

**Formulación del plan de compensación del medio biótico para la  
Subestación eléctrica “Muiscas” Tunja - Boyacá.**

**Stephany Julieth Avendaño Vega**

**Johan Sebastián Rueda Quecho**

**Diana Marcela Torres Vargas**

**Ana Carolina Mesias Sarasty**

Propuesta de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Especialistas en Sistemas de Información Geográfica.

Director (a):

José Fernando Mejía Correa

Línea de Investigación: 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 geográficas

Manizales, 2025

## Resumen

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo principal la formulación del plan de compensaciones para el componente biótico, con el propósito de mitigar los impactos ambientales generados por determinadas actividades. Este plan se desarrollará siguiendo las directrices establecidas en la guía metodológica emitida por el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible en 2019, y estará alineado con la normativa de la resolución No. 0256 del 2018. En este contexto, el plan buscará identificar las áreas afectadas por los impactos ambientales y proponer medidas de resarcimiento basadas en la implementación de zonas ecológicamente equivalentes. Para lograr esto, se emplearán diversas herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), tales como búsquedas SQL y Model Builder, que permitirán realizar un análisis detallado y preciso de los biomas y ecosistemas que requieren conservación. A través de estas herramientas, se podrá determinar las áreas ecológicas que deben ser restauradas y cuáles pueden servir como compensaciones adecuadas. Adicionalmente, el proyecto contempla la identificación y selección de predios potenciales para llevar a cabo las actividades de restauración, de manera que se logre una recuperación efectiva de los ecosistemas afectados. De este modo, se pretende asegurar que las acciones de compensación sean viables, eficaces y cumplan con los estándares ambientales establecidos, contribuyendo a la conservación y mejora de la biodiversidad en las zonas impactadas, mejorando la calidad de vida de los actores sociales implicados, promoviendo la infraestructura civil y contribuyendo al desarrollo del medio ambiente.

**Palabras clave:** Plan de manejo biótico, Sistemas de Información geográficas, plan de compensación

## Abstract

The main objective of this research project is to design a compensation plan for the biotic component, aimed at mitigating the environmental impacts generated by specific activities. This plan will be developed in accordance with the guidelines set out in the methodological guide issued by the Ministry of Environment and Sustainable Development in 2019, and it will comply with the regulations outlined in Resolution No. 0256 of 2018. In this context, the plan will focus on identifying areas affected by environmental impacts and proposing remedial measures through the implementation of ecologically equivalent zones. To achieve this, various Geographic Information System (GIS) tools will be employed, such as SQL queries and Model Builder, which will enable detailed and precise analysis of the biomes and ecosystems that require conservation. Through these tools, it will be possible to identify the ecological areas that need restoration and determine which can serve as appropriate compensation. Additionally, the project includes the identification and selection of potential plots of land to carry out restoration activities, ensuring effective recovery of the impacted ecosystems. In this way, the project aims to ensure that compensation actions are feasible, effective, and meet the established environmental standards, contributing to the conservation and enhancement of biodiversity in the affected areas, improving the quality of life of the involved social stakeholders, promoting civil infrastructure, and supporting environmental development.

**Keywords: Biotic Management Plan, Geographic Information Systems, Compensation plan.**

# Contenido

	Pág.
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>9</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA.....	9
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	11
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	12
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3. ANTECEDENTES .....</b>	<b>17</b>
<b>4. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL .....</b>	<b>23</b>
4.1 NORMATIVA INTERNACIONAL .....	23
4.2 NORMATIVA NACIONAL.....	24
<b>5. REFERENTE TEÓRICO.....</b>	<b>27</b>
<b>6. METODOLOGÍA .....</b>	<b>32</b>
6.1 ENFOQUE METODOLÓGICO .....	32
6.2 TIPO DE ESTUDIO.....	33
6.3 PROCEDIMIENTO .....	34
6.3.1 <i>Recopilar información secundaria:</i> .....	34
6.3.2 <i>Estimación de cuanto compensar</i> .....	35
6.3.3 <i>Análisis multicriterio para la selección del predio dónde se realizará la compensación.</i> .....	37
6.3.4 <i>Modelo Almacenamiento ANLA</i> .....	39
6.3.5 <i>Plan de compensación del componente biótico</i> .....	40
<b>7. RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
7.1 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN. ....	41
7.2 CÁLCULO DEL ÁREA PARA COMPENSAR.....	41
7.3 MODELO PARA LA SELECCIÓN DEL PREDIO .....	44
7.3.1 <i>Modelo (ModelBuilder):</i> .....	44
7.3.2 <i>Predio de compensación:</i> .....	45
7.4 MODELO DE ALMACENAMIENTO ANLA Y GDB .....	48
7.5 PLAN DE COMPENSACIÓN.....	48

8. CONCLUSIONES.....	50
9. RECOMENDACIONES.....	54
10. REFERENCIAS .....	57

## Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Localización del proyecto</i> .....	9
Figura 2. <i>Enfoques de la investigación</i> .....	33
Figura 3. <i>Tipos de estudios cuantitativos</i> .....	34
Figura 4. <i>Model Builder cálculo del Factor de Compensación</i> .....	42
Figura 5. <i>Coberturas de la Tierra en el área de intervención</i> .....	43
Figura 6. <i>ModelBuilder para la selección ecosistemas equivalentes.</i> .....	44
Figura 7. <i>RNSC La Cabaña.</i> .....	46
Figura 8. <i>ModelBuilder para la selección de predio.</i> .....	47

## Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Tabla de cálculos de valor de compensación MADS</i> .....	36
Tabla 2. <i>Tabla de Criterios para el Análisis Multicriterio</i> .....	37
Tabla 3. <i>Criterios de definición Factor de Compensación</i> .....	42
Tabla 4. <i>Cálculo del área a compensar</i> .....	44

## Lista de símbolos y abreviaturas

### Abreviaturas

Abreviatura	Término
ANLA	Agencia Nacional de Licencias Ambientales
CARs	Corporaciones Autónomas Regionales
CEDENAR	Centrales Eléctricas de Nariño
CORPOBOYACA	Corporación Autónoma Regional de Boyacá
DAA	Diagnóstico Ambiental de Alternativas
EIA	Estudio de Impacto Ambiental
GIZ	Agencia de Cooperación Alemana
IAvH	Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt
ICA	Informes de Cumplimiento Ambiental
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
PMAE	Plan de Manejo Ambiental Específico
RETIE	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas

VII Formulación del Plan de Compensación del Medio Biótico para la Subestación Eléctrica “Muiscas” en la ciudad de Tunja, departamento de Boyacá.

---

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
RNSC	Reserva Natural de la Sociedad Civil
SIG	Sistemas de Información Geográficas
<i>SQL</i>	Structured Query Language
<i>TNC</i>	The Nature Conservancy



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

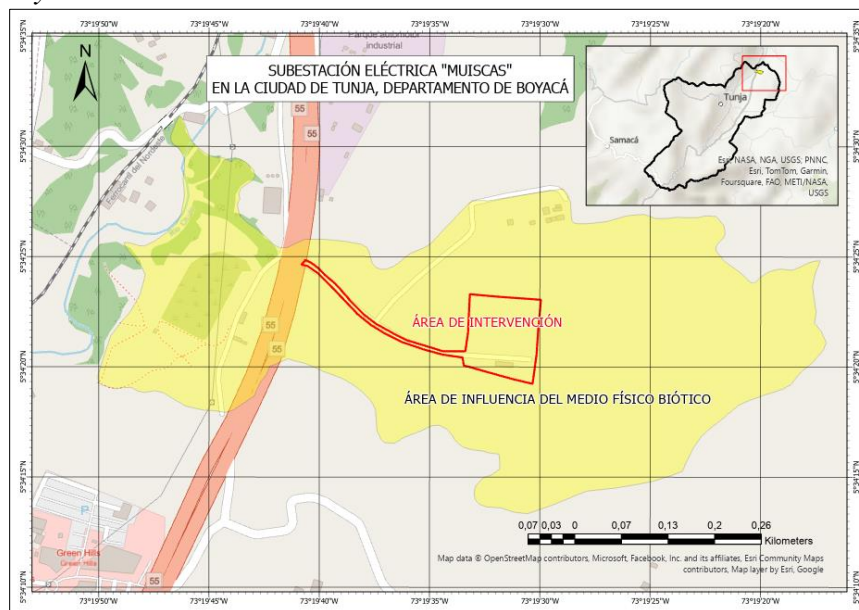
## 1.1 Descripción del área problemática

El proyecto "Subestación Muiscas 115/34,5 KV 40 MVA y reconfiguración de las líneas existentes y futuras" se localiza en la vereda Pirgua, del municipio de Tunja, en el departamento de Boyacá, Colombia. Esta región se encuentra inmersa en un ecosistema de bosque alto andino característicos de los andes orientales colombianos. En la Figura 1 se muestra la localización de la subestación.

- Coordenadas Geográficas:

Las coordenadas aproximadas del área de influencia del proyecto son: Latitud: 5°34'21.38"N, Longitud: 73°19'30.13"O.

**Figura 1.**  
*Localización del proyecto*



*Nota.* Elaborada con información del presente estudio

Esta zona corresponde a un territorio de alta montaña dentro de la Cordillera Oriental de los Andes colombianos, una región que presenta características ecológicas y geográficas muy particulares, lo que la convierte en un área de alto interés para el desarrollo de planes de conservación y compensación biótica.

- **Tipos de Biomas y Ecosistemas**

La región en la que se ubica el proyecto se encuentra dentro de los biomas andinos, con ecosistemas que varían desde los bosques secos montanos hasta los bosques de niebla y páramos de alta montaña. En primer lugar, se describen los bosques Andinos, que juegan un papel crucial en la regulación hídrica y en la conservación del suelo, además de ser hábitat para muchas especies de fauna. Luego los páramos quienes tienen una alta capacidad de regulación hídrica y esenciales para el almacenamiento y regulación del agua en las cuencas hidrográficas, también en esta zona se ubican los bosques de Niebla (Bosques Húmedos Montanos) en donde es propicio el crecimiento de una gran diversidad de flora, como musgos, líquenes, y epífitas, así como de fauna adaptada a la humedad, como diversas especies de aves y mamíferos pequeños.

El área del proyecto, sin embargo, está mayoritariamente cubierta por áreas de uso agrícola y ganadero, las cuales tienen una alta incidencia en la modificación de los hábitats naturales, lo que genera fragmentación y pérdida de biodiversidad en áreas cercanas a la intervención; así mismo se encuentran otros territorios artificializados como zonas urbanizadas, zonas industriales o comerciales, redes de comunicación y zonas de extracción minera y escombreras, las cuales indican la intervención de la zona previo del desarrollo del proyecto.

A pesar de la alteración existente, proyectos como la construcción de la subestación, debe ser cuidadosamente gestionada para evitar la pérdida irreversible de biodiversidad y la

degradación de estos ecosistemas frágiles. Es por ello que un plan de compensación biótico debe considerar las características ecológicas locales para la restauración y conservación, con el fin de garantizar la sostenibilidad ambiental del proyecto a largo plazo.

En estos ecosistemas existen especies de flora y fauna endémicas como el Roble (*Quercus humboldti*) o el oso de Andino (*Tremarctos ornatus*), especies que deben ser protegidas para su conservación, sin embargo, como se menciona en el EIA, dentro de la zona correspondiente al área del proyecto no se cuenta con una gran existencia de ecosistemas naturales, por lo que la diversidad se puede resumir en especies de flora exótica como Acacias, Eucaliptos y un reducido número de especies de fauna asociadas a zonas suburbanas, las cuales de acuerdo a su distribución y endemismo se clasifican como preocupación menor.

## **1.2 Formulación del problema**

El proyecto está sujeto a un proceso de evaluación ambiental debido a los impactos que la construcción y operación de la infraestructura eléctrica pueden generar sobre los ecosistemas locales. Dichas alteraciones ponen en riesgo la integridad de los ecosistemas locales, que albergan una rica diversidad biológica, y comprometer los servicios ambientales de los que dependen las comunidades cercanas.

A partir de lo anterior, surge la necesidad de diseñar e implementar un plan de compensación biótica que permita mitigar los impactos negativos sobre la biodiversidad y los recursos naturales. Este plan debe cumplir con los lineamientos establecidos en la Resolución No. 0256 del 2018 y sus modificaciones del 2019. Sin embargo, la aplicación efectiva de estas metodologías enfrenta varios desafíos, tales como la falta de información actualizada sobre las características bióticas de la zona, las dificultades para identificar áreas prioritarias para la restauración y la medición precisa de los impactos generados.

La formulación del problema se centra en cómo diseñar un plan de compensación biótica, que logre la identificación de áreas de compensación equivalentes y una restauración adecuada, garantizando la sostenibilidad de la biodiversidad a largo plazo, considerando la limitación de recursos y el cumplimiento de la normativa vigente. Es fundamental determinar las acciones correctivas que deben implementarse para contrarrestar los efectos negativos sobre las especies de flora y fauna, así como el monitoreo y seguimiento del proceso, a fin de evaluar la efectividad de las compensaciones y asegurar que el balance ecológico sea restaurado de manera óptima.

Por lo tanto, el problema de investigación se puede definir de la siguiente manera: ¿Cómo diseñar un plan de compensación del componente biótico para el proyecto "Subestación Muiscas" que subsane los impactos sobre la biodiversidad en la vereda Pirgua del municipio de Tunja, empleado herramientas de sistemas de información geográfica (SIG), siguiendo la normatividad establecida en el Manual de Compensaciones del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de 2018?

Este plan debe permitir la rehabilitación de un área ecológicamente equivalente a la afectada, garantizando la protección de los recursos naturales de la región, los servicios ecosistémicos, la ganancia neta de la biodiversidad y la residencia del ecosistema en el tiempo.

Este enfoque permitirá establecer un análisis multicriterio que posibilite la selección predial concordante a las metas de restauración nacional, la semejanza ecológica y el ordenamiento territorial, permitiendo de esta manera la rehabilitación de ecosistemas y la conservación de los recursos naturales de la región.

### **1.3 Justificación**

El presente proyecto tiene como objetivo elaborar un plan de compensación para el componente biótico del proyecto "Subestación Muiscas 115/34,5 KV 40 MVA y reconfiguración

de las líneas existentes y futuras", ubicado en la vereda Pirgua, municipio de Tunja, conforme a las disposiciones establecidas en el Manual de Compensaciones del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, versión 2018. Esta iniciativa está dirigida a mitigar los impactos negativos sobre la biodiversidad y los ecosistemas, generados por las obras de construcción y operación de la subestación eléctrica y sus infraestructuras asociadas.

La importancia de este proyecto radica en la necesidad de prevenir y mitigar la pérdida neta de la biodiversidad, un desafío crítico en un contexto global de acelerada degradación ambiental. El proyecto "Subestación Muiscas" está localizado en una región de estratégica, por lo que las actividades de construcción y operación pueden generar alteraciones significativas en los ecosistemas, afectando especies de flora y fauna locales, muchas de las cuales pueden ser de interés para la conservación. A través de un plan de compensación adecuado, se busca restaurar o, en algunos casos, mejorar las condiciones ambientales afectadas, asegurando la preservación de la biodiversidad y contribuyendo a los esfuerzos nacionales e internacionales de conservación, en particular los compromisos con la conservación de especies endémicas o en riesgo.

El plan de compensación, que será diseñado bajo la metodología de sistemas de información geográfica (SIG), teniendo como objetivo la cuantificación de los impactos a los biomas, determinando las áreas específicas donde se deben realizar acciones de rehabilitación y conservación. Esta metodología permite una gestión más precisa en las actividades de selección de áreas de compensación, así como el seguimiento, monitoreo y evaluación de las acciones implementadas. Con ello, se busca garantizar que las compensaciones sean efectivas, medibles y estén alineadas con los principios de la sostenibilidad ecológica y social, asegurando el equilibrio entre el desarrollo de infraestructura y la conservación de los recursos naturales.

---

El beneficio principal de este plan de compensación es la restauración de los ecosistemas impactados, lo que redundará en una mejora de las condiciones ambientales tanto para las especies nativas locales como para las poblaciones humanas beneficiaria de los servicios ecosistémicos. En términos más concretos, la compensación biótica contribuirá a la conservación de hábitats estratégicos, al fortalecimiento de corredores ecológicos entre áreas protegidas y a la rehabilitación de áreas degradadas. Esto tendrá efectos positivos sobre la fauna y flora local, reduciendo la fragmentación de los ecosistemas y mejorando la conectividad entre zonas de biodiversidad. Así mismo, se incrementará la capacidad de recuperación de los ecosistemas frente a futuras perturbaciones, garantizando su resiliencia a largo plazo.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Elaborar un plan integral de compensación biótica para el proyecto "Subestación Muiscas 115/34,5 KV 40 MVA y reconfiguración de líneas", aplicando la metodología del Manual de Compensaciones 2018 y cumpliendo la licencia ambiental (Resolución No. 0765 de 2019). El plan estará orientado a la conservación y restauración de la biodiversidad afectada en la vereda Pirgua, Tunja, Boyacá.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Recopilar información secundaria, como datos geográficos de entidades públicas y privadas actualizados, mediante la búsqueda y descarga de datos vectoriales y ráster disponibles en portales de información de datos abiertos, garantizando su pertinencia y calidad para el análisis del proyecto.
- Estimar el área a compensar, basados en los índices rareza, representatividad, tasa de remanencia y tasa de transformación de cada bioma afectado, en el área de influencia, a través del cálculo SQL en el software ArcGIS pro para obtener resultados precisos.
- Diseñar los flujos de geoprocésamiento a través de un lenguaje de programación visual (ModelBuilder) para determinar las áreas ecológicamente equivalentes al área afectada, a la escala más detallada posible en el software ArcGIS pro. Así mismo, se definen los criterios para la selección los predios públicos y/o privados a compensar basados en determinantes ambientales y territoriales.
- Elaborar un Modelo de Almacenamiento Geoespacial (Geodatabase), estructurado según los lineamientos de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA),

garantizando la correcta organización, almacenamiento y gestión de la información geográfica relevante para el proyecto, facilitando su análisis y cumplimiento.

- Proponer un plan de compensación del componente biótico aplicable a la zona de intervención del proyecto, mediante la evaluación de las alternativas propuestas en el Manual de Compensaciones del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, asegurando que las soluciones propuestas sean viables, efectivas y en cumplimiento con la normativa ambiental vigente.

### 3. Antecedentes

En el contexto de la creciente demanda energética en Colombia y la necesidad de garantizar un suministro eléctrico eficiente y sostenible, la construcción de subestaciones eléctricas se ha convertido en un componente esencial para el desarrollo de la infraestructura energética del país. La subestación eléctrica Muiscas 115/34.5 kV, la cual se encuentra en etapa de operación, representa un proyecto clave para mejorar la distribución de energía en la región, además de optimizar la capacidad de transmisión y contribuir al desarrollo económico y social de Boyacá.

Para abordar este reto, es importante tener como base trabajos previos e investigaciones realizadas en áreas similares, tanto a nivel nacional como internacional, con el fin de identificar buenas prácticas, posibles desafíos y soluciones que puedan aplicarse a este proyecto. En este sentido, los antecedentes de investigación proporcionan un escenario valioso de conocimientos, permitiendo contextualizar el proyecto Muiscas dentro de las tendencias y normativas actuales en el campo de la infraestructura eléctrica, los impactos ambientales, y la planificación urbana y rural, aportando información clave para la toma de decisiones durante las fases de diseño, construcción y operación de la subestación.

En concordancia a lo anterior, Rodríguez Correa (2016) desarrolló una guía de impacto ambiental que detalla métodos para mitigar los efectos negativos de las infraestructuras de transmisión de alta tensión, subrayando la necesidad de reducir la contaminación y aprovechar de manera sostenible los recursos naturales para mantener la competitividad en el sector eléctrico. Montoya Gallego (2018), en un estudio descriptivo, evaluó los impactos de la construcción de subestaciones eléctricas, identificando cómo afectan las zonas verdes, flora y fauna, y

proponiendo estrategias de mitigación para reducir la alteración ambiental en aspectos como el suelo, agua y aire. Por último, Bravo Realpe e Ibarra Rodríguez (2013) formularon un plan de manejo ambiental para una central eléctrica de CEDENAR S.A. E.S.P., estructurando acciones para la prevención y control de impactos, basado en un sistema de gestión ambiental que utiliza el Marco Lógico. Estas investigaciones aportan enfoques y metodologías relevantes que pueden aplicarse al diseño de medidas compensatorias en el proyecto de la subestación “Muiscas”, con el fin de minimizar los efectos ambientales y promover un manejo sostenible de los ecosistemas locales.

Las investigaciones abordan los impactos y el manejo ambiental en proyectos de infraestructura eléctrica y consulta previa en comunidades locales. En la primera, Zambrano (2016) estudia la construcción de la línea de subtransmisión eléctrica de 69 KV entre Montecristi y Jipijapa, donde se resalta la necesidad de estas infraestructuras para la distribución energética, con impactos ambientales menores en comparación con otras fuentes, y se evidencia el impulso económico y laboral que generan en las zonas de influencia. Por otro lado, León Burgos y Parra Tabla (2005) presentan una evaluación de impacto ambiental en proyectos lineales de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en Campeche, destacando que este tipo de proyectos, aunque de gran longitud, tienen afectaciones ambientales puntuales, mostrando cómo la CFE aplica guías específicas en proyectos como los de Escárcega Potencia-Sabancuy II, con miras a cumplir normativas ambientales mexicanas. Arboleda Montaña (2017) documenta el proceso de consulta previa entre el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de Vereda Gamboa y la Empresa de Energía del Pacífico (EPSA) para la construcción de una subestación en Buenaventura, detallando los desafíos en el entendimiento entre las partes y la importancia de la

intervención de la autoridad ambiental para facilitar el acuerdo sobre impactos negativos y medidas de manejo, logrando así la viabilidad ambiental del proyecto.

Las investigaciones recientes destacan los desafíos ambientales y técnicos en la planificación y ejecución de proyectos de infraestructura eléctrica en áreas sensibles. Garavito (2020) explora el impacto de los parques eólicos y líneas de transmisión en La Guajira, Colombia, donde se identifican 23 proyectos eólicos y tres de transmisión que afectan la biodiversidad en áreas protegidas. El estudio resalta que la conectividad ecológica y la conservación de especies, especialmente en zonas como el Complejo de Humedales Costeros de la Guajira, podrían verse comprometidas, sugiriendo que es fundamental priorizar la conservación y realizar evaluaciones de impacto más completas. Uaman (2022) analiza la variabilidad en los trazados de líneas de transmisión de 138 kV en Perú. Factores arqueológicos, sociales y técnicos, como áreas protegidas y topografía, son determinantes en el cambio de trazado de las líneas, lo que aumenta los costos y requiere diagnósticos minuciosos previos a la ejecución para reducir los costos adicionales y minimizar impactos en las zonas afectadas.

Valdi (2023) presenta una evaluación de impacto ambiental en el sur de Ecuador para una línea de transmisión de 69 kV. La investigación aplica la norma UNE 150008 para priorizar las medidas preventivas y correctivas, demostrando que los impactos en su mayoría son moderados y requieren un Plan de Manejo Ambiental para garantizar un desarrollo sostenible y armonioso con las comunidades locales y el entorno natural.

Por su parte, es importante tener en cuenta el caso de Isa-Intercolombia, la cual es una empresa líder en el transporte de energía eléctrica en América Latina y Colombia, que cuenta con un importante portafolio de proyectos de infraestructura en la región. Aunque tiene un alto

volumen de bases de datos geoespaciales, actualmente no cuenta con una herramienta eficaz para interpretar y visualizar esta información de forma adecuada. Por eso, el proyecto Geoisa busca transformar la manera en que la empresa gestiona y visualiza estos datos a través de la implementación de un Geoportal, cuyo principal objetivo es mejorar la toma de decisiones, gestionar los riesgos y garantizar la sostenibilidad de sus proyectos. En particular, se plantea incorporar dos módulos clave dentro del Geoportal: gestión del riesgo y compensaciones bióticas. La integración de estos módulos permitirá identificar de forma precisa los riesgos relacionados con los proyectos y optimizar la gestión de los impactos ambientales asociados. Así, la empresa podrá monitorear más efectivamente el cumplimiento de las normativas ambientales y fortalecer su compromiso con la responsabilidad corporativa. Con esta estrategia, Geoisa no solo logrará una gestión eficiente de los recursos naturales, sino también una mayor transparencia y sostenibilidad en sus operaciones.

Diversas investigaciones han explorado el impacto de las prácticas de conservación ambiental, la regeneración ecológica y la importancia de la biodiversidad en las áreas naturales de Colombia, particularmente en la región andina y amazónica. Varios estudios han documentado el uso sostenible de los recursos naturales en comunidades locales, subrayando la importancia de los saberes tradicionales en el manejo ambiental (López et al., 2020; Ramírez et al., 2021). También se ha investigado el papel de los sistemas agroforestales en la conservación y restauración de ecosistemas, especialmente en áreas de alta biodiversidad como las de los Muiscas en la región central de Colombia, donde las intervenciones humanas han generado transformaciones ecológicas importantes a lo largo del tiempo (Gómez & Martínez, 2019). En cuanto a los procesos de restauración, la regeneración natural se ha identificado como una estrategia clave para recuperar la calidad de los ecosistemas, sobre todo en las zonas donde la

---

intervención humana ha sido mínima, como se observa en las prácticas de regeneración de la vegetación nativa (Suárez, 2022). Estos estudios contribuyen a entender cómo las prácticas culturales y ecológicas tradicionales pueden mejorar la sostenibilidad ambiental y la adaptación a los cambios climáticos, elementos fundamentales para las comunidades indígenas como los Muisca, que han mantenido una conexión estrecha con la naturaleza.

La subestación Muisca 115/34.5 kV es clave para fortalecer la infraestructura eléctrica en Boyacá, mejorando la distribución de energía y respaldando el crecimiento regional. Para asegurar su sostenibilidad, es esencial apoyarse en investigaciones previas que aborden buenas prácticas y desafíos ambientales, y aplicar medidas de mitigación ambiental fundamentadas en estudios relevantes. Estas investigaciones no solo ayudan a minimizar el impacto en la biodiversidad local, sino que también destacan la importancia de integrar tecnologías como los geoportales para optimizar la gestión de datos ambientales, promoviendo la sostenibilidad y responsabilidad corporativa en proyectos energéticos en Colombia.



## 4. Referente normativo y legal

El marco normativo de un proyecto de construcción de infraestructura eléctrica, como la subestación Muiscas en Tunja, es esencial para asegurar que todas sus etapas, enfocándose desde la planificación hasta la formulación, se realicen en condiciones óptimas de seguridad y respeto por el medio ambiente. Este tipo de proyectos, además de cumplir con estándares técnicos específicos, debe alinearse con normativas nacionales e internacionales que regulan la adecuada operación de la infraestructura eléctrica.

Estas normativas incluyen regulaciones sobre la seguridad de las instalaciones, la mitigación de impactos ambientales y la protección de la biodiversidad. Un marco normativo adecuado no solo protege a las comunidades y el entorno natural, sino que también garantiza la eficiencia y confiabilidad del suministro de energía en la región, promoviendo un desarrollo sostenible y respetuoso con el entorno local y sus recursos.

A continuación, se exponen diferentes referentes normativos que son afines al presente proyecto, que abarcan tanto legislación internacional como nacional, proporcionando un soporte técnico y ambiental esencial para el desarrollo de este estudio.

### 4.1 Normativa Internacional

**Norma IEC 61936-1:** *Power installations exceeding 1 kV AC – Part 1: Common rules.*

Esta norma internacional, emitida por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) establece los requisitos de seguridad y de construcción para instalaciones eléctricas de alta tensión. Su aplicación es esencial en la planificación y construcción de subestaciones eléctricas, ya que proporciona directrices para minimizar riesgos de electrocución y asegurar la

confiabilidad de las instalaciones. La adopción de la IEC 61936-1 en el diseño y construcción de la subestación Muiscas contribuyó a garantizar su conformidad con estándares globales de seguridad y eficiencia energética.

## 4.2 Normativa Nacional

**La Ley 99 de 1993** es el marco general ambiental en Colombia que regula la protección del medio ambiente, estableciendo la estructura del Sistema Nacional Ambiental (SINA), para proyectos de infraestructura como lo es en este caso la subestación Muiscas. La normatividad obliga a realizar estudios de impacto ambiental, con el objetivo de obtener licencias ambientales, asegurando que el proyecto respete la biodiversidad y los recursos naturales del territorio.

**Resolución CREG 070 de 1998** emitida por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), establece el Código de Redes Eléctricas en Colombia, que regula la operación, mantenimiento y desarrollo de las redes de transmisión de energía eléctrica en el país. La subestación Muiscas debe cumplir con los requisitos técnicos de esta normativa, que garantiza una operación segura y eficiente de la red eléctrica a nivel nacional.

**Resolución 1511 de 2010** emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, define los procedimientos y criterios para los estudios de impacto ambiental en proyectos de infraestructura eléctrica. La construcción de la subestación Muiscas cumple con los lineamientos aquí establecidos, lo cual garantiza una evaluación exhaustiva de los posibles impactos sobre el medio ambiente y propone medidas de mitigación efectivas.

**Resolución 180540 de 2010** dispuesta por el Ministerio de Minas y Energía, establece el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), es obligatoria para proyectos eléctricos en Colombia y busca asegurar la protección de las personas, el medio ambiente y la

infraestructura eléctrica. Por lo tanto, cualquier proyecto acorde al presente trabajo, deberá cumplir con los estándares de seguridad y eficiencia estipulados en el RETIE.

**Decreto 1076 de 2015**, conocido como Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, integra todas las disposiciones ambientales que los proyectos de infraestructura deben considerar. Establece requisitos para la protección del entorno, incluyendo la obtención de licencias ambientales y la implementación de medidas de conservación. Este decreto es esencial para asegurar que el proyecto de la subestación se alinee con los objetivos de sostenibilidad ambiental en Boyacá.

**Resolución 256 de 2018** constituye el Manual de Compensaciones ambientales del medio biótico, para el cual se define los lineamientos y procedimientos en las actividades de compensación de los impactos negativos sobre la biodiversidad, generados por proyectos de inversión y actividades económicas. Esta norma reúne los criterios para el desarrollo de labores compensatorios por partes de empresas públicas o privadas que han generado un impacto sobre la riqueza natural del país. Las actividades compensatorias se reúnen en acciones de restauración ecológica, rehabilitación ecológica, preservación de los recursos naturales y proyectos de pago por servicios ambientales, que fomenten la recuperación y conservación de áreas de interés biológico para la región afectada.

**Resolución 2182 de 2016 del MADS** modifica y consolida el Modelo de Almacenamiento Geográfico contenido en la Metodología General para presentación de Estudios Ambientales y en el Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos, aplicado a la evaluación de DAA, EIA, PMAE y los ICA, para los trámites relacionados con Licencias Ambientales. La

utilización de este modelo es de carácter obligatorio para todas las autoridades ambientales y de obligatoria observancia por parte de los usuarios.

**Resoluciones 471 y 529 de 2020** por medio de las cuales se establecen las especificaciones técnicas mínimas de los productos de la cartografía básica oficial de Colombia y se establece como sistema de referencia espacial el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia de Origen Único MAGNA-SIRGAS – CTM 12 para todos los productos de la Cartografía Básica Oficial de Colombia.

## 5. Referente teórico

El Licenciamiento Ambiental en Colombia es un procedimiento realizado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), mediante el cual una persona natural o jurídica solicita la autorización para ejecutar un proyecto obra o actividad el cual tiene un potencial de generar impactos ambientales significativos (MADS, SF).

En este proceso la autoridad ambiental es la que se encarga de otorgar o negar la Licencia Ambiental para la ejecución de dicho proyecto, sin embargo, para otorgar este tipo de permiso ambiental, es necesario que el interesado presente ante el ANLA un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), el cual corresponde a un documento técnico que contiene información relevante acerca del proyecto, obra o actividad.

El contenido del EIA depende y se adapta a las características del proyecto y debe incluir: el objeto y alcance del estudio, resumen ejecutivo, la delimitación de las áreas de influencia, la descripción detallada del proyecto y su compatibilidad con el uso del suelo, la identificación de recursos naturales involucrados y las comunidades afectadas.

Así mismo, debe analizar el entorno biótico, abiótico y socioeconómico, evaluar los impactos ambientales en cada uno de los medios o entornos y proponer un Plan de Manejo Ambiental que incluya medidas preventivas, correctivas, monitoreo, planes de contingencia, y estimar los costos y cronogramas de ejecución. (ANLA, sf).

Los tres entornos mencionados anteriormente hacen parte de lo que en términos generales se conoce como un ecosistema, en el cual, el medio biótico de acuerdo al Manual de Compensaciones del Ministerio hace referencia a todos los elementos vivos como flora, fauna, cobertura vegetal y contexto paisajístico de los ecosistemas naturales terrestres continentales y

vegetación secundaria. Los cuales pueden verse visible y estructuralmente afectados por el desarrollo de un proyecto, obra o actividad dentro de los límites de este.

De manera general se puede decir que la intervención antrópica o humana en los distintos componentes del medio biótico resulta en impactos ambientales negativos como: cambio en procesos ecológicos del ecosistema, especies de flora y fauna endémicas amenazadas, pérdida de biodiversidad característica del ecosistema, modificación del hábitat de las especies, pérdida de la función ecológica del ecosistema, pérdida de especies vegetales nativas y destrucción de hábitats naturales. (Vargas et al, 2022).

Lo anterior reafirma lo expuesto por Ramírez (2023), quien menciona:

La pérdida de biodiversidad en los sistemas naturales es un hecho creciente que se viene agudizando a nivel global, principalmente por la destrucción parcial o total de los ecosistemas por parte de las actividades humanas o por la contaminación o alteración de las condiciones abióticas de ellos. Esta situación se manifiesta, por igual, en los ecosistemas terrestres, marinos y dulceacuícolas. (p.89)

En ese sentido para los entes encargados de la protección, reglamentación y resguardo de los ecosistemas del país y la biodiversidad que caracteriza el territorio colombiano, se convirtió en una tarea crucial establecer medidas para garantizar que los efectos negativos producidos por los impactos ambientales previamente mencionados fuesen correctamente prevenidos, minimizados, corregidos y/o compensados.

Sin embargo, con el crecimiento del país y de la economía conlleva a un aumento en la cantidad de solicitudes de Licencias Ambientales para diferentes tipos de proyectos, lo cual de manera inminente resultaría en un mayor impacto sobre los recursos del país.

Motivo por el cual el MADS adopto por medio de la Resolución 1517 de 2012 el Manual para la Asignación de Compensaciones por pérdida de Biodiversidad, el cual establece los criterios y procedimientos para determinar las medidas de compensación ambiental que deben aplicar quienes soliciten una licencia ambiental. Este documento regula el procedimiento para calcular las compensaciones ambientales exigidas por la ANLA, con el fin de asegurar la sostenibilidad de los recursos bióticos impactados.

Posteriormente se adoptó la primera actualización del manual por medio de la Resolución 256 de 2018, la cual fue el resultado de la unión de esfuerzos por parte de distintas entidades como MADS, ANLA, IAvH, IDEAM, CARs, TNC, GIZ y demás expertos en el área, junto con las lecciones aprendidas de la implementación de la primera versión del manual, el cual hace parte de la Estrategia Nacional de Compensaciones Ambientales (MADS, s.f).

Este manual establece que las compensaciones deben centrarse en la restauración de ecosistemas equivalentes a los afectados, la reforestación con especies nativas, y la protección de áreas de importancia ecológica. Asimismo, sugiere que estas compensaciones no se limiten solo a la cobertura vegetal perdida, sino que incluyan la rehabilitación de las funciones ecológicas de los ecosistemas afectados, la protección del suelo y el mantenimiento de la biodiversidad.

Para el caso de estudio, el proyecto que fue sujeto de Licenciamiento Ambiental, fue la construcción de la Subestación Muiscas 115 / 34.5 KV 40 MVA y la reconfiguración de las líneas existentes y futuras. De acuerdo con el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE, una subestación eléctrica es un conjunto de equipos utilizados para transferir el flujo de energía en un sistema de potencia, garantizar la seguridad del sistema por medio de dispositivos automáticos de protección y redistribuir el flujo de energía a través de rutas alternas durante contingencias. (MinMinas, 2024)

Para el proyecto de la subestación, se requiere de la siguiente infraestructura permanente: área de portería, área de parqueo, caseta de control, cerramiento y obras para el manejo de aguas de esorrentía. El objeto del proyecto de la nueva Subestación es aumentar la confiabilidad del suministro de energía eléctrica en la ciudad de Tunja, apoyando el suministro actual que se brinda a la ciudad a través de la Subestación Donato, así mismo enlazará la nueva infraestructura eléctrica de las subestaciones Jenesano y Alto Ricaurte, que se ubicarán en los municipios de Jenesano y Sáchica en el departamento de Boyacá respectivamente (INCO A&J SAS, 2018).

Como complemento a todo lo anteriormente mencionado, hay un elemento crucial y que es utilizado y aplicado de manera transversal en todos los procedimientos tanto de licenciamiento ambiental, como de compensaciones ambientales y son los SIG, que es una tecnología íntegra mediante la cual se puede crear, administrar, analizar y representar cartográficamente todo tipo de datos. (ESRI, s.f)

El uso de los SIG en esta temática resulta de utilidad, ya que permite la gestión y análisis de datos espaciales y ambientales con el fin de identificar las áreas más adecuadas para el desarrollo e implementación de las medidas de compensación, como la restauración ecológica o reforestaciones, en los lugares que tengan mayor similitud ecológica a las áreas afectadas.

Los SIG también cumplen papel clave en la planificación y gestión territorial, asegurando que las medidas de compensación sean precisas y efectivas, así mismo mejorando el proceso de toma de decisiones que resulten más convenientes en el marco del cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 15; el cual establece como prioridad proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres (ONU,2024).

De acuerdo a lo anterior, se hace necesaria la aplicación de conocimientos en investigación y toma de decisiones, ya que para el caso en particular se requiere definir el sitio

más adecuado para llevar a cabo la compensación del medio biótico afectado por la construcción y operación de la S/E Muiscas. Para la selección del predio a compensar, se empleará un análisis multicriterio, metodología que permite la presentación de diversos objetivos o criterios que simultáneamente deben incorporarse para la selección entre un conjunto de alternativas factibles, la optimización de alternativas y procedimientos de evaluación racionales y consistentes (Grajales-Quintero et al., 2013). En el contexto de la compensación ambiental, este enfoque facilita la identificación de áreas con mayor viabilidad ecológica y técnica para la implementación de las medidas compensatorias.

Finalmente, la ANLA ha establecido lineamientos específicos para la presentación de Bases de Datos Geográficos (GDB) en proyectos de compensación ambiental. Mediante la Resolución 2182 de 2016, se adoptó el "Modelo de Almacenamiento Geográfico para la Presentación de Información en Estudios Ambientales", el cual define la estructura y formato que deben seguir las GDB en los estudios ambientales. Este modelo busca estandarizar la información espacial, facilitando su análisis y asegurando la calidad de los datos presentados. Además, la ANLA ha desarrollado herramientas como "SimplifICA" y "ValidA", los cuales son validadores de GDB que permiten a los usuarios verificar la estructura de sus bases de datos previo a la radicación, evaluando aspectos críticos como alteraciones al modelo de datos y el diligenciamiento de campos obligatorios. (ANLA, 2016)

## **6. Metodología**

### **6.1 Enfoque metodológico**

El enfoque metodológico de la investigación es de tipo mixto, acorde con los requerimientos metodológicos del Manual de Compensaciones del medio biótico otorgado por el Ministerio de Medio Ambiente y de Desarrollo Sostenible y los Lineamientos para el Acogimiento al Manual de Compensaciones del Medio Biótico publicado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) conforme a la Resolución 370 del 15 de abril de 2021.

Dado que el proyecto de construcción de la subestación Eléctrica Muiscas 115 / 34.5 KV 40 MVA propiedad de la Empresa de Energía de Boyacá S.A E.S.P ubicada en la ciudad de Tunja. y la reconfiguración de las líneas eléctricas en el predio "El Batán" busca minimizar y compensar el impacto sobre el medio biótico local, este enfoque permite integrar tanto herramientas cuantitativas como cualitativas en la recolección y análisis de datos. La investigación abordará las variables necesarias para estimar el impacto ecológico y las medidas compensatorias, en el marco de lo estipulado por la licencia del proyecto, que exige un monitoreo riguroso de los elementos bióticos impactados.

La recolección de datos cuantitativos se centrará en indicadores de biodiversidad, como el inventario de diversidad biológica, y de cobertura vegetal, alineándose con el método de valoración y cálculo de afectaciones de los recursos bióticos sugerido por el manual y la resolución mencionados. Paralelamente, el componente cualitativo en las características de las coberturas vegetales afectados y de los biomas intervenidos propios del área de estudio.

Este enfoque mixto se adapta a las exigencias de la normativa vigente, permitiendo contrastar y triangular los hallazgos obtenidos en ambos tipos de datos para garantizar que las

estrategias compensatorias planteadas se fundamenten en un análisis integral y multidimensional del medio biótico en la zona de intervención. La licencia ambiental del proyecto respalda esta metodología, asegurando que la compensación propuesta esté alineada con las exigencias de sostenibilidad y conservación estipuladas en la normativa ambiental del país.

**Figura 2.**  
*Enfoques de la investigación*



Fuente: Hernández et al. (2010)

## 6.2 Tipo de estudio

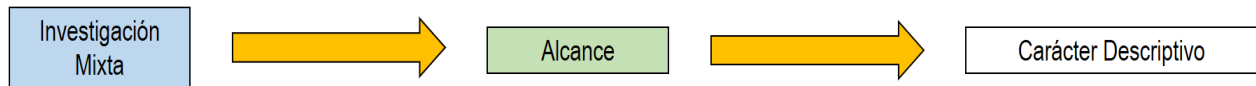
El alcance de la investigación es de carácter descriptivo, ya que el objetivo principal es la formulación del Plan de Compensación para los impactos ambientales, producidos sobre el Componente Biótico del área de influencia del proyecto de Construcción de la Nueva Subestación Eléctrica Muiscas. Dentro del alcance del plan de compensación, se hace necesaria la identificación de las áreas y ecosistemas impactados evaluando aspectos como la flora, fauna y coberturas vegetales; adicionalmente la selección de predios a compensar dentro de la subzona hidrográfica está basada en los criterios de representatividad, rareza, remanencia y tasa de transformación del (los) bioma(s) afectado(s).

A través de este enfoque se busca describir los ecosistemas afectados, el cálculo de los factores de compensación y la selección de las áreas equivalentes ecológicamente, con el fin de formular medidas de compensación acordes y efectivas para resarcir los efectos de los impactos ambientales producidos por el desarrollo del proyecto. Dentro de este proceso se definen como variables de interés el tamaño del área afectada, el bioma impactado, las características de la

vegetación. Las cuales permitirán establecer las medidas para cumplir con el objetivo de la no pérdida de la biodiversidad neta

**Figura 3.**

*Tipos de estudios cuantitativos*



Fuente: Hernández et al. (2010)

## 6.3 Procedimiento

### 6.3.1 Recopilar información secundaria:

La información geoespacial necesaria para el desarrollo de la compensación fue obtenida de las plataformas oficiales de entidades gubernamentales competentes. Los datos requeridos comprendieron de las capas geoespaciales de: Factor de compensación, coberturas de suelo, unidades geomorfológicas, áreas protegidas de Colombia, subzonas hidrográficas, biomas continentales de Colombia, territorios colectivos de comunidades afrodescendientes, resguardos indígenas, zonas de reserva campesina y proyectos de infraestructura (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [(IGAC), s.f.]).

Adicionalmente, se utilizó información bibliográfica referente a la caracterización del componente biótico y los recursos ecosistémicos de la zona de intervención, obtenida del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) asociado a la construcción de la subestación Muiscas. También se incorporó la resolución emitida por la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACA), que valida la licencia ambiental y especifica las medidas compensatorias

que la empresa debe implementar en respuesta a los impactos sobre la biodiversidad y los recursos naturales.

### **6.3.2 Estimación de cuanto compensar**

La estimación del valor de compensación fue desarrollada empleando el software **ArcGIS Pro**, junto con la capa de información espacial de: factores de compensación para el territorio nacional (representatividad ecológica, rareza, remanencia y tasa de transformación del hábitat), mapa de cobertura naturales de Corine Land Cover, Mapa nacional de ecosistemas y el polígono delimitado del área intervenida por la construcción de la subestación Muiscas.

#### **6.3.2.1 Identificación de factores de compensación.**

El factor de compensación fue determinado realizando la intersección entre las capas del polígono del área intervenida en la construcción de la subestación y la capa de Factor de compensación Nacional, identificando de esta manera los valores de representatividad ecológica, rareza, remanencia y tasa de transformación del hábitat, del área modificada en la construcción de la Subestación Muiscas.

#### **6.3.2.2 Valor de compensación por cobertura de tierra.**

Según el manual de compensación del componente biótico, el factor de compensación varía dependiendo de las coberturas que presenta el área de intervención; coberturas transformadas presentan valores de compensación menores a coberturas de ecosistemas naturales. En este sentido, para el cálculo de valor de compensación se realizó una intersección entre la capa de coberturas naturales de Corine Land Cover para el EIA y el área de intervención del proyecto, identificando las coberturas de la tierra sobre el polígono intervenido y asignando

valores de factor de compensación en relación con al nivel de transformación asociado a la cobertura. (Ver Tabla 1).

**Tabla 1.**

*Tabla de cálculos de valor de compensación MADS*

<b>Ecosistema</b>	<b>Valor de compensación</b>	<b>Observaciones</b>
Ecosistemas naturales	$FC = FC \text{ Valor}$	Para ecosistemas naturales como el factor de compensación es el mismo al calculado en las capas de Factor de compensación Nacional.
Ecosistemas de vegetación secundaria de menos de 15 años	$FC = FC \text{ Valor} / 2$	Para ecosistemas con vegetación secundaria menor a 15 años, el factor de compensación es dividido en a la mitad.
Ecosistemas transformados	$FC = 1$	Para ecosistemas transformados el valor de factor de compensación corresponde a 1

**FC:** Factor de compensación, **FC valor:** Factor de compensación calculado en la intersección de capas de factor de compensación y área de intervención

### 6.3.2.3 Cálculo de área a compensar.

La determinación del área a compensar se realizó a partir de la multiplicación del área impactada por el valor asignado al factor de compensación. El cálculo de la compensación se ejecutó conforme a la ecuación 1:

$$AC = AI * FC \quad (1)$$

Fuente: Manual de Compensaciones del medio biótico. 2018.

Donde:

**AC:** Área a compensar.

**AI:** Área intervenida.

**FC:** Factor de compensación.

### 6.3.3 Análisis multicriterio para la selección del predio dónde se realizará la compensación.

Para la selección del predio donde se implementará las acciones de compensación ambiental, se realizó un análisis multicriterio considerando factores y variables ambientales, ecológicas, normativas y territoriales. Este proceso buscó garantizar que la compensación se estableciera en un área ecológicamente equivalente a la afectada, y a su vez, estén acorde a los lineamientos de restauración y ordenamiento territorial. Dichos factores y variables buscan priorizar las condiciones favorables para la restauración y excluir aquellas áreas que limiten la viabilidad de la implementación de las acciones de compensación.

**Tabla 2.**

*Tabla de Criterios para el Análisis Multicriterio*

<b>Criterio</b>	<b>Tipo de Criterio</b>	<b>Descripción</b>
Bioma	Normativo	Corresponde a la unidad ecológica de mayor escala, determinada según la clasificación de ecosistemas nacionales, priorizando áreas que se encuentren dentro del mismo bioma afectado por el proyecto, garantizando coherencia ecológica en la compensación.
Subzona Hidrográfica	Normativo	Referente a la unidad hidrográfica en la que se encuentra el proyecto. Se seleccionan áreas dentro de la misma subzona hidrográfica del área impactada, asegurando conectividad y funcionalidad hidrológica en la compensación.
Predios ubicados en el municipio de Tunja	Territorial	Por solicitud del cliente se evalúan las características y disponibilidad de los predios en el municipio de Tunja, en función de su aptitud para la compensación, priorizando aquellos con condiciones favorables para la restauración.

<b>Criterio</b>	<b>Tipo de Criterio</b>	<b>Descripción</b>
Proyectos Mineros y de Hidrocarburos licenciados	Territorial	Se excluyen predios con licencias ambientales otorgadas para minería e hidrocarburos, evitando conflictos de uso del suelo.
Servidumbre eléctrica	Territorial	Se descartan áreas destinadas a servidumbre de líneas de transmisión eléctrica, asegurando la viabilidad de las acciones de compensación.
Sistema Regional de Áreas Protegidas – SIRAP	Ambiental	Se priorizan predios ubicados dentro o en las cercanías del SIRAP, incluyendo PNNC, DRMI y Reservas Naturales de la Sociedad Civil, favoreciendo la conservación de ecosistemas estratégicos.
Áreas para Restauración – CORPOBOYACÁ	Ambiental	Se consideran zonas identificadas por CORPOBOYACÁ como áreas de restauración en sus instrumentos de ordenamiento forestal y POMCAS, alineando la compensación con políticas ambientales regionales.

### 6.3.3.1 Criterios normativos:

En primera instancia, para la selección de áreas equivalentes se recurrió a los criterios normativos exigidos por el manual de compensaciones del componente biótico 2018, donde se exige que la compensación sea desarrollada en la sub-zona hidrográfica y bioma semejante al área de intervención. De esta manera, para la búsqueda de predios equivalentes en hidrografía y bioma se desarrolló una búsqueda SQL, con los criterios de selección para la Subzona hidrográfica Río Chicamocha y el bioma orobioma azonal andino altoandino de cordillera oriental.

### **6.3.3.2 Criterios territoriales**

En una segunda instancia, se examinaron criterios territoriales que ayudaron a priorizar áreas alejadas de las zonas urbanas, así como predios con licencia ANLA para la explotación minera, de hidrocarburos y servidumbres eléctricas. Contrario a esto, se dio preferencia a los predios, tanto públicos como privados, destinados a la conservación del suelo y que estuvieran en línea con la protección de los recursos naturales municipales.

Adicionalmente, Mediante búsqueda SQL se realizó la selección de predios cercanos al municipio de Tunja y/o pertenecientes a áreas de protegidas, como criterio exigido por el cliente, como estrategia rentable a las futuras actividades de siembra y mantenimiento de plantaciones.

### **6.3.3.3 Criterios Ambientales**

Para finalizar la selección predial de compensación se implementaron criterios ambientales como el sistema de áreas protegidas regionales y áreas de restauración de CORPOBOYACÁ en sus instrumentos de ordenamiento forestal y POMCAS. Estas variables de búsquedas estuvieron alineadas con el plan nacional de restauración, y buscaron la determinación de áreas con importancia ambiental, que permita la restauración de ecosistemas, la conectividad de las áreas protegidas y la conservación de la biodiversidad local.

### **6.3.4 Modelo Almacenamiento ANLA**

La generación del Modelo de Almacenamiento de datos se desarrolló siguiendo los lineamientos establecidos en el marco normativo de la Resolución 2182 de 2016 que establece un modelo estándar para la presentación de datos geográficos a la ANLA y CAR. La Geodatabase fue construida de manera estructurada y estandarizada para garantizar la integridad, interoperabilidad y trazabilidad de la información del Plan de Compensación. La organización de

la información se estructuró en datasets temáticos que incluyen capas geoespaciales, tablas de atributos y metadatos, siguiendo un esquema coherente con los requerimientos técnicos del diccionario de datos geográficos de la ANLA.

### **6.3.5 Plan de compensación del componente biótico**

El plan de compensación del componente biótico para el proyecto "Subestación Muisca 115/34,5 KV 40 MVA y reconfiguración de las líneas existentes y futuras" fue diseñado incorporando todos los aspectos técnicos, jurídicos y financieros establecidos como normatividad en el manual de compensación del componente biótico para Colombia (MADS, 2018).

## **7. Resultados**

### **7.1 Procesamiento de la Información.**

La búsqueda y descarga de información geoespacial se realizó a través de los portales de información de datos abiertos de diferentes entidades de orden ambiental como ANLA, CORPOBOYACA, IDEAM y MADS y de orden territorial como el IGAC. Adicionalmente, se obtuvo información geográfica del EIA del proyecto de construcción de la S/E Muiscas. Dicha información fue almacenada, visualizada y analizada a través del software ArcGIS Pro.

Se recopilaron las siguientes capas geoespaciales: áreas protegidas, biomas continentales, subzona hidrográfica, predios rurales en el departamento de Boyacá, áreas licenciadas para proyectos de hidrocarburos, títulos mineros, líneas de transmisión eléctrica, coberturas de la tierra y área de intervención del proyecto. Dichas capas fueron sometidas a procesos geoespaciales que serán descritos los siguientes apartados del presente trabajo.

### **7.2 Cálculo del Área para compensar**

Para estimar el área a compensar, fue necesario inicialmente definir el área de intervención y los biomas afectados. El área de intervención corresponde a la suma del espacio destinado a la construcción y operación de la subestación, junto con el área ocupada por la vía de acceso, alcanzando un total estimado de 1,225 hectáreas.

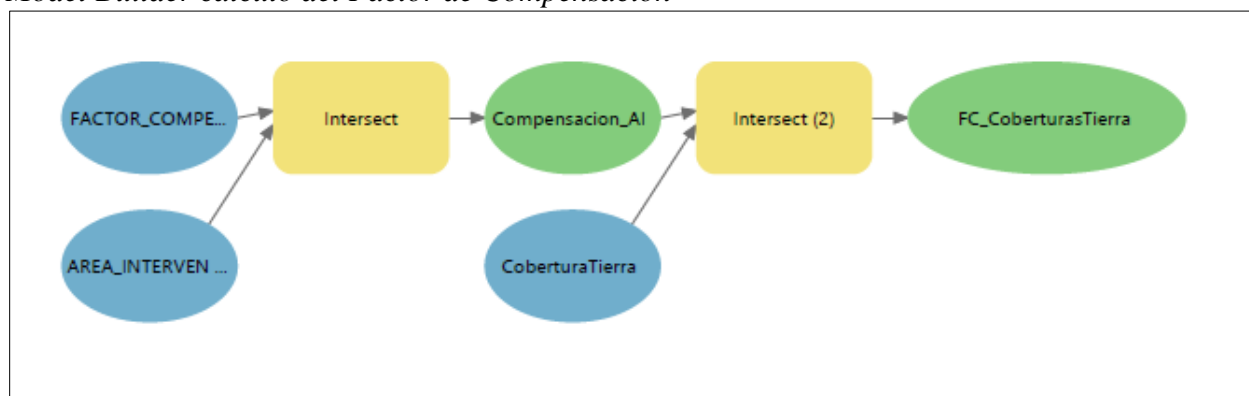
Para determinar los biomas afectados se hizo uso de la capa Factor de Compensación provista por el MADS, la cual al intersecarse con la capa correspondiente al área de intervención muestra que el bioma afectado es el “Orobioma Azonal Andino Altoandino de Cordillera Oriental”, al cual corresponde un factor de compensación de 8,5 (Ver, Tabla 3).

**Tabla 3.**  
*Criterios de definición Factor de Compensación*

Criterio	Valor	Factor de Compensación
Representatividad	2	8,25
Remanencia	3	
Rareza	2	
Tasa de Transformación	1.25	

Una vez determinada esta información, se deben hallar las coberturas de la tierra presentes dentro del área de intervención, ya que se debe comprobar si el bioma o ecosistema ha sufrido afectaciones o modificaciones. Existen algunas circunstancias especiales, que son tratadas de manera diferente y se presentan bajo las siguientes condiciones: cuando existen zonas de vegetación secundaria, el factor de compensación se divide a la mitad o si los ecosistemas son transformados se aplica un factor de compensación igual a 1, estas operaciones se realizaron a través de la herramienta Model Builder como se ilustra en la Figura 4

**Figura 4.**  
*Model Builder cálculo del Factor de Compensación*

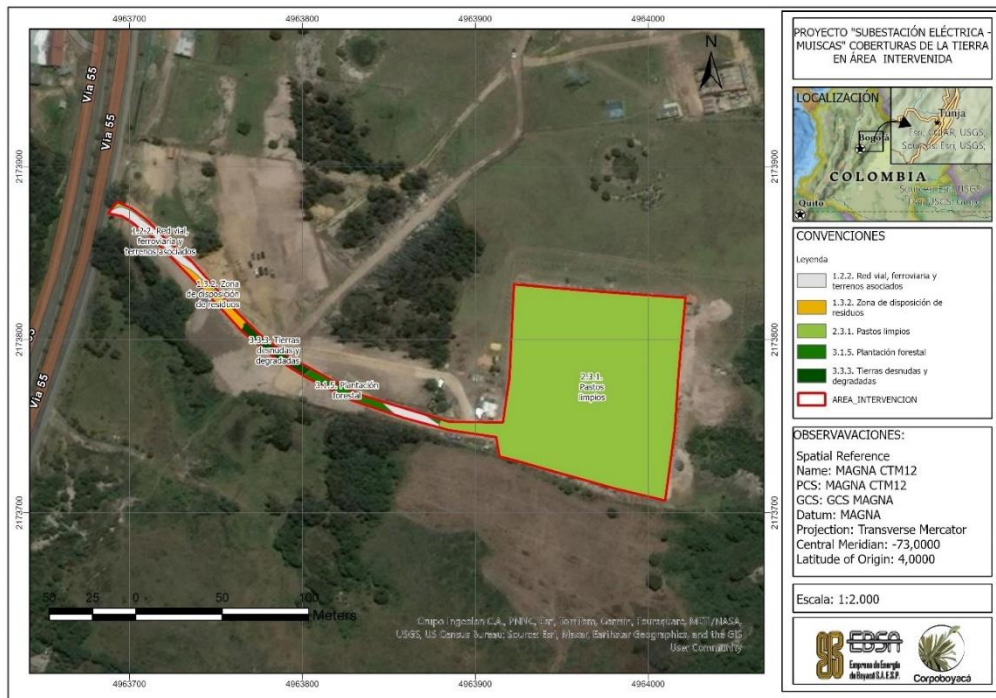


Se identificaron las siguientes coberturas: Red vial, ferroviaria y terrenos asociados, zona de disposición de residuos, pastos limpios, plantación forestal y tierras desnudas y degradadas, mostradas en la Figura 5. Lo cual indica que un gran porcentaje del área de intervención ya se encontraba previamente transformado, razón por la cual a dichas áreas se aplica un factor de compensación de 1, respecto a la cobertura correspondiente a plantación forestal se hace necesario dar la siguiente precisión:

dichas plantaciones fueron extraídas en su momento y, consecuentemente, las compensaciones correspondientes fueron ejecutadas, con el establecimiento de mil trescientas cuarenta (1340) plantas de especies nativas en un área de 2,5 Ha de acuerdo con lo expuesto en la Resolución 1566 del 08 de septiembre de 2020.

En la actualidad, estas áreas forman parte de la vía de acceso a la subestación, lo que implica que su uso y cobertura se consideran transformados, por lo anterior se le asigna un factor de compensación igual a 1. En cuanto a la cobertura correspondiente a pastos limpios se considera como vegetación secundaria por lo cual el factor de compensación para esta cobertura es de 4,125. Posteriormente se calcula el área a compensar de acuerdo con la fórmula establecida por el Manual de compensación, mencionada previamente en el apartado 6.3.2.3.

**Figura 5.**  
*Coberturas de la Tierra en el área de intervención*



Teniendo en cuenta lo anterior se estima que el área a compensar es de 4,665 hectáreas, de acuerdo con las coberturas de la tierra y la aplicación del factor de compensación, ver Tabla 4.

**Tabla 4.**  
*Cálculo del área a compensar*

<b>Coberturas del Área de Intervención</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>FC</b>	<b>Área a Compensar (Ha)</b>
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0.044	1	0.044
1.3.2. Zona de disposición de residuos	0.027	1	0.027
2.3.1. Pastos limpios	1.101	4.125	4.540
3.1.5. Plantación forestal	0.029	1	0.029
3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	0.025	1	0.025
<b>TOTAL ÁREA A COMPENSAR (HA)</b>			<b>4.665</b>

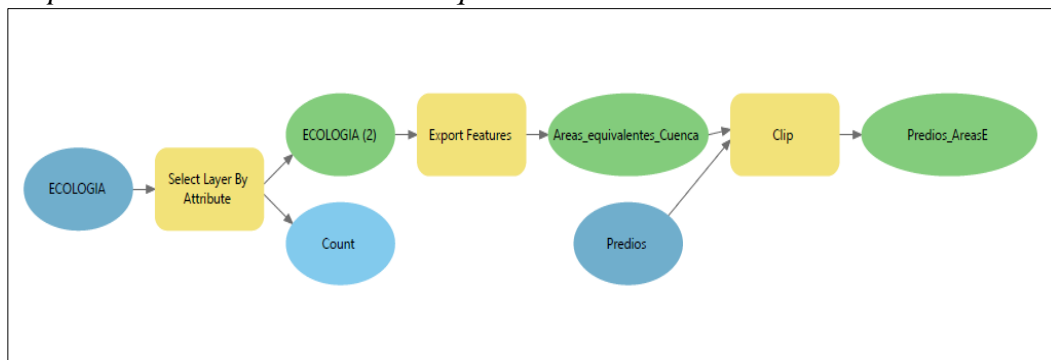
### 7.3 Modelo para la selección del predio

#### 7.3.1 Modelo (ModelBuilder):

La construcción de un modelo de programación visual (ModelBuilder) fue diseñado siguiendo el análisis de multi-criterio de selección predial. De manera inicial, dentro de las variables de selección se tuvo en cuenta criterios normativos exigidos por el manual de compensación del componente biótico, donde se priorizó territorio comprendió por la sub-zona hidrográfica del río Chicamocha e inmersos en el Orobioma Azonal Andino Altoandino de Cordillera Oriental. Ver en la Figura 6.

*ModelBuilder para la selección ecosistemas equivalentes.Figura 6.*

**Figura 6.**  
*ModelBuilder para la selección ecosistemas equivalentes.*

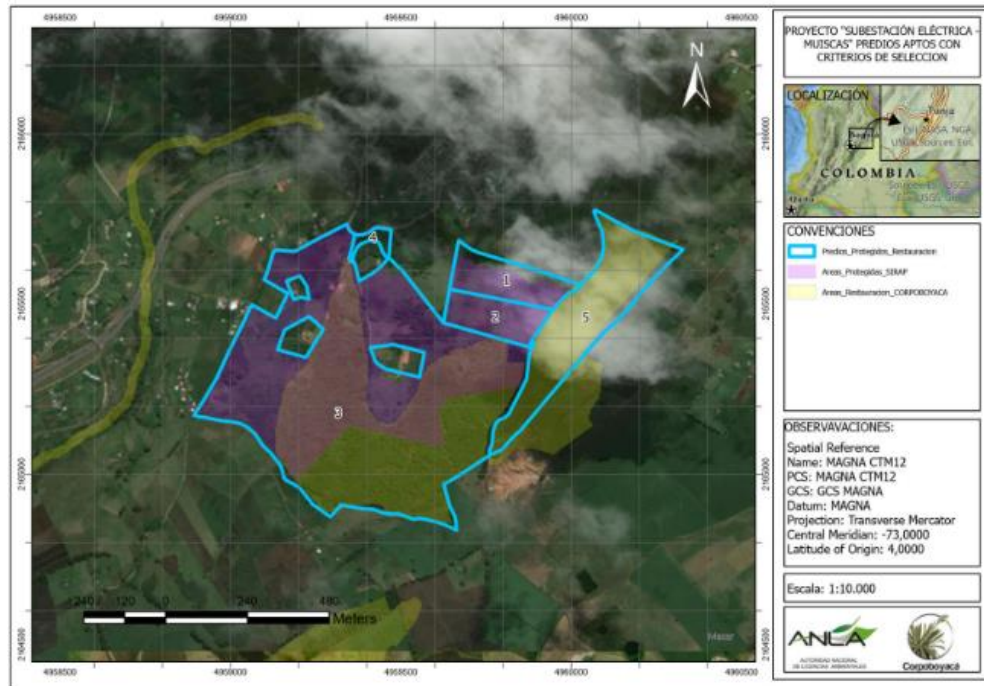


Como segundo criterio de selección predial, se tuvo en cuenta valoraciones territoriales, excluyendo todos aquellos predios con licenciamiento ambiental ANLA (Hidrocarburos, títulos mineros, vías nacionales y servidumbres eléctricas) y urbanizados; evitando de esta manera la selección de áreas en usos industriales o de vivienda. Adicionalmente, para la practicidad de los procesos de restauración se priorizaron predios al interior del municipio de Tunja, donde se encuentra la principal operación de la empresa de energía de Boyacá. Finalmente, el último criterio de selección predial correspondió a las características ambientales, donde se priorizaron predios que se encontraban al interior o en zona de influencia de los Sistema Regional de Áreas Protegidas (SIRAP) o en áreas de restauración del ordenamiento forestal y los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS) emitido por CORPOBOYACA. El modelo puede ser observado en la Figura 8

### **7.3.2 Predio de compensación:**

La ejecución del modelo (ModelBuilder) arrojó como resultado un total de 5 predios adyacentes, para los cuales 4 de ellos corresponden a la reserva nacional de la sociedad civil “La Cabaña” y un predio (número 5) fue seleccionado por error topológico en las capas predial de Tunja. Los predios pertenecientes a la RNSC” La Cabaña” tienen un área de 54 Ha, con uso de suelo para conservación de los recursos naturales del municipio de Tunja. Esta reserva se encuentra inmersa en la subzona hidrográfica del río Chicamocha y el orobioma azonal andino altoandino de cordillera oriental, cumpliendo con los criterios normativos exigidos por el manual de compensación del componente biótico para Colombia (MADS, 2018). Ver predio en la Figura 7.

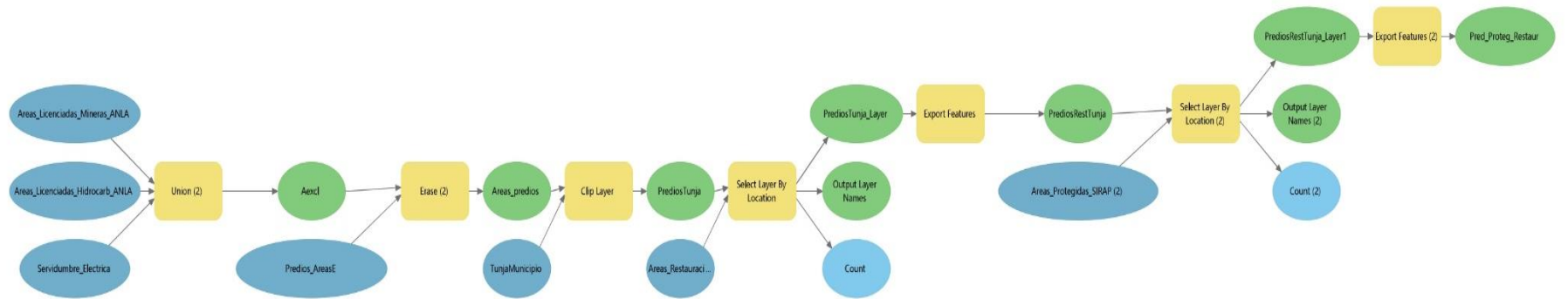
**Figura 7.**  
*RNSC La Cabaña.*



Adicionalmente, el predio de la RNSC “La Cabaña” no posee restricciones legales o administrativas por proyectos licenciados por el ANLA para actividades mineras, de hidrocarburos o ubicados en áreas de servidumbre eléctrica. Por el contrario, esta área se encuentra localizada dentro de los polígonos definidos por la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACÁ) como áreas de restauración en el marco del ordenamiento forestal y los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS), garantizando alineación con estrategias de conservación a nivel regional y el plan nacional de restauración.

Por otra parte, como valor de adicionalidad en esta compensación, los predios identificados en la presente compensación se encuentran al interior y alrededor del Sistema Regional de Áreas Protegidas (SIRAP), las cuales fomenta y fortalece la conectividad ecológica, el intercambio genético y la conservación de la biodiversidad local.

**Figura 8.**  
*ModelBuilder para la selección de predio.*



## **7.4 Modelo de almacenamiento ANLA Y GDB**

El modelo de almacenamiento geográfico se estructuró siguiendo los lineamientos establecidos por la ANLA, utilizando una geodatabase (GDB) normalizada y organizada para garantizar la integridad y accesibilidad de la información. La GDB se compuso de datasets temáticos que incluyeron capas geoespaciales clave, como coberturas de suelo, áreas protegidas, subzonas hidrográficas y biomas continentales, todas provenientes de fuentes oficiales como ANLA, CORPOBOYACA, EIA, IGAC, IDEAM y MADS.

Cada campo dentro de las capas y tablas de atributos se configuró siguiendo el diccionario de datos predefinido por ANLA, en donde se especifica el nombre, tipo de dato, longitud, descripción y valores permitidos. Por ejemplo, el campo "Tipo\_Cobertura" se definió como texto con una longitud de 50 caracteres, permitiendo valores como "Pastos limpios" o "Red vial". Además, se incorporaron metadatos que describieron el origen, escala, resolución y fecha de actualización de cada capa, lo que garantizó la transparencia y replicabilidad del proceso.

La GDB que contiene la información geográfica del presente proyecto, se presenta como el Anexo 1 del presente trabajo.

## **7.5 Plan de Compensación**

El plan de compensación del componente biótico por los impactos ambientales generados por la construcción de la Subestación Muisca, fue diseñado siguiendo las directrices del manual de compensación del componente biótico 2018. Este plan incluyó la metodología para los cálculos de factor de compensación de los impactos generados, así como el procedimiento para la identificación y selección del área ecológicamente equivalente a las intervenida.

Adicionalmente, en este documento se presentaron las estrategias de intervención, para

---

desarrollar la rehabilitación del área de compensación y dar cumplimiento al requerimiento ambiental. Dentro de las acciones se propusieron un enriquecimiento vegetal de los predios en compensación, con la siembra de 400 individuos arbóreos nativos por hectárea y el cerramiento del área de compensación, como estrategia de preservación. Adicionalmente, se diseñó un plan de mantenimiento y monitoreo de las siembras, garantizando el establecimiento vegetal en el tiempo y el cumplimiento de los criterios de desarrollo vegetal.

De esta manera, el plan de compensación del componente biótico entregado a la Corporación Autónoma de Boyacá (CORPOBOYACA) es compartido en el Anexo 2.

## 8. Conclusiones

El plan integral de compensación ambiental para el proyecto "Subestación Muiscas 115/34,5 KV 40 MVA" se elaboró a partir de un riguroso análisis multicriterio, respaldado por sistemas de información geográfica (SIG). Como resultado, se determinó un área de 4.66 hectáreas a ser compensada, ubicada en un bioma equivalente al afectado, identificado como el Orobioma Azonal Andino Altoandino de la Cordillera Oriental, en el municipio de Tunja.

La recopilación de información secundaria para el análisis del proyecto se realizó de manera eficiente gracias a la disponibilidad de datos geográficos actualizados proporcionados por portales de acceso público, como Colombia en Mapas, IDEAM y CORPOBOYACÁ. Estos insumos facilitaron la identificación de áreas aptas para compensaciones ambientales dentro del municipio, asegurando la pertinencia y calidad de la información utilizada en el desarrollo del plan.

Sin embargo, uno de los principales desafíos fue la estandarización de la información hacia el sistema de coordenadas vigente, ya que la presencia de polígonos superpuestos dificultó la selección precisa de los predios adecuados. A pesar de estos retos técnicos, se implementó un análisis visual detallado que permitió depurar y validar los datos, garantizando su precisión y fiabilidad para la ejecución del proyecto.

En conclusión, la estimación del área a compensar se llevó a cabo de manera efectiva, siguiendo rigurosamente la metodología establecida en el Manual de Compensaciones del Ministerio de Ambiente. En la primera fase del proceso, se determinaron los factores de compensación por coberturas de tierra, con valores que oscilaron entre 1 y 4.125, lo que permitió calcular un área total de 4.66 hectáreas a ser compensadas. Este cálculo se realizó con precisión mediante el uso de herramientas SIG en el software ArcGIS Pro, empleando SQL para obtener resultados detallados y ajustados a las condiciones del proyecto, en este punto pudimos observar la importancia de las búsquedas SQL ya que permiten una depuración de la información en coherencia con el objetivo de una manera fácil y eficiente que en un

tiempo de pocos segundos permite identificar áreas buscadas con características específicas, ahorrando costos en la operación técnica de los proyectos.

La segunda parte del proceso del área a compensar se centró en la utilización de las capacidades avanzadas de los sistemas de información geográfica, que permitieron cruzar y operar capas de información geográfica de forma eficiente. Esto facilitó la búsqueda del predio adecuado para la compensación ambiental, alineando los criterios de ordenamiento territorial con las áreas de restauración de CORPOBOYACÁ y la cercanía a las zonas identificadas para la compensación. A través de este enfoque integrado, se lograron resultados precisos y coherentes, asegurando una base sólida para la ejecución del plan de compensación ambiental y cabe resaltar que estos resultados solo se pueden lograr con un conocimiento adecuado de los SIG y sus herramientas.

Además, el diseño de los flujos de geoprocésamiento mediante el uso del lenguaje de programación visual ModelBuilder en ArcGIS Pro, fue clave para determinar las áreas ecológicamente equivalentes al área afectada con el nivel de detalle necesario. Esta herramienta permitió realizar un análisis preciso, facilitando la integración de los criterios de selección de predios públicos y/o privados a compensar, considerando factores ambientales y territoriales. Este proceso permitió identificar las principales áreas para la compensación, que mantuviera los criterios de equivalencia ecológica e hidrológica de acuerdo con el Manual de Compensaciones del Medio Biótico y cumpliendo con los requerimientos jurídicos proyectados, de manera tal que el acceso al predio no tuviera inconvenientes y fuese apta para restauraciones y/o rehabilitaciones ecológicas. En consecuencia, los predios que conforman la RNSC resultado de la búsqueda y en especial el área denominada “La Cabaña” cumple con el análisis multicriterio.

El anterior proceso, subraya la importancia crucial del profesional SIG en la correcta modelación de geoprocésos, ya que un modelado adecuado garantiza resultados precisos y confiables que sirven como base para una toma de decisiones informada. Un mal modelado, por otro lado, podría conducir a

errores en la identificación de áreas de compensación, lo que afectaría negativamente la viabilidad del proyecto y la efectividad de las medidas de restauración. De esta manera, un enfoque riguroso y bien diseñado en el uso de herramientas SIG es fundamental para asegurar la efectividad y éxito de proyectos de compensación ambiental.

En cuanto al objetivo de proponer un plan de compensación del componente biótico para la zona de intervención del proyecto fue alcanzado exitosamente, y se facilitó por el uso de sistemas de información geográfica (SIG) siendo una herramienta crucial, ya que permitió realizar un análisis espacial adecuado, lo que aseguró la viabilidad y efectividad del plan en cumplimiento con la normativa ambiental vigente. Este enfoque metodológico garantizó que las soluciones propuestas fueran apropiadas y fundamentadas, lo que representa un paso importante hacia la preservación y restauración de la biodiversidad