, degradación ambiental y expansión agrícola o urbana a nivel global. En particular, Planet Scope destaca por su capacidad multiespectral y accesibilidad, lo que la hace ideal para estudios que requieren monitoreo preciso y actualizado, proporcionando información clave para la gestión ambiental y la planificación territorial.

Adquisición de las imágenes de Planet Scope

Dado que, la plataforma de Planet Scope ofrece la descarga de imágenes satelitales de alta resolución únicamente para fines académicos, se precisó de un registro en la plataforma en la cual se compartió el documento en donde se detalla la finalidad del uso de los recursos a obtener. Posteriormente, se recibieron las credenciales para acceder a la plataforma.

Con las credenciales se ingresó al portal de descarga de las imágenes de Planet Scope. Dentro de la plataforma, se localizó la zona de estudio y se delimitó mediante un polígono, a continuación, se seleccionó la opción de periodicidad mensual y se descargaron las imágenes teniendo en cuenta los criterios mencionados anteriormente. Es menester mencionar que las imágenes se guardaron en el dispositivo de descarga y que estas tienen un sistema de proyección definido diferente al Origen único Nacional empleado en Colombia.

Clasificación supervisada

En primer lugar, se utilizó el software ArcGIS Pro, para proyectar las imágenes satelitales al sistema de coordenadas Origen Único Nacional CTM 12, empleando la herramienta “Proyectar Ráster” a fin de garantizar su compatibilidad con otras capas de información geoespacial. Posteriormente, se delimitó el área de estudio aplicando un área de influencia de un

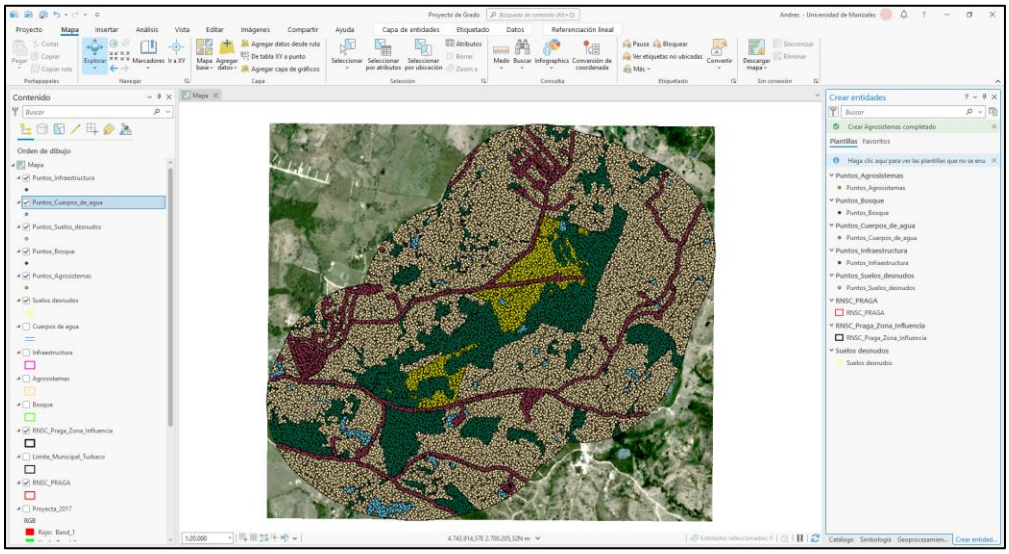
kilómetro alrededor del polígono de la reserva, esta delimitación se llevó a cabo mediante la herramienta “Buffer”, disponible en el panel de geoprocesamiento.

A continuación, con el objetivo de restringir el análisis al área de interés y optimizar el tamaño de los archivos, se realizó un recorte de las imágenes satelitales utilizando la herramienta “Recorte Ráster”, asegurando que solo se conservara la información relevante para el estudio. Todas las herramientas anteriormente mencionadas se encuentran en la caja de herramientas de ArcGIS Pro.

Con el área de estudio definida, se procedió a crear las muestras de entrenamiento utilizando la herramienta “Crear Entidades”. Se generaron múltiples puntos con el objetivo de extraer clases de información de la imagen ráster e identificar las diferentes coberturas de suelo Figura 2.

Figura 2.

Creación de muestras de entrenamiento

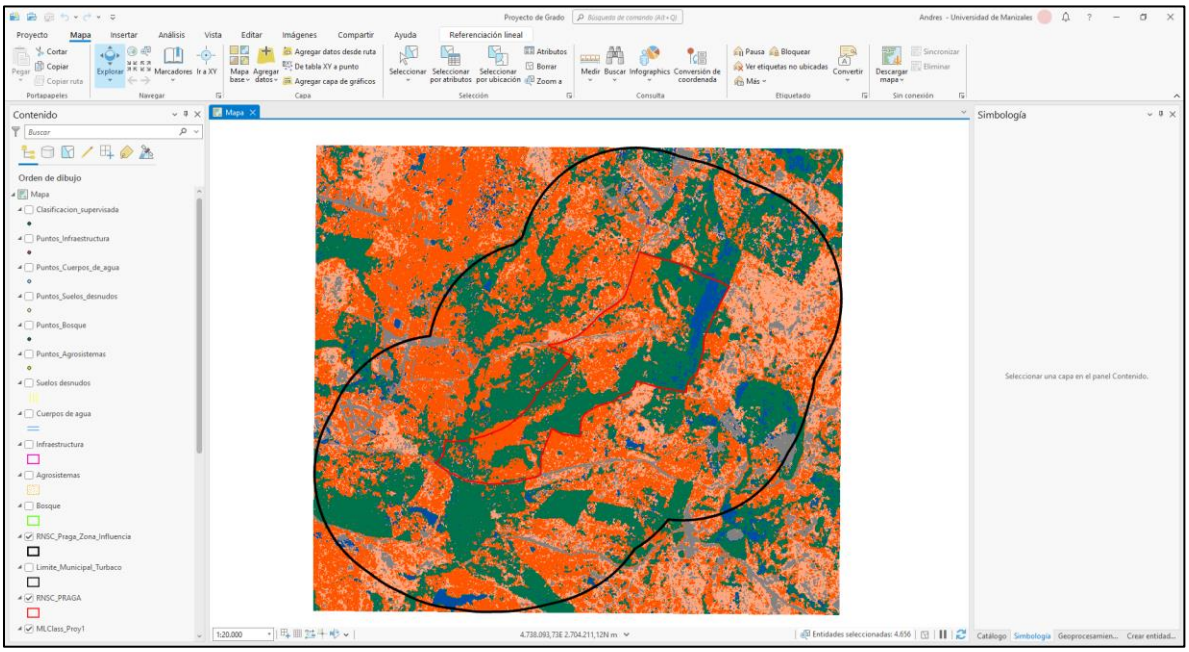


Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Con las clases definidas, se utilizó la herramienta "Crear firmas" para generar un archivo de firmas ASCII que describe estadísticamente las clases identificadas en el ráster de entrada (Figura 3). Este archivo es esencial para la siguiente etapa del proceso. La herramienta "Clasificación de máxima verosimilitud" asume que las muestras de clase se caracterizan por un valor medio y una matriz de covarianza. Con base en estos parámetros, se calcula la probabilidad de que cada celda pertenezca a una clase específica (ESRI, 2024).

Figura 3.

Creación de firmas ASCII



Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Cálculo del área en las coberturas evaluadas

Se determinó la extensión de cada categoría de cobertura terrestre, empleando un procedimiento basado en el análisis de imágenes satelitales clasificadas, en donde inicialmente se realizó la clasificación supervisada de las imágenes, lo que permitió asignar cada píxel a una categoría específica de cobertura. Posteriormente, se consultó la tabla de atributos de la imagen

clasificada, donde se identificó el número total de píxeles correspondiente a cada clase y se multiplicó cada pixel por su equivalente en área.

A partir de esta operación, se determinó el área total ocupada por cada categoría de cobertura. Finalmente, los datos obtenidos fueron procesados para generar representaciones gráficas y cartográficas de las coberturas, y posterior análisis comparativos a lo largo del período de estudio.

Procesamiento metodología Corine Land Cover aplicada para Colombia

La metodología CLC, al ser aplicada al contexto de la RNSC, facilitó la identificación y clasificación de las diferentes coberturas del suelo presentes en la zona de estudio. Estas incluyen categorías relevantes como bosques naturales, áreas agrícolas, cuerpos de agua y suelos desnudos, adaptadas a las particularidades ecológicas de la región. Este enfoque permite:

Monitorear los cambios en la cobertura del suelo:

Para monitorear los cambios en la cobertura terrestre a lo largo del período de estudio, se realizaron comparaciones entre los diferentes años evaluados, y se generaron mapas de cambio espacial y matrices de transición para cuantificar la expansión o reducción de las coberturas boscosas, permitiendo así evaluar la salud del ecosistema y la efectividad de las estrategias de conservación implementadas en la RNSC.

Además, con el fin de analizar la influencia de las actividades humanas en las áreas circundantes, se delimitó el área de influencia alrededor de la reserva, donde se examinaron los cambios en las coberturas terrestres asociados a la expansión agrícola y el crecimiento urbano,

con lo cual se identificaron patrones de transformación del paisaje y evaluación del impacto en la conectividad ecológica de la zona.

Generar las categorías de uso de la tierra

Las categorías de coberturas terrestres se escogieron con base a la metodología CLC aplicado para Colombia implementando la leyenda nacional de cobertura de tierras. Para el caso de estudio y, considerando los insumos disponibles y datos, se determinó emplear la jerarquía de primer nivel de dicha metodología, puesto que, no se disponía de herramientas más óptimas que permitieran precisar coberturas más específicas. Las categorías seleccionadas luego del proceso de clasificación supervisada son: Bosque y áreas seminaturales, territorios agrícolas, territorios artificializados y superficies de agua.

Cálculo de áreas y tasa de cambios para cada categoría resultante en cada período: Usando el Software ArcGIS Pro, se calculó la extensión superficial de cada una de las categorías determinadas previamente, para cada año de estudio. Posteriormente, se procedió con el análisis multitemporal, calculando la variación de cada categoría al comparar el cambio de área con cada año de estudio.

Por cada año de estudio se generaron tres productos anexos al informe: primero, la salida gráfica o mapa temático, en el cual, se presentó al lector la cobertura de la tierra empleando la leyenda nacional resultante de la metodología CLC; segundo, las tablas que contienen la extensión superficial de cada una de las categorías con su respectivo porcentaje en relación con el total del área de estudio y la variación que presentada en cada año respecto al año anterior; tercero, corresponden a las gráficas en las cuales se contrasta el área obtenida en cada año para cada clase, con la finalidad de resumir de manera sencilla los cambios que ha presentado la

cobertura de la tierra en los años de estudio. Todos los productos mencionados anteriormente se pueden visualizar de manera detallada en los anexos del presente informe.

6.3.1 Fase III – Influencia de las actividades antrópicas en las coberturas de naturales

Si bien el análisis multitemporal de imágenes satelitales realizado mediante clasificación supervisada en este estudio, tuvo como propósito principal la identificación de cambios en las coberturas naturales, este también permitió analizar, de manera complementaria, la influencia de las actividades antrópicas en la reserva y su zona de influencia.

Para ello, se correlacionaron las transformaciones detectadas con la zonificación de la RNSC Praga (establecida en la Resolución 116 de 2019), que define los usos productivos dentro de la reserva, así como con información recolectada en documentos de planificación territorial como el Plan de Desarrollo Territorial (PDT) del municipio donde se sitúa el área protegida. Además, en el área de influencia, se examinaron patrones de urbanización y expansión de infraestructura a partir de mapas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y registros del Plan de Ordenamiento Territorial (POT).

Además, para cuantificar la transformación del paisaje, se emplearon matrices de cambio de cobertura, mapas de transición y análisis espacial, lo cual aportó a la determinación de la relación entre las actividades humanas y la evolución de las coberturas naturales, proporcionando información clave sobre la presión antrópica y su efecto en la conservación de los ecosistemas de la reserva y su entorno inmediato.

6.3.2 Fase IV - Simulación de los cambios proyectados en la cobertura del suelo para el año 2030

Predicción de Cambios en la RNSC Praga y su Zona de Influencia

La selección de un año inicial (2015) y final (2024) para la predicción de las coberturas de suelo identificadas responde a la necesidad de establecer un marco temporal que permita analizar de manera efectiva las dinámicas de cambio en el territorio de estudio. Con lo anterior se logra capturar el rango completo de transformaciones en la cobertura del suelo durante el período de análisis. Esto permite identificar transiciones significativas y tendencias predominantes, esenciales para modelar escenarios futuros con mayor precisión en este caso para el año 2030.

Para llevar a cabo este análisis y la simulación de escenarios, se utilizó TerrSet, un sistema integrado de software desarrollado por los Clark Labs, ampliamente reconocido en el ámbito del análisis espacial y la modelación de datos geográficos (Eastman, 2016). Entre sus módulos destacados, sobresale el Land Change Modeler (LCM), por su capacidad de analizar, modelar y predecir cambios en la cobertura del suelo.

El LCM permite identificar transiciones clave entre distintas clases de cobertura, generando matrices de cambio que cuantifican las áreas ganadas y perdidas por categoría (Pineda et al., 2018). Además, utiliza algoritmos avanzados para calcular probabilidades de transición basadas en patrones históricos y las integra para producir mapas proyectados, representando escenarios de cambio (Eastman, 2016).

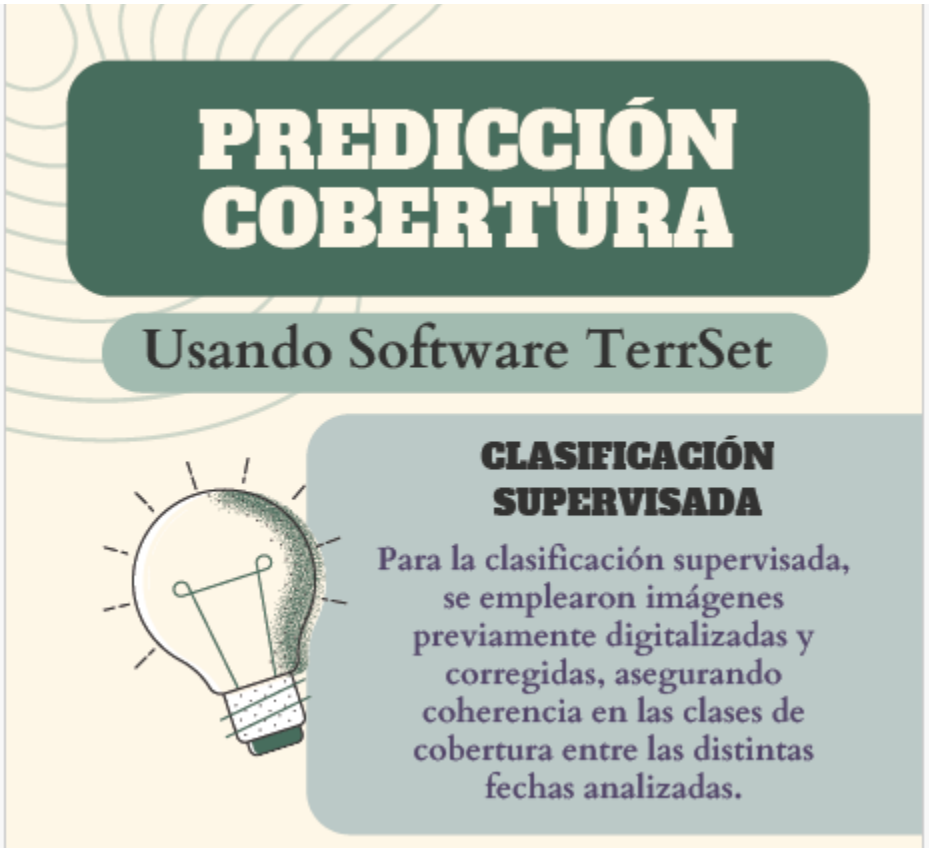
La interfaz de TerrSet facilita la interpretación de los resultados mediante herramientas de visualización como mapas interactivos, gráficos de cambio y resúmenes estadísticos, lo que

asegura que los hallazgos puedan ser utilizados directamente en la toma de decisiones (Rodríguez y Torres, 2015).

El procedimiento para realizar la simulación de coberturas terrestres en TerrSet consta de los siguientes cinco pasos principales: primero, la incorporación de la clasificación supervisada al programa (Figura 4); segundo, el análisis de los datos obtenidos de la clasificación supervisada (Figura 5); tercero, simulación de los cambios en la cobertura terrestre (Figura 6); cuarto, matriz de transición (Figura 7**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**); quinto y último, validación de las transiciones de cobertura (Figura 8).

Figura 4.

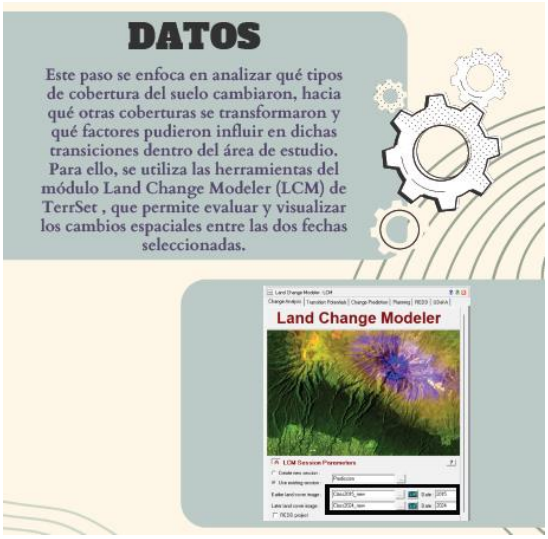
Predicción cobertura primer paso: clasificación supervisada



Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Figura 5.

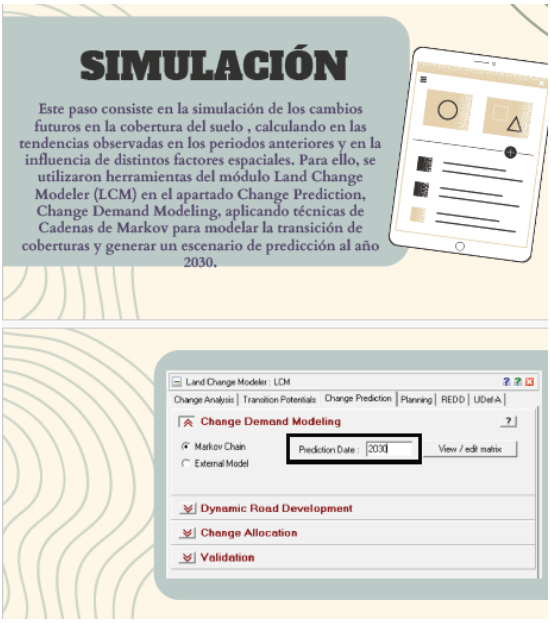
Predicción cobertura segundo paso: análisis de datos



Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Figura 6.

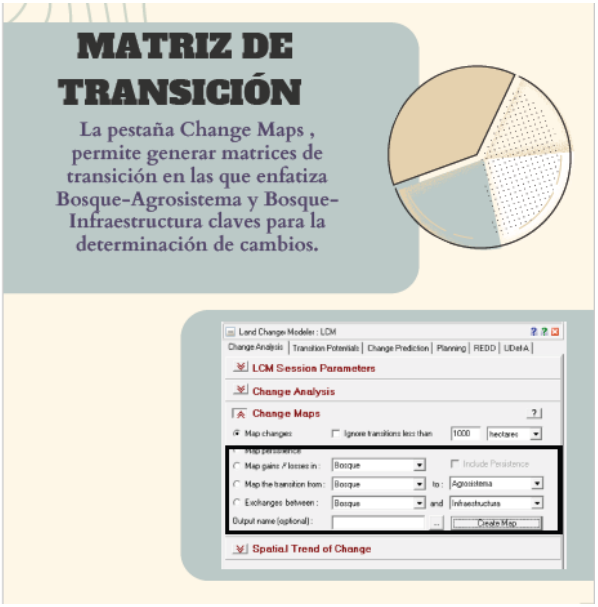
Predicción cobertura tercer paso: simulación



Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Figura 7.

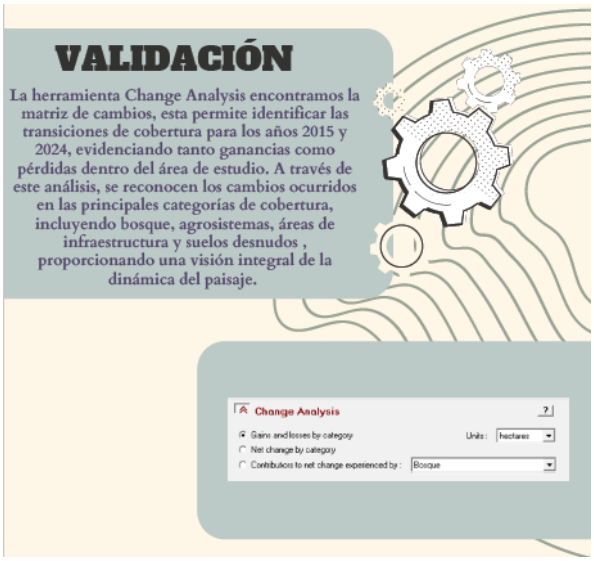
Predicción cobertura cuarto paso: matriz de transición



Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Figura 8.

Predicción cobertura quinto paso: validación de la información



Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Para facilitar el análisis de la evolución de las coberturas de suelo en la RNSC Praga, los resultados de la simulación fueron organizados en distintos formatos; en la medida en que se elaboró una tabla de ganancias y pérdidas, en la cual se cuantificaron los cambios en la extensión de cada tipo de cobertura, evidenciando incrementos y reducciones en hectáreas a lo largo del período analizado. Adicionalmente, se generó un mapa de simulación, que permitió visualizar de manera espacial las áreas con mayor variabilidad en la cobertura del suelo, destacando las zonas más vulnerables a transformaciones antrópicas. De igual forma, se estructuró una tabla de distribución de áreas, donde se detalló la extensión actual de cada cobertura, proporcionando una referencia clara sobre la configuración territorial dentro de la reserva y su evolución en el tiempo.

6.3.3 Fase V - Estrategias para la conservación

La formulación de estrategias de conservación para la RNSC Praga se fundamentó en los productos obtenidos a partir del análisis multitemporal de coberturas (2015-2024) y la simulación de escenarios futuros proyectados al 2030 mediante el Land Change Modeler (LCM) en TerrSet. Con base en estos, se identificaron tendencias clave, como el aumento de la fragmentación en la zona de influencia debido a la expansión de territorios artificializados y la reducción de coberturas boscosas en áreas externas a la reserva. La simulación permitió predecir las zonas con mayor vulnerabilidad a cambios antrópicos, lo que posibilitó la delimitación de áreas críticas que requieren intervención prioritaria. Con base en esta información, se formularon estrategias de restauración ecológica, conectividad del paisaje y regulación del crecimiento urbano, con el propósito de mitigar los impactos ambientales y fortalecer la sostenibilidad de la reserva a largo plazo.

En este sentido, la implementación de estrategias de conservación se diseñó bajo un enfoque integral que combina acciones de restauración activa en áreas degradadas, promoción de corredores ecológicos para mejorar la conectividad y el desarrollo de un sistema de monitoreo basado en herramientas SIG y teledetección. La identificación de patrones de cambio y la predicción de escenarios futuros permitieron plantear estrategias fundamentadas en evidencia científica, asegurando que las medidas propuestas respondan a las dinámicas espaciales y ambientales de la reserva.

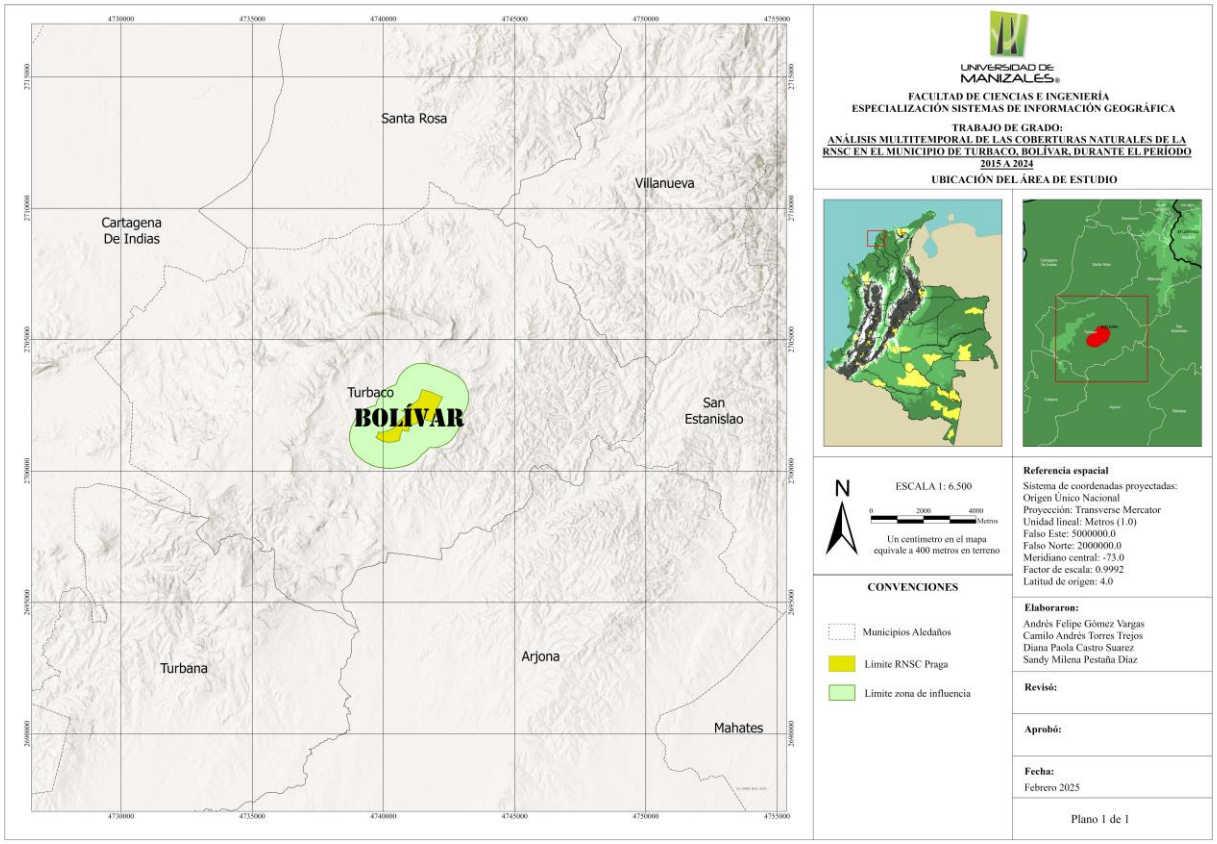
Una vez identificadas las causas de los cambios en la cobertura vegetal, empleando los SIG se plantearon alternativas que fortalezcan la conservación y el uso sostenible que no perjudiquen a la comunidad de la zona y que posteriormente puedan ser incluidas en el plan de ordenamiento territorial del municipio.

7. Resultados y discusión

Los resultados del presente estudio se enfocan en la evaluación de las coberturas naturales del polígono de la RNSC Praga (área de 166,352 ha) y su zona de influencia (área de 1204,53 ha) correspondiente un kilómetro de la misma (Figura 9). Para ello se empleó la metodología CLC adaptada a Colombia, en la cual se definieron 4 categorías: Territorios artificializados (clase 1), Territorios agrícolas (clase 2), Bosques y áreas seminaturales (clase 3) y superficies de agua (clase 5).

Figura 9.

Delimitación del área de estudio



Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Los resultados se presentan de la siguiente manera: en primer lugar se consolidan los valores obtenidos en de cada uno de los años de estudio en una tabla general y su respectiva gráfica, en la cuales se presentan las hectáreas de cobertura para cada una de las categorías, asimismo se analiza su comportamiento en el período de estudio. Este proceso se realiza para la reserva y su zona de influencia aisladamente; segundo, del análisis anterior se mencionan las posibles actividades antrópicas en las coberturas terrestres y el impacto que estas pueden llegar a ocasionar; finalmente, se presentan las sugerencias efectivas para la conservación y uso sostenible en la RNSC Praga, tomando como insumo los resultados obtenidos de la simulación de los cambios proyectados en el área de estudio de las coberturas terrestres para el año 2030.

7.1 Análisis de las coberturas terrestres

Es menester mencionar que, para obtener el área de cada una de las coberturas, posterior a la clasificación supervisada, en la tabla de atributos se identifican la cantidad de pixeles para cada categoría, los cuales se multiplican con 0,002289. Este último valor corresponde a la cantidad de hectárea que contiene cada pixel, el cual se obtiene a partir de la resolución de la imagen satelital, en este caso de 4,77 x 4,77 metros, lo que equivale a 22,79 m² o 0,002289 ha.

Análisis de las coberturas terrestres en la RNSC Praga

En la Tabla 3 se presenta el consolidado de las coberturas terrestres en el polígono de la reserva, en el consolidado se puede visualizar el área y porcentaje de cada una de las coberturas para cada año. Por otro lado la Figura 1 presenta el comportamiento de cada una de las categorías en el período de estudio.

En la RNSC Praga se evidencian cambios significativos en las coberturas agrícolas (clase 2) y de bosques seminaturales (clase 3). Durante el período de estudio, se evidencia un

comportamiento inversamente proporcional entre estas dos coberturas, es decir, mientras los territorios agrícolas pierden terreno el bosque y áreas seminaturales obtienen superficie.

Tabla 3.

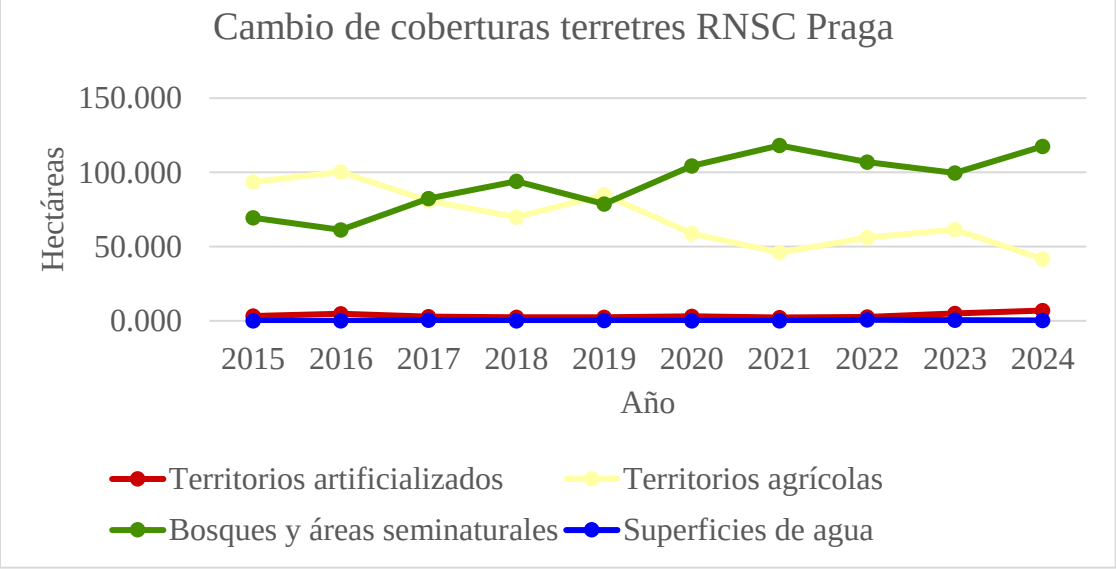
Consolidado coberturas terrestres RNSC Praga

COBERTURAS TERRESTRES RNSC PRAGA											
Categoría Corine Land Cover		**Hectáreas Coberturas Terrestres por año**									
		2015	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Territorios artificializados	ha	3,377	4,786	2,748	2,416	2,365	3,065	2,271	2,587	4,890	6,931
	%	2,0%	2,9%	1,7%	1,5%	1,4%	1,8%	1,4%	1,6%	2,9%	4,2%
Territorios agrícolas	ha	93,575	100,289	80,786	69,966	84,957	58,905	45,955	56,123	61,421	41,608
	%	56,3%	60,3%	48,6%	42,1%	51,1%	35,4%	27,6%	33,7%	36,9%	25,0%
Bosques y áreas seminaturales	ha	69,400	61,277	82,283	93,971	78,767	104,381	118,126	106,923	99,676	117,416
	%	41,7%	36,8%	49,5%	56,5%	47,3%	62,7%	71,0%	64,3%	59,9%	70,7%
Superficies de agua	ha	0,000	0,000	0,535	0,000	0,264	0,000	0,000	0,719	0,365	0,185
	%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,4%	0,2%	0,1%

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Figura 10.

Gráfica cambio de coberturas terrestres RNSC Praga



Fuente: (Elaboración propia, 2025)

La cobertura clase 2 (territorios agrícolas) presenta el siguiente comportamiento: para el año inicial del estudio, 2015, esta cobertura ocupa el 56,3% de la superficie de la reserva; para el año 2016 esta cobertura aumenta al 60,3%; para los años 2017 y 2018 se observa una disminución considerable del 48,6% y 42,1% respectivamente; en el año 2019 vuelve a incrementarse la cobertura de esta clase en el 51,1%; sin embargo, es a partir de 2020 que se observa una tendencia decreciente respecto a esta cobertura, manteniéndose en los años posteriores entre el 27% y 36%; finalmente, para el año 2024, esta cobertura registra su valor más bajo con el 25,04% de la cobertura.

La cobertura clase 3 (bosques y áreas seminaturales) dentro de la reserva inicia con el 41,7% para el año 2015; disminuyendo a 36,8% en el año 2016; para los años 2017, 2018 y 2019 cubrió el 49,5%, 56,5% y 47,3% respectivamente; a partir de 2020 se evidencia una tendencia creciente en esta cobertura, presentando en 2020 un aumento al 62,7%, es decir, un aumento del 15,40% respecto al año anterior; en los años 2021, 2022, 2023 la reserva presento el 71%, 64,3% y 59,9% de cobertura terrestre dentro de la reserva respectivamente; finalmente, en el año 2024, la reserva cierra en análisis con la cobertura de bosque y área seminatural del 70,7%, siendo este de los valores más altos registrados.

De modo que, en los dos primeros años del análisis la cobertura clase 2 tuvo más del 55% de la cobertura, mientras que la clase 3 estuvo por debajo del 43%. En los años 2017, 2018 y 2019 estas coberturas comenzaron a acercarse, oscilando valores cercanos al 50%. Para los últimos 5 años del estudio, los valores de las clases se distancian constantemente, por un lado, los valores de la clase 2 comienzan a descender mientras que los valores de la clase 3 ascienden. Esta tendencia puede deberse a las labores de conservación que se iniciaron después del registro

formal y legal de la reserva en 2019. Por tal razón, podemos inferir que el territorio que se destinaba a la agricultura inició una transición para convertirse en bosques o áreas seminaturales.

Dentro de la reserva las coberturas de territorios artificializados (clase 1) y superficies de agua (clase 5) no representan valores significativos. Los territorios artificializados, tienen valores de entre el 2% y 4% durante todos los años de estudios, esta cobertura se debe a una vía y construcción presentes dentro de la reserva y la variación de cobertura que se presenta puede deberse a la interpretación que realizó el software para cada año. Por otro lado, las superficies de agua no superan el 0.5% de cobertura, e incluso en algunos años, no se detectó esta clase.

Análisis de las coberturas terrestres en la Zona de influencia

En la Tabla 4 se presenta el consolidado de las coberturas terrestres en el polígono de la zona de influencia, en el cual se puede visualizar el área y porcentaje de cada una de las coberturas para cada año. Por otro Figura 11 lado la presenta el comportamiento de cada una de las categorías en el período de estudio.

Tabla 4.

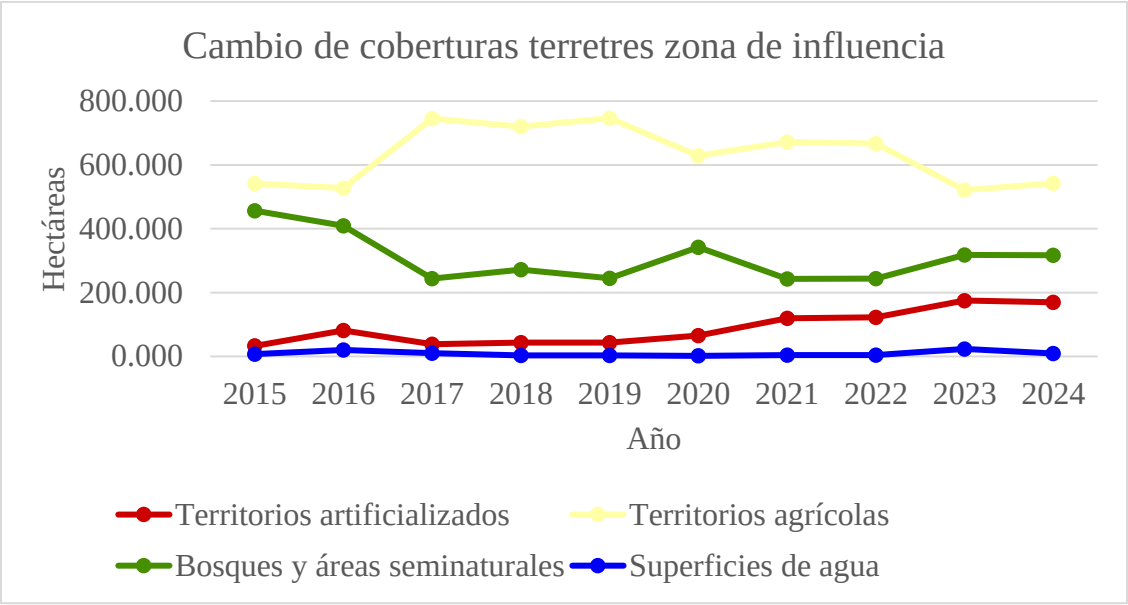
Consolidado coberturas terrestres zona de influencia

COBERTURAS TERRESTRES ZONA DE INFLUENCIA											
Categoría Corine Land Cover		**Hectáreas Coberturas Terrestres por año**									
		2015	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Territorios artificializados	ha	32,911	81,549	38,546	43,742	43,401	65,235	119,589	122,565	175,193	169,896
	%	3,2%	7,9%	3,7%	4,2%	4,2%	6,3%	11,5%	11,8%	16,9%	16,4%
Territorios agrícolas	ha	541,566	527,169	745,510	719,634	746,462	628,509	671,746	667,173	521,085	542,403
	%	52,2%	50,8%	71,8%	69,3%	71,9%	60,5%	64,7%	64,3%	50,2%	52,2%
Bosques y áreas seminaturales	ha	456,622	409,347	244,189	271,650	244,873	342,627	242,946	244,122	318,270	316,591
	%	44,0%	39,4%	23,5%	26,2%	23,6%	33,0%	23,4%	23,5%	30,7%	30,5%
Superficies de agua	ha	7,084	20,117	9,938	3,157	3,446	1,812	3,902	4,323	23,636	9,490
	%	3,3%	8,3%	3,8%	4,4%	4,3%	6,7%	13,0%	13,3%	19,8%	19,4%

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Figura 11.

Gráfica cambio de coberturas terrestres zona de influencia



Fuente: (Elaboración propia, 2025)

En el caso de la zona de influencia, la clase 1 (territorios artificializados) presenta cambios significativos en la cobertura. Para el año inicial, 2015, esta cobertura representa el 3,2% del territorio; en el año 2016 se observa un leve aumento al 7,9%, el cual no se mantiene; para los años 2017, 2018, 2019 y 2020 se evidencia que inicia una tendencia ascendente leve con 3,7%, 4,2%, 4,2% y 6,3% respectivamente; a partir del año 2021 esta cobertura presenta un cambio considerable aumentando un 5,2% respecto al año anterior, es decir 11,5%, esté comportamiento se mantiene hasta 2022 con el 11,8%; para el año 2023 vuelve a presentarse un aumento significativo del 5,1%, en otros términos, esta cobertura llega a 16,9%; finalmente, para el año 2024 esta clase tiene una cobertura del 16,4%, siendo los dos últimos años, los que registraron los mayores valores para esta clase.

Para la clase 2 (territorios agrícolas), en la zona de influencia se presentan los siguientes cambios: en los dos primeros años del estudio, 2015 y 2016, esta clase predomina con el 52,2% y 50,8% del territorio; para el año 2017 presenta un aumento significativo del 21,03% respecto al año anterior, con el 71,8%; durante los dos años siguientes 2018 y 2019, esta cobertura no presenta mayores cambios con el 69,3% y 71,9% respectivamente; en el año 2020, esta cobertura disminuye al 60,5%; para el año 2021 aumenta levemente a 64,7% y se mantienen cercano a este valor, presentando en el año 2022 el 64,3%; posteriormente, para el año 2023, se presenta una disminución del 14,07% con una cobertura del 50,2%; finalmente, esta clase presenta para el año 2024 una cobertura del 52,2%.

En la clase 3 de la zona de influencia se presenta el siguiente comportamiento: la cobertura inicia con el 44% de superficie para el año 2015; para el año 2016 esta cobertura disminuye 4,6%, quedando con el 39,4%; en el año 2017 se presenta un descenso relevante del 15,9%, dejando a esta cobertura con el 23,5%; los años 2018 y 2019 no presentan cambios significativos, con el 26,2% y 23,6% de cobertura respectivamente; para el año 2020 se evidencia un aumento importante del 9,4%, dejando a esta cobertura con el 33%, cambio que no se mantuvo, puesto que para 2021 volvió a descender al 23,5%, el cual se sostuvo hasta 2022 con el 23,5%; para el año 2023 volvió a incrementarse en 7,14%, llegando al 30,7%; finalmente, en 2024, se registró la cobertura de esta clase en 30,5%.

En la zona de influencia, la clase con mayor cobertura son los territorios agrícolas, presentando en los dos primeros años valores cercanos al 50%. Mientras que los bosques y áreas seminaturales estaban cercanos al 40%, al tiempo que, los territorios artificializados, tenían un porcentaje mínimo. En los tres años posteriores se observa cómo se pierde territorio de bosques y

áreas seminaturales y se gana territorio agrícola, por lo cual, se puede inferir que los habitantes convirtieron zonas boscosas en zona de cultivos, durante este período los territorios artificializados no mostraron cambios significativos.

A partir del 2020 se observa la siguiente tendencia: por un lado, se observa que los territorios agrícolas descienden considerablemente, mientras que, los territorios de bosques y áreas naturales aumentan levemente; por otro, los territorios artificializados aumentan de manera significativa. La clase 5 en la zona de influencia no presentó cambios significativos, manteniendo valores oscilantes entre el 0,3% y 2,3% en el período de estudio.

Con base a lo anterior es apropiado afirmar que el comportamiento de las coberturas terrestres de la reserva y la zona de influencia es diferente. En la reserva se presenta una transición de los territorios agrícolas hacia los bosques y áreas seminaturales, mientras que, los territorios artificializados y superficies de agua no tienen impactos significativos.

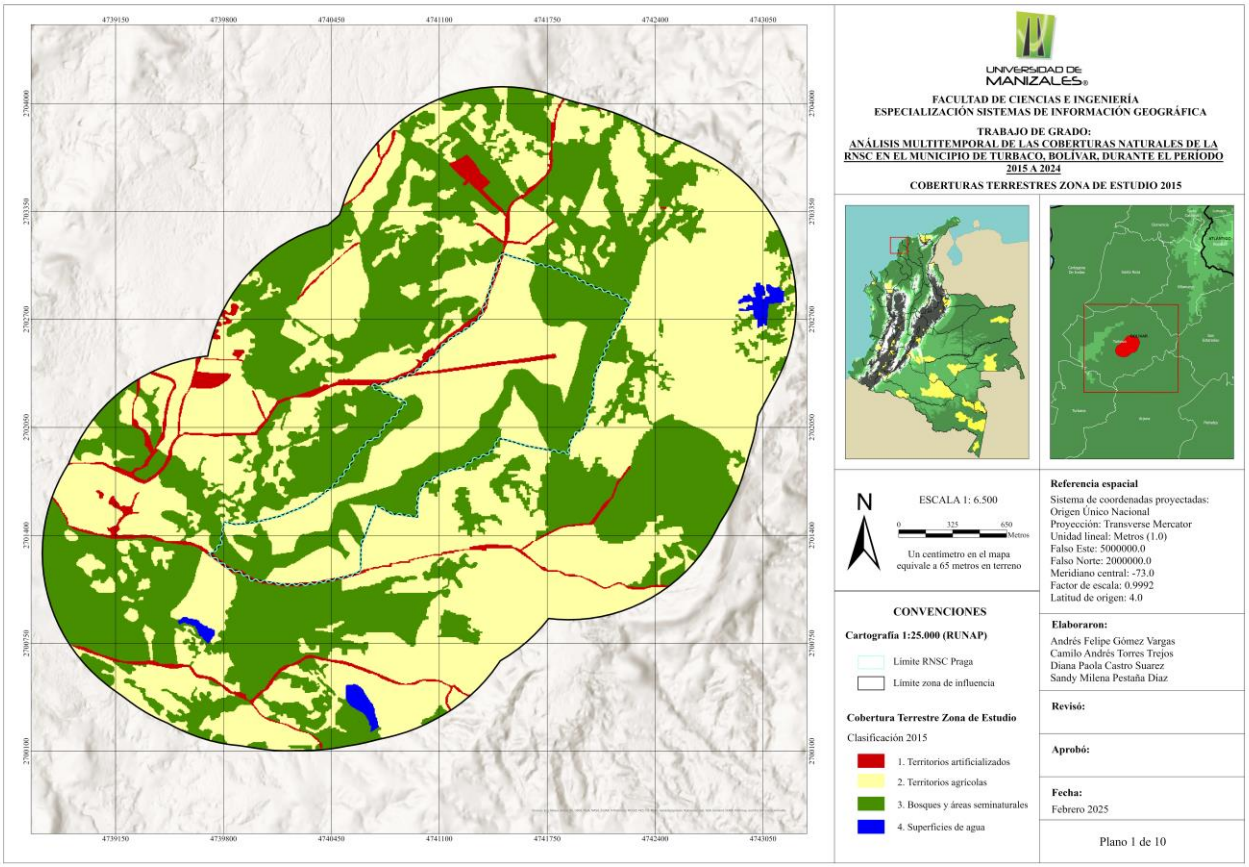
En la zona de influencia, en los primeros años, los bosques y áreas seminaturales han perdido terreno que se convirtió en territorios agrícolas, mientras que los territorios artificializados mantienen un comportamiento constante; sin embargo, en los últimos años, los territorios agrícolas perdieron terreno, siendo una parte para territorio de bosques y áreas seminaturales y la otra para territorios artificializados.

De esta manera es posible indicar que el comportamiento de las coberturas dentro de la reserva y en la zona de influencia son distintos: mientras que en la reserva, se identificaron cambios significativos en las coberturas agrícolas y bosques seminaturales, siendo evidente una transición hacia la conservación de las áreas naturales; en la zona de influencia se observaron transformaciones más marcadas en los territorios artificializados.

En la Figura 12 y Figura 13se presentan los mapas de las coberturas terrestres para el año 2015 y 2024 respectivamente, permitiendo identificar el cambio de las coberturas tanto en el polígono de la reserva como en la zona de influencia.

Figura 12.

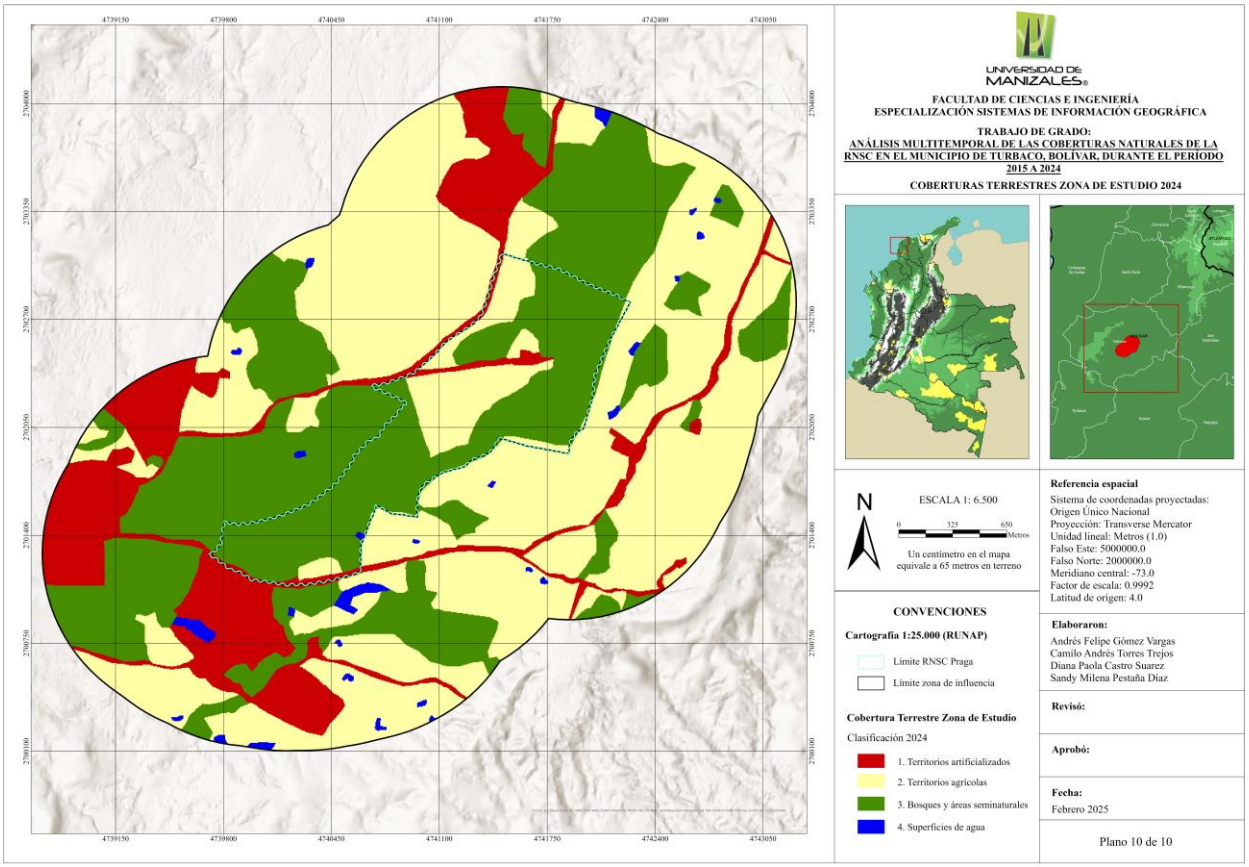
Coberturas terrestres año 2015



Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Figura 13.

Coberturas terrestres año 2024



Fuente: (Elaboración propia, 2025)

7.2 Influencia de las actividades antrópicas en las coberturas naturales de la RNSC Praga

El análisis multitemporal de la RNSC Praga y su zona de influencia permitió identificar patrones de transformación en las coberturas naturales, directamente influenciados por las actividades antrópicas. A lo largo del período 2015-2024, se evidenció que las dinámicas del uso del suelo dentro del área han estado marcadas por una transición progresiva desde los territorios agrícolas hacia una mayor presencia de bosques y áreas seminaturales, mientras que en el área

adyacente la urbanización y el desarrollo de infraestructura han ejercido una presión significativa sobre los ecosistemas.

Dentro de la reserva, el comportamiento inversamente proporcional entre los territorios agrícolas y las coberturas boscosas refleja el efecto de las estrategias de conservación implementadas a partir de 2019, cuando se formalizó su categoría como área protegida. Durante los primeros años del análisis, más de la mitad del área estaba destinada a actividades agropecuarias, incluyendo cultivos de frutales, maíz y yuca, así como la rotación de potreros para la ganadería, de acuerdo con la Resolución No. 116 de 2019. Sin embargo, a partir del registro oficial de la reserva, se observa una reducción sostenida en la extensión de los territorios agrícolas, lo cual sugiere una transición exitosa hacia la restauración ecológica, impulsada por el manejo sostenible del territorio y la implementación de prácticas de conservación.

No obstante, la relación entre las actividades humanas y las coberturas naturales no puede analizarse de manera aislada, ya que la zona de influencia de la reserva presenta una dinámica contrastante, en la medida en que, de acuerdo a los resultados obtenidos, la expansión de los territorios artificializados es un indicador claro del impacto antrópico en los ecosistemas circundantes. Dicho incremento exponencial se asocia con el crecimiento de infraestructura vial y asentamientos urbanos en los alrededores de la reserva, lo que ha contribuido a la fragmentación del paisaje y la reducción de la conectividad ecológica. De manera paralela, los bosques y áreas seminaturales en el área circundante han disminuido en un 13,49% durante el período de estudio, lo que refuerza la hipótesis de que la expansión antrópica está comprometiendo la estabilidad ecológica de los ecosistemas adyacentes a la RNSC Praga.

El comportamiento diferenciado de las coberturas terrestres dentro del área de estudio y su entorno inmediato evidencia la efectividad de los esquemas de conservación en áreas protegidas de esta categoría de conservación, pero también resalta la vulnerabilidad de los ecosistemas circundantes ante la falta de planificación territorial y la intensificación de actividades humanas. La fragmentación del hábitat y la conversión de bosques a usos urbanos y agrícolas comprometen la funcionalidad de la reserva como corredor ecológico, reduciendo su capacidad para sostener procesos ecológicos clave y mantener poblaciones de fauna en equilibrio. Esta problemática es consistente con los hallazgos de estudios previos, como el de Cuéllar (2024), quien identificó que, en zonas con alta presión antrópica, la expansión agrícola y urbana representa el principal factor de pérdida de coberturas boscosas y degradación de los servicios ecosistémicos.

A pesar de la recuperación observada dentro de la reserva, es necesario considerar que la presión externa sobre la zona de influencia puede limitar la sostenibilidad de estos procesos en el largo plazo, ya que el incremento de infraestructura, junto con el cambio de uso del suelo, podría generar efectos de borde que alteren la calidad del hábitat y comprometan la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas. En este sentido, la interacción entre la conservación privada y la planificación territorial a nivel regional debe fortalecerse, priorizando estrategias que mitiguen la fragmentación del paisaje y promuevan la conectividad ecológica.

Por consiguiente, los resultados obtenidos reflejan que, si bien la RNSC Praga ha logrado consolidarse como un espacio de conservación efectiva dentro de sus límites, el entorno inmediato enfrenta un proceso acelerado de transformación debido a la expansión urbana y agrícola, lo cual demuestra que la gestión del territorio debe considerar no solo la preservación interna de las reservas naturales, sino también el manejo integrado del paisaje circundante para

garantizar la funcionalidad de los ecosistemas y la sostenibilidad de los servicios ambientales que estos proveen. Así, los resultados reflejan que la implementación de estrategias de conservación a escala regional, la regulación del crecimiento urbano y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles resultan fundamentales para mitigar los impactos antrópicos y fortalecer la resiliencia ecológica de la reserva y su zona de influencia.

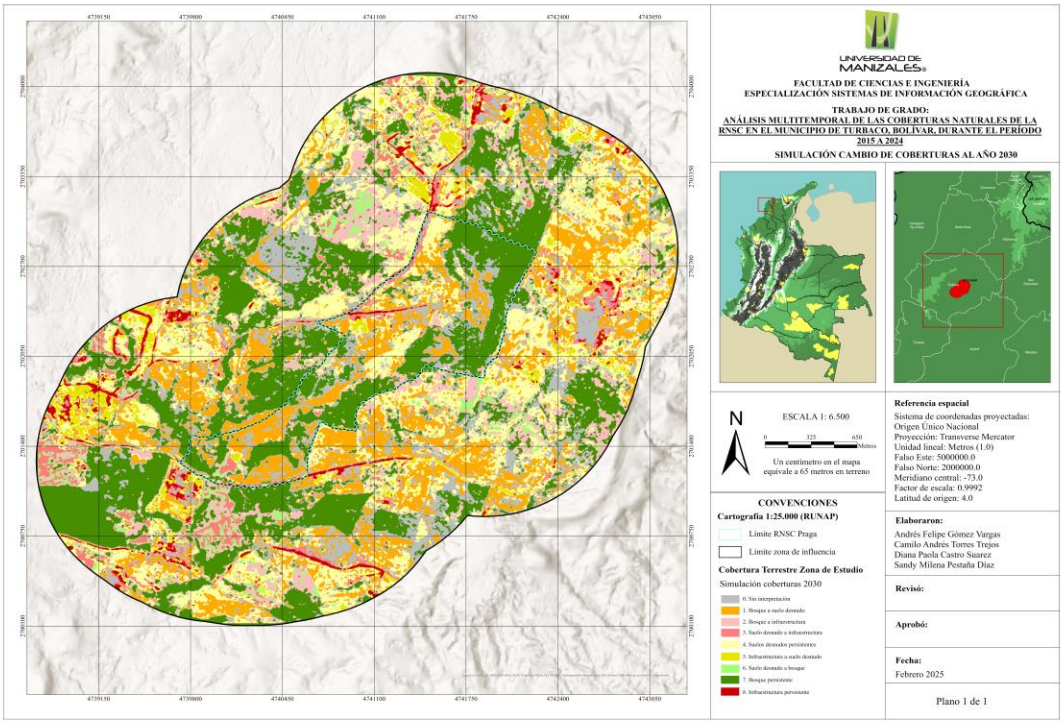
7.3 Análisis del cambio de coberturas según los resultados de la simulación

El resultado final de la simulación es un archivo tipo ráster (TIFF) con el sistema de coordenadas del Origen Único Nacional, en el cual cada pixel tiene asignado una clasificación. De tal modo que, los resultados de la simulación tienen tres probabilidades: primera, en donde no fue posible identificar la transición de la cobertura; segunda, la probabilidad que una cobertura se transforme en otra; y tercera, cuando cobertura conserva su clasificación inicial.

En este caso, el software identificó nueve categorías: Sin interpretación, son los datos a los cuales no puedo establecer una transición apropiada, de modo que para mitigar errores, no le asignó ninguna categoría; Bosque a suelo desnudo; Bosque a infraestructura; Suelos desnudos persistentes; Suelos desnudos persistentes; Infraestructura a suelo desnudo; Suelo desnudo a bosque; Bosque persistente; Infraestructura persistente (Figura 14).

Figura 14.

Resultados cambio de coberturas por simulación al año 2023



Fuente: (Elaboración propia, 2025)

La Tabla 5 presenta la cantidad el área de cada categoría definida por la simulación tanto en la reserva como en la zona de influencia. Dentro de la reserva se observa para el año 2030 que los bosques proyectan abarcar una cobertura de 41.4%, mientras que los suelos desnudos un área total de 35.8%, por otro lado los territorios artificializados van a continuar presentando una cobertura mínima del 3.1%. Lo cual refuerza que, de implementarse estrategias efectivas la conservación podrá continuar un proceso favorable.

En el caso de la zona de influencia, la categoría que según la simulación predominará el área será la del suelo desnudo con el 43.3%, mientras que los bosques y áreas seminaturales

estarán en el 35.9%, por otro lado, los territorios artificializados pueden llegar a alcanzar el 20.8%. Lo anterior, según las estimaciones demuestra un fuerte crecimiento en los territorios agrícolas y artificializados lo cual puede ocasionar la fragmentación de los bosques existentes.

Tabla 5.

Resultados cambio de coberturas por simulación al año 2023

Código	Nombre de código	Hectáreas de cambio		
		Reserva	Zona de influencia	Total área de estudio
0	Sin interpretación	32,730	147,662	180,391
1	Bosque a suelo desnudo	37,468	170,234	207,702
2	Bosque a infraestructura	6,657	96,827	103,484
3	Suelo desnudo a infraestructura	3,898	46,938	50,837
4	Suelos desnudos persistentes	20,647	243,875	264,522
5	Infraestructura a suelo desnudo	1,459	35,204	36,663
6	Suelo desnudo a bosque	1,094	31,401	32,495
7	Bosque persistente	61,079	244,733	305,812
8	Infraestructura persistente	1,320	21,309	22,629

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

7.4 Estrategias efectivas para la conservación y uso sostenible de las coberturas naturales en la RNSC Praga

La reserva presenta un proceso de restauración ecológica con un gran potencial. No obstante, para asegurar su éxito, es fundamental la intervención de factores externos que impulsan este desarrollo. Esto puede lograrse a través de la implementación de estrategias efectivas de conservación que fortalezcan y aceleren la recuperación del ecosistema. Estos hallazgos sustentan las siguientes estrategias:

7.4.1 Protección de los bosques persistentes

El análisis demostró que los bosques persistentes representan una proporción significativa del área estudiada (61,079 ha en la reserva y 244,733 ha en la zona de influencia). Esta cobertura

es fundamental para mantener la biodiversidad, regular el ciclo hidrológico y mitigar los efectos del cambio climático. Ante este escenario, es esencial establecer un programa robusto de vigilancia y monitoreo de estas áreas mediante herramientas SIG, lo que permitirá identificar posibles amenazas en tiempo real. Además, la implementación de incentivos como el pago por servicios ambientales (PSA) puede fortalecer la cooperación con comunidades locales, garantizando la conservación de estos ecosistemas.

En otras palabras, los bosques persistentes requieren estrategias que estén alineadas con las directrices de gestión sostenible establecidas por autores como Ashes (2021), quien enfatiza el valor de los bosques secundarios y su rol en la resiliencia frente al cambio climático. Basados en este marco, las estrategias de monitoreo mediante SIG y el incentivo a la conservación a través de pagos por servicios ambientales reafirman la efectividad al tratarse de estrategias fundamentales para garantizar no solo la integridad ecológica de los ecosistemas presentes en la reserva, sino que también para asegurar el cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad a largo plazo, generando beneficios tangibles para las comunidades locales y la biodiversidad de la región.

7.4.2 Recuperación de áreas degradadas: restauración ecológica

Las áreas degradadas identificadas en la proyección demandan intervenciones basadas en los principios de restauración ecológica definidos por Parada (2024). Según esta autora, la recuperación debe priorizar especies nativas adaptadas al contexto local, mientras se involucra a las comunidades en programas de restauración activa. Además, la educación ambiental desempeña un papel crucial para garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

Bajo este contexto, las transiciones de "Bosque a suelo desnudo" revelan procesos de degradación significativos, afectando 37,468 ha en la reserva y 170,234 ha en la zona de influencia, es así como estas áreas requieren intervenciones prioritarias para su recuperación. Por consiguiente, se sugiere implementar programas de restauración activa mediante la reforestación con especies nativas, las cuales aseguran la resiliencia del ecosistema, paralelamente, la restauración pasiva puede ser una alternativa en zonas con menor presión antrópica. Adicionalmente, se sugiere articular estas acciones con procesos educativos que sensibilicen a las comunidades sobre la importancia de proteger y restaurar el entorno natural.

7.4.3 Regulación de la expansión de infraestructura: ordenamiento territorial

La expansión de infraestructura, reflejada en 6,657 ha en la reserva y 96,827 ha en la zona de influencia, supone una amenaza creciente para los ecosistemas, por lo que resulta imperativo fortalecer las normativas locales de ordenamiento territorial, definiendo límites claros para las actividades urbanas y agrícolas en áreas críticas para la conservación. Complementariamente, la creación de zonas de amortiguamiento con actividades sostenibles puede reducir la presión sobre los ecosistemas y fomentar un desarrollo compatible con los objetivos de conservación.

Lo anterior tomando como base lo estipulado Montes (2001), quien establece que el ordenamiento territorial participativo, complementado con políticas de desarrollo sostenible, puede mitigar los efectos negativos de la urbanización. Así, se recomienda integrar criterios ecológicos en los planes de ordenamiento territorial locales y fomentar el uso sostenible de las zonas de amortiguamiento.

7.4.4 Fomento de la reconversión de suelos desnudos a bosques: oportunidad estratégica

La transición positiva de "Suelo desnudo a bosque" (1,094 ha en la reserva y 31,401 ha en la zona de influencia) representa una oportunidad significativa para consolidar esfuerzos de restauración. En línea con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2011), para capitalizar esta tendencia, es necesario impulsar sistemas agroforestales como una estrategia que combina sostenibilidad económica con restauración ambiental, como por ejemplo, la instalación de viveros locales garantizará la disponibilidad de especies nativas y fomentará la participación comunitaria. Asimismo, la capacitación en técnicas de restauración ecológica fortalecerá la implementación de estas prácticas.

7.4.5 Gestión sostenible de suelos desnudos persistentes: manejo sostenible

La persistencia de suelos desnudos en extensas áreas (20,647 ha en la reserva y 243,875 ha en la zona de influencia) indica la necesidad de una intervención integral en la medida en que estas zonas deben ser manejadas mediante técnicas de estabilización del suelo, como el establecimiento de coberturas vegetales temporales. Además, resulta esencial abordar las causas subyacentes de la degradación, promoviendo prácticas agroecológicas que mejoren la productividad del suelo y reduzcan su deterioro.

De esta manera, para abordar la persistencia de suelos desnudos, es necesario adoptar enfoques agroecológicos como los descritos por Cherlinka (2021), quien asegura que las técnicas de conservación del suelo, como el uso de coberturas vegetales, pueden estabilizar estas áreas mientras se mejora su capacidad productiva. Sin embargo, estas estrategias deben acompañarse

de políticas de apoyo técnico y financiero para las comunidades locales de manera que perduren en el tiempo.

7.4.6 Monitoreo y modelación continua: SIG y modelación predictiva

El uso de herramientas SIG para el monitoreo continuo y la modelación predictiva, como las empleadas en este proyecto, se convierte en un elemento transversal para todas las estrategias propuestas. Complementariamente, los mapas generados, junto con las predicciones al 2030, deben actualizarse periódicamente para ajustar las acciones de conservación a las dinámicas observadas, ya que según Vega et al. (2021), estas tecnologías permiten evaluar la efectividad de las estrategias implementadas y realizar ajustes en función de los cambios observados, siendo este un enfoque basado en evidencia que a su vez permitirá una gestión adaptativa y efectiva de las coberturas naturales.

7.5 Discusión

Los resultados del análisis multitemporal reflejan un indicador positivo para la reserva en términos de conservación y restauración ecológica. El estudio, llevado a cabo a lo largo de una década, se diseñó estratégicamente para evaluar los cambios en las coberturas terrestres antes y después del reconocimiento formal de la reserva en 2019.

Previo al año 2019, la reserva y la zona de influencia presentaban un comportamiento similar respecto a sus coberturas terrestres, la tendencia era clara en ambos campos de estudio: las coberturas denominadas bosques y áreas seminaturales estaban disminuyendo, comportamiento inversamente proporcional a la cobertura de territorios agrícolas, los cuales

estaban en aumentando exponencialmente, por otro lado, los territorios artificializados y superficies de agua no presentaban cambios significativos.

Sin embargo, posterior al registro legal de la reserva, dentro de la misma se comenzó a evidenciar un cambio alentador; las coberturas de bosques y áreas seminaturales estaban en aumento de extensión superficial, mientras que los territorios agrícolas decrecieron significativamente. Contrario a este comportamiento, en la zona de influencia se observa que los territorios de bosques y áreas continuaron disminuyendo, mientras aumentaban los territorios agrícolas y artificializados.

Con esto es posible determinar que, tal como mencionó Quesada (2002) los bosques desaparecen debido a actividades antrópicas, sin embargo, si se inician actividades de conservación en estas áreas, es posible lograr la recuperación de áreas degradadas mediante un proceso natural. Asimismo, refuerza la idea de Rengifo et al (2012) de la importancia de incluir políticas gubernamentales que permitan no solo la conservación y restauración ecológica, sino la integración de la comunidad en políticas ambientales del gobierno.

De los resultados obtenidos, es posible identificar que las actividades antrópicas que más impactaron y causaron la pérdida de cobertura de bosques y áreas seminaturales en la reserva fueron: la ganadería, levante de ceba, manejo de cultivos frutales y producción agrícola; en la zona de influencia, sumado a estas actividades, la creciente instalación de infraestructura ha reducido las coberturas de bosques.

No obstante, dentro de la reserva, es posible evidenciar que, si bien se han continuado actividades principalmente de manejo de cultivos y producción agrícola, ha sido posible encontrar un equilibrio entre las producciones de este tipo y la conservación, de manera que, en

los últimos 5 años, aunque perduran algunos territorios agrícolas, las coberturas boscosas están en aumento. Las bases de este equilibrio pueden estudiarse y replicarse no solo en la zona de influencia sino, en varias zonas del territorio nacional que se encuentren en procesos de restauración ecología.

Se destaca el uso de herramientas de los SIG para la toma de decisiones. En este caso de estudio en particular, se hizo uso del software TerrSet mediante el módulo Land Change Modeler (LCM) para simular las posibles coberturas terrestres para el año 2030.

Con base a los resultados obtenidos de la simulación, se identificó que para el año 2030 los bosques y áreas seminaturales seguirán siendo una cobertura dominante, sin embargo, se enfrentan a riesgos de fragmentación. Asimismo, se evidencia una recuperación de áreas degradadas, sin embargo, para obtener un resultado efectivo se requiere de intervenciones adicionales.

De modo que, es correcto decir que la reserva tiene un proceso de restauración ecológico prometedor, sin embargo, para lograr un resultado deseado es necesaria la intervención de factores externos que alienten este proceso, esto se puede lograr mediante la implementación de estrategias efectivas para la conservación.

8. Conclusiones

Este estudio permitió analizar los cambios en las coberturas naturales de la RNSC Praga y su zona de influencia durante el período 2015-2024, proporcionando información clave sobre las dinámicas del territorio y su relación con las actividades humanas; permitiendo además, evidenciar que, mientras la reserva logró una recuperación significativa de bosques y áreas seminaturales, en su zona de influencia se observó una tendencia contraria, con un aumento en los territorios artificializados y una reducción en la cobertura boscosa.

En la identificación de cambios en las coberturas naturales, se constató que los bosques dentro de la reserva pasaron de representar el 41,72% del área en 2015 al 70,67% en 2024, mientras que los territorios agrícolas se redujeron del 56,25% al 25,04%, siendo estos resultados un reflejo de la efectividad en las estrategias de conservación implementadas tras el reconocimiento formal de la reserva en 2019. Sin embargo, en la zona de influencia, la expansión de áreas artificializadas (del 3,17% en 2015 al 16,36% en 2024) evidenció la creciente presión antropogénica sobre el ecosistema circundante, destacando la necesidad de acciones complementarias fuera del polígono protegido.

De modo que es posible afirmar que los resultados obtenidos subrayan la interacción directa entre las actividades antrópicas y las dinámicas de las coberturas terrestres tanto en la reserva como en su zona de influencia; en la medida en que, mientras que la RNSC Praga demuestra que es posible mitigar el impacto humano mediante estrategias de manejo efectivo, la zona de influencia requiere una intervención más estructurada para frenar el avance de los territorios artificializados y promover prácticas sostenibles que permitan un equilibrio entre el desarrollo humano y la conservación de los ecosistemas, resaltando así la necesidad de enfoques

integrados que consideren no solo las dinámicas internas de las áreas protegidas, sino también los factores externos que afectan sus entornos inmediatos.

El análisis de la influencia de las actividades antrópicas, evidenció que la transición de tierras agrícolas a bosques dentro de la reserva es una estrategia viable para la restauración ecológica, siempre que se gestionen de manera sostenible las prácticas productivas presentes, como la ganadería de levante y ceba, así como el cultivo de frutales y productos agrícolas. No obstante, en la zona de influencia, la falta de regulación en el uso del suelo ha generado impactos negativos, como la fragmentación del hábitat y la reducción de la conectividad ecológica, dificultando el flujo de especies y afectando los servicios ecosistémicos de la región.

La proyección de coberturas terrestres para el año 2030 permitió anticipar posibles escenarios de cambio y fundamentar estrategias de conservación más efectivas. Los resultados de la modelación predictiva sugieren que, si bien la reserva continuará albergando coberturas boscosas significativas, existe un riesgo de fragmentación debido a la expansión de infraestructura en su entorno. Para mitigar estos efectos, se vuelve necesario fortalecer la restauración ecológica en áreas vulnerables, establecer corredores biológicos y promover estrategias de monitoreo basadas en indicadores ambientales.

Finalmente, este estudio reafirma que el manejo ambiental en propiedades privadas es una estrategia eficaz para la protección de ecosistemas, pero su éxito depende de una gestión territorial integrada. Por otro lado, la presión antrópica sobre las áreas protegidas, evidenciada en estudios previos, se reflejó en los resultados obtenidos, destacando la importancia de estrategias adaptativas. En este contexto, los SIG fueron fundamentales para el análisis multitemporal y la proyección de cambios en la cobertura del suelo ya que herramientas como ArcGIS Pro,

utilizado para la clasificación supervisada, y TerrSet - Land Change Modeler (LCM), aplicado en la proyección al 2030, permitieron evaluar tendencias espaciales con precisión, mientras que las imágenes de Planet Scope facilitaron el monitoreo de la evolución de la cobertura vegetal. Es así como cabe reiterar que, estos resultados respaldan y refuerzan la necesidad de integrar SIG en la planificación y gestión de reservas naturales, garantizando un monitoreo continuo y una toma de decisiones informada para la conservación sostenible del territorio.

9. Recomendaciones

En el contexto del análisis multitemporal realizado sobre la RNSC Praga, se propone un conjunto de recomendaciones dirigidas a los diversos actores involucrados en la gestión, uso y conservación del territorio. Estas acciones tienen como objetivo garantizar la sostenibilidad ambiental, social y económica de la zona, así como mitigar los impactos derivados de la presión antrópica, los cambios en el uso del suelo, la expansión agrícola y la pérdida de coberturas naturales mediante la implementación de tecnologías SIG.

Para garantizar la protección y conservación de las reservas naturales, es esencial implementar modelos basados en SIG que permitan un monitoreo y predicción precisos y en tiempo real. Estos modelos facilitan la recolección, análisis y visualización de datos espaciales, lo que proporciona información clave sobre la biodiversidad, el uso del suelo, la calidad de los recursos hídricos y otros aspectos críticos del ecosistema. Se recomienda integrar el uso de SIG con tecnologías de monitoreo remoto, como drones y satélites, para identificar cambios en la vegetación, el hábitat de especies en peligro, y detectar fenómenos naturales como incendios o inundaciones. Además, estos modelos pueden prever posibles amenazas causadas por el cambio climático o actividades humanas, permitiendo la implementación de estrategias de manejo más eficientes y oportunas (Fund, 2002). Es fundamental promover la capacitación en el uso de SIG para los equipos de conservación y las comunidades locales, garantizando un enfoque colaborativo y sostenible en la gestión de los recursos naturales.

Es conveniente la utilización de imágenes satelitales de alta resolución para el monitoreo y conservación de reservas naturales, debido a su capacidad para proporcionar información precisa, actualizada y detallada sobre los cambios en la cobertura del suelo y el estado de los

ecosistemas. El uso de imágenes satelitales con alta resolución espacial como Planet Scope, permite identificar con precisión la estructura del paisaje y los cambios en la vegetación. Además, su frecuencia de actualización posibilita un seguimiento dinámico de la evolución de la reserva. Asimismo, las capacidades multiespectrales e hiperespectrales de estos sensores permiten evaluar otros aspectos de valor y como proyecto a fututo en el área de estudio, como la salud de la vegetación, la humedad del suelo y la calidad del agua mediante índices como el NDVI.

Se sugiere el uso de modelos predictivos basados en SIG para optimizar el monitoreo y la gestión de reservas naturales, ya que permiten anticipar cambios en los ecosistemas, evaluar amenazas y diseñar estrategias de conservación más efectivas. Estos modelos facilitan la identificación temprana de riesgos como la deforestación y la fragmentación de hábitats, además de permitir la simulación de escenarios futuros mediante herramientas como la utilizada en este estudio (TerrSet). Su aplicación ayuda a priorizar áreas de restauración, optimizar el uso de recursos y evaluar el impacto del cambio climático en la biodiversidad.

Se propone capacitar a comunidades locales en el uso de aplicaciones SIG de ser posible móviles, para reportar en tiempo real cambios ambientales en las reservas naturales. Asimismo, la creación de plataformas abiertas de monitoreo permitirá compartir información de manera transparente y colaborativa entre comunidades, científicos y autoridades. Esta estrategia fortalecerá la vigilancia ambiental, facilitará la identificación temprana de amenazas y optimizará la toma de decisiones para la conservación de los ecosistemas.

Es fundamental establecer un sistema de monitoreo continúo basado en herramientas SIG e imágenes satelitales de alta resolución para evaluar la evolución de las coberturas naturales, por

lo tanto, se recomienda la integración de plataformas alternas para el análisis multitemporal automatizado y la implementación de algoritmos de clasificación supervisada en software como ArcGIS Pro, permitiendo una actualización periódica de los mapas de uso del suelo. Además, la combinación de imágenes ópticas y de radar, proporcionará información más precisa en la detección de cambios, especialmente en áreas con cobertura nubosa frecuente.

Para los tomadores de decisión, es fundamental desarrollar políticas públicas específicas que garanticen la protección de las coberturas naturales más vulnerables, priorizando las áreas con mayor presión antrópica. También se recomienda implementar sistemas de monitoreo basados en tecnologías como sensores remotos e imágenes satelitales, permitiendo una toma de decisiones informada y oportuna.

Los habitantes del territorio tienen un rol crucial en la conservación de la reserva. Por ello, se sugiere la realización de programas educativos enfocados en el manejo sostenible del suelo, la reducción de impactos ambientales y la restauración de ecosistemas.

La academia, por su parte, juega un papel estratégico en el fortalecimiento del conocimiento y las capacidades técnicas relacionadas con la gestión de la reserva. Se recomienda promover investigaciones que profundicen en el estudio de la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y las estrategias de restauración más adecuadas.

Las estrategias de monitoreo mediante SIG y el incentivo a la conservación a través de pagos por servicios ambientales reafirman su efectividad al tratarse de medidas fundamentales para garantizar no solo la integridad ecológica de los ecosistemas presentes en la reserva, sino

también para asegurar el cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad a largo plazo, generando beneficios tangibles para las comunidades locales y la biodiversidad de la región.

Se debe priorizar la protección de los bosques persistentes mediante la implementación de estrategias integrales que combinen la conservación ecológica con el desarrollo sostenible. Esto incluye fortalecer las políticas de manejo forestal basadas en evidencia científica, promover incentivos económicos como los pagos por servicios ambientales, y garantizar el uso de tecnologías avanzadas como los SIG para un monitoreo eficiente. Estas acciones, al tiempo que preservan la biodiversidad, deben fomentar la participación activa de las comunidades locales, asegurando que se generen beneficios sociales y económicos directos, fortaleciendo la resiliencia de los ecosistemas frente al cambio climático (FAO).

Se recomienda implementar un enfoque integral para la recuperación de áreas degradadas en la reserva natural, combinando programas de restauración activa, como la reforestación con especies nativas que refuercen la resiliencia del ecosistema, con estrategias de restauración pasiva en zonas de menor presión antrópica (Bedoya, 2020). Estas acciones deben articularse con procesos educativos que sensibilicen y comprometan a las comunidades locales, promoviendo su participación activa en la protección y restauración del entorno natural.

Se puede implementar políticas y planes de ordenamiento territorial que regulen de manera estricta la expansión de áreas urbanas e infraestructura, promoviendo un desarrollo sostenible que respete los límites ecológicos y la capacidad de carga de los ecosistemas. Esto incluye la planificación de zonas urbanas compactas y el uso eficiente del suelo, priorizando la reactivación de áreas urbanas ya existentes en lugar de la expansión hacia territorios naturales y agrícolas.

Es fundamental que las decisiones de expansión urbana se basen en estudios de impacto ambiental y social, que incluyan la evaluación de los efectos sobre la biodiversidad, los recursos hídricos y las comunidades locales. Además, se debe fomentar la participación ciudadana en el proceso de planificación, asegurando que las comunidades afectadas puedan expresar sus necesidades y preocupaciones.

La aplicación de técnicas de restauración que favorezcan la regeneración natural asistida, donde se combine la reforestación con la protección de la vegetación secundaria y la promoción de la biodiversidad local. Además, se debe garantizar la participación activa de las comunidades locales en el proceso, ofreciendo incentivos y educación ambiental para fortalecer su compromiso y asegurar la sostenibilidad del proyecto (FAO., 2001).

Para proteger y conservar las reservas naturales, es fundamental implementar modelos de monitoreo y predicción que utilicen tecnologías avanzadas como sensores remotos, drones y satélites, junto con inteligencia artificial y machine learning. Estos modelos permiten el monitoreo en tiempo real de los ecosistemas, facilitando la detección temprana de amenazas como incendios, plagas o cambios climáticos. Además, la integración de datos de diversas fuentes y la capacitación de comunidades locales en la recolección de información fortalecerán las acciones de conservación. La transparencia y accesibilidad de estos datos permitirán una gestión colaborativa y eficiente de los recursos naturales, asegurando la protección y sostenibilidad a largo plazo ((CONANP)., 2020)

10. Referencias

Ashes, L. (2021). El papel de los bosques frente al cambio climático. https://www.ashestolife.es/el-papel-de-los-bosques-frente-al-cambio-climatico/

ANLA. (2019). GUÍA PARA LA DEFINICIÓN, IDENTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.

ArcGIS. (2024). ¿Qué es ArcGIS Pro y cómo se compara con ArcMap? Obtenido de https://storymaps.arcgis.com/stories/22af4c95a93e4ca2b63ef858ca91ac76

Barón, G. (2023). El Diseño para la Conservación Ambiental: Métodos, Herramientas y Resultados. Revista Internacional de Sostenibilidad, 27-47.

Bautista, S. M. (2021). Dimensiones y enfoques de valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas. Cuadernos de Desarrollo Rural, vol. 18, Pontificia Universidad Javeriana.

Bedoya, J. &. (2020). Revisión sistemática de estrategias de restauración activa y pasiva ante la pérdida de áreas forestales en países de Latinoamérica. Universidad César Vallejo, 63.

Buendía Rodriguez, E., Vargas Perez, E., Leyva Ovalle, Á., & Terrazas Domínguez, S. (2003). Aplicación de Redes Neuronales Artificiales y técnicas SIG para la predicción de coberturas vegetales. *Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*.

Cartaya, S. Z. (2015). Clasificación supervisada para la selección de zonas de muestreo de especies cinegéticas en el Refugio de Vida Silvestre, Marino y Costero Pacoche, provincia de Manabí, Ecuador. Revista de Investigación, Vol. 39.

Cely, N. &. (2022). Estado de Conservación de las Áreas Protegidas en Colombia y Estrategias para su Conservación. Tunja, Colombia.

Celemin, J., & Arias, M. (2023). Evolución de la cobertura vegetal y área construida en la ciudad de Mar del Plata (Argentina), en el periodo 2018-2022. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

Cherlika, V. (2021). Conservación Del Suelo: Cómo Manejarla E Implementarla. https://eos.com/es/blog/conservacion-del-suelo/

COLCIENCIAS. (s.f.). Manual de Gestión Ambiental. Bogotá D.C.: Con-Ciencia Ambiental

CONANP., C. N. (2020). Actividades de Monitoreo en Áreas Naturales Protegidas.

Congreso de la República de Colombia. Ley 99 de 1993.

Congreso de la República de Colombia. Ley 388 de 1997.

Congreso de la República de Colombia. Ley 1333 de 2009.

Congreso de la República de Colombia. Ley 1448 de 2011.

Congreso de la República de Colombia. Ley 1972 de 2019.

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.

Cuéllar Rodríguez, L. D. (2024). Análisis multitemporal de la expansión de la frontera agrícola en el Parque Natural Municipal La Correntosa y su área de influencia [Tesis de especialización, Universidad de Manizales]. Repositorio Institucional.

Decreto 1076 de 2015. (s.f.).

Domínguez, E. (2009). Conectividad Biológica Y Social Zonas De Influencia De Las Áreas Naturales Protegidas. Serie Conocimientos, 5. https://doi.org/https://www.academia.edu/563934/Zonas_de_influencia_de_las_%C3%A1reas_naturales_protegidas

Eastman, J. R. (2016). TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling System. Clark Labs.

ESA. (2024). Instruments Planet Scope. Obtenido de The European Space Agency: https://earth.esa.int/eogateway/missions/planetscope

FAO, s. (s.f.). Estrategia integral de control a la deforestación y gestión de los bosques naturales. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

FAO. (2001). Efecto de la reforestación con especies nativas sobre la recuperación de bosques, su estructura y diversidad. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Fernández-Mendez, F., Velasco-Salcedo, V. M., Guerrero-Contecha, J., Galvis, M., & Viana Neri, A. (2016). Recuperación ecológica de áreas afectadas por un incendio forestal en la microcuenca Tintales (Boyacá, Colombia). *Colombia Forestal*, 143-160.

Figueredo Fernández, L., Ramón Puebla, A. M., & Barrero Medel, H. (2020). *Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en el área de manejo "Los Números" Guisa, Granma.* Pinar del Río: Revista cubana de ciencias forestales.

Flórez Yepes, G. Y., Rincon Santamaría, A., Cardona C, P. S., & 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. Medellín: DYNA, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Fund, P. (2002). Un Programa de Monitoreo Ecológico para la Reserva de la Biósfera Maya.

García Arévalo, E. A., & Buitrago Molina, D. F. (2022). Análisis Multitemporal y de Fragmentación de la Cobertura de Bosque en el Municipio de San Jacinto, Bolívar. Bogotá D.C.: Universidad Antonio Nariño.

García, E. (2012). Deforestación en Colombia: Retos y perspectivashttps://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/337/KAS%20SOPLA_Deforestacion%20en%20Colombia%20retos%20y%20perspectivas.pdf?sequence=2&isAllowed=y

García Orozco, J. A., Cedillo Gutiérrez, J. G., Juan Pérez, J. I., & Balderas Plata, M. Á. (2012). Proceso de cambio en el uso de suelo de una Microcuenca en el altiplano mexicano. El caso del río San José en el estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). Metodología de la investigación. (5ª ed.) McGrawHill.

Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment, 83(1-2), 195-213. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425702000962

Ibañez Bocanegra, A. J. (2019). *Predicción de los cambios de cobertura y uso de la tierra al año 2026 en la cuenca del Rio Tocache, San Martin.* Tingo Maria : Universidad Nacional Agraria de la Selva.

IDEAM. (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Bogotá D.C., Colombia: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia 1:000.

IDEAM, (2011). Sistemas agroforestales y restauración ecológica como medidas de adaptación al cambio climático en alta montaña, Caso piloto, Proyecto Nacional de Adaptación al Cambio Climático –INAP– componente B, IDEAM y Conservación Internacional, Bogotá, 2011. https://observatorio.epacartagena.gov.co/ftp-uploads/pub-guiasistemasagroforestalesfinal.pdf

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/

Jensen, J. R., y Jensen, R. R. (2016). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective* (4th ed.). Pearson.

Jiménez, Y. &. (2023). Aplicación de modelamientos basados en la clasificación supervisada para mapear direntes tipos de usos de suelos. Padlet.

Londoño Acevedo, A., Ordoñez Gonzalez, L. V., & Paramo Campos, L. J. (2024). *Identificación de Áreas Vulnerables a Inundaciones en Supatá Cundinamarca, mediante Técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).* Bogotá D.C.: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Los Sistemas de Información Geográfica. (2006). Geoenseñanza, vol. 11 núm. 1, enero - junio, 107-116.

Martínez García, R. A. (2002). Análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la Reserva Biológica de Yuscarán, El Paraíso, Honduras. Honduras: Zamorano, Carrera de Desarrollo Económico y Ambiente.

Meléndez Salazar, G. (2024). Análisis multitemporal de la dinámica de coberturas en el manglar del estero de Puntarenas mediante la teledetección para el período 1974-2024.

Minambiente. (2021). Informe de gestión. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/INFORME_GESTION_MINAMBIENTE_2020.pdf

Minambiente. (s.f.). Obtenido de https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistematicos/ecosistemas-estrategicos

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. Decreto 2372 de 2010.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 1526 de 2012.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 1517 de 2012.

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (2021). *Anexo 1 Convocatoria nacional para el reconocimiento y medición de grupos de investigación, desarrollo tecnológico o de innovación y para el reconocimiento de investigadores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación – 2021*.

Molina Pereira, Y. A. (2019). La reforestación como estrategia ambiental para la conservación de ríos y quebradas. *Revista Scientific*.

Montes, P. (2001). El ordenamiento territorial como opción de políticas urbanas y regionales en América Latina y el Caribe. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/2f8097a3-c34d-4ebc-b115-afac7e34b265/content

Muñoz, D. L. (2019). Impacto de la Pérdida de la Vegetación sobre las Propiedades de un Suelo. Terra Latinoamericana, vol. 27, núm. 3, julio-septiembre, 237-246.

Ortiz Rojas, E. J. (2020). *Análisis de los cambios de cobertura del suelo en el departamento del Guaviare en los años 2002 - 2018 y estimación para el año 2030.* Bogota D.C.: Universidad Militar Nueva Granada.

Palacios Orejuela, I. F., & Arellano Pérez, K. D. (2021). Modelo predictivo del cambio de cobertura forestal en el área de conservación municipal Quílamo –Cantón Morona. *Revista GEOESPACIAL*, 01-13.

Parada, N. (2024). *Educación Ambiental: Una Estrategia Aliada de la Reforestación*. https://www.reddearboles.org/noticias/nwarticle/738/1/educacion-ambiental-una-estrategia-aliada-de-la-reforestacion

Peñaloza Miranda, L. K., Carvajal S., F. A., & Hernández Pérez, N. J. (2020). *Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal de la microcuenca el volcán a partir de la compra de áreas estratégicas.* Pamplona: Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo.

Pineda, J., Cabrera, A., & Morales, L. (2018). Evaluación de los cambios de cobertura del suelo mediante sensores remotos en Colombia. *Revista Geográfica Colombiana, 25*(3), 45-58.

Pineda, L., Gómez, A., & Martínez, R. (2018). Análisis de transiciones en coberturas del suelo mediante matrices de cambio: Aplicaciones del Land Change Modeler. *Revista de Gestión Ambiental*, 12(3), 45-58.

PNUMA. (2024). Iniciativas en África, América Latina, Asia Meridional y Oriente Medio reconocidas como referencia de mejores prácticas para revertir la degradación de los ecosistemas. Nairobi, Kenia.

Poveda, Y. B. (2022). Evaluación de métodos de clasificación supervisada para la estimación de cambios espacio-temporales de cobertura en los páramos de Merchán y Telecom, Cordillera Oriental de Colombia. Boletín de Geología, 51-72.

Quesada Mongue, R. (2002). Recuperación de áreas degradadas por medio de un proceso natural: el bosque secundario. *Tecnología en Marcha*, Vol. 15 No. 4.

Quinero, M. y Arias, F. (2015). Conservación de la naturaleza en propiedad privada: las Reservas Naturales de la Sociedad Civil en el Valle del Cauca. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-30532016000100002

Rao, E., Maciel, N. y Sterling, E. (2009). Protected Areas and Biodiversity Conservation II: Management and Effectiveness. https://www.researchgate.net/publication/259266417_Protected_Areas_and_Biodiversity_Conservation_II_Management_and_Effectiveness

Rengifo Rengifo, B. A., Quitiaquez Segura, L., & Mora Córdoba, F. J. (2012). La educación ambiental como una estrategia pedagógica que contribuye a la solución de la problemática ambiental en Colombia. *XII Coloquio de Geocrítica*.

Romero-Mieres, M., Gonzáles, M., & Lara, A. (2014). *Recuperación natural del bosque siempreverde afectado por tala rasa y quema en la Reserva Costera Valdiviana, Chile*. Obtenido de Bosque (Valdivia),: https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002014000300001

Rodríguez, C., & Torres, F. (2015). Uso de SIG y modelación para la conservación ambiental en áreas protegidas. Boletín de Ciencias Ambientales, 20(4), 30-40.

Rodríguez, C., & Torres, F. (2015). Visualización y análisis de cambios en el paisaje con herramientas SIG: El caso de estudio de TerrSet. Revista Colombiana de Geografía, 9(2), 67-82.

Sacristán, F. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. Revista Agua TIC, n°24, 13-41.

Sánchez, J., Domínguez, R., León, M., Samaniego, J., y Sunkel, O. (2019). Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad 70 años de pensamiento de la CEPAL. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e43ad745-6b7d-48e4-a016-b753fdd3b659/content

Sandoval García, R., & González Cubas, R. (2021). *Análisis multitemporal del cambio en la cobertura del suelo en la Mixteca Alta Oaxaqueña.* Ciudad de México: Revista mexicana de ciencias forestales.

Secretaría Distrital de Ambiente. (s.f.). Secretaría de Ambiente Bogotá. Obtenido de ambientebogota.gov.co: https://www.ambientebogota.gov.co/planeacion-ambiental

Sentencia C-221-97. (s.f.). https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/1997/c-221-97.htm

Suárez, K. C. (2016). Validación de la metodología Corine Land Cover (CLC) para determinación espacio-temporal de coberturas: caso microcuenca de la quebrada Mecha (Cómbita, Boyacá), Colombia. Biota Colombiana, vol. 17, núm. 1, 1-15.

Tarazona Coronel, Y. (2015). *Predicción de tierras degradadas a partir del análisis de series temporales del índice mejorado de vegetación y temperatura de superficie de suelo mediante imágenes MODIS - caso estudio Piura.* Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Tlapa, M. B. (2020). Factores del deterioro de las áreas naturales protegidas periurbanas del Valle de Puebla, México. Estudio Demográficos y urbanos.

Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E., & Steininger, M. (2003). Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(6), 306-314. DOI:10.1016/S0169-5347(03)00070-3

UICN. (marzo de 2023). La situación de las áreas protegidas a nivel mundial, a debate en un encuentro de la UICN esta semana. Obtenido de https://iucn.org/es/articulo/202303/la-situacion-de-las-areas-protegidas-nivel-mundial-debate-en-un-encuentro-de-la

UNEP, I. R. (2024). Panorama de los Recursos Globales 2024.

Vallejo, H., & Medina, J. (2019). Generación de un modelo de predicción espacial de la deforestación en la jurísdicción de Corpochivor para el período 2017-2047 basados en mapas de cobertura y análisis de variables espaciales con Dinamica EGO. *Revista Iberica se Sistemas de Tecnología de Información*, 540-552.

Vega, H., Rozo, H. y Dávila, J. (2021). Estrategias de evaluación mediadas por las tecnologías de la información y comunicación (TIC): Una revisión de bibliografía. DOI: https://doi.org/10.15359/ree.25-2.16

Verburg, P., Asselen, S., Zanden, E. y Stehfest, E. (2012). The representation of landscapes in global scale assessments of environmental change. https://www.researchgate.net/publication/258149929_The_representation_of_landscapes_in_global_scale_assessments_of_environmental_change

Vergara-Buitrago, P. A. (2020). Estrategias implementadas por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia para conservar los páramos. *Ciencias Ambientales* , 167-176.

Von Thaden, J. L. (2020). Dinámica de los cambios en el uso del suelo y cobertura vegetal en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (2006-2016). Revista Mexina de Biodiversidad, vol.91.

Zumaeta Lozano, D. L. (2021). Análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales E Ingeniería*, 81-89.

Anexos

A. Anexo A. Consolidado resultados.xlsx
B. Anexo B. Mapa temático 2015.pdf
C. Anexo C. Mapa temático 2016.pdf
D. Anexo D. Mapa temático 2017.pdf
E. Anexo E. Mapa temático 2018.pdf
F. Anexo F. Mapa temático 2019.pdf
G. Anexo G. Mapa temático 2020.pdf
H. Anexo H. Mapa temático 2021.pdf
I. Anexo I. Mapa temático 2022.pdf
J. Anexo J. Mapa temático 2023.pdf
K. Anexo K. Mapa temático 2024.pdf
L. Anexo L. Mapa temático simulación 2030.pdf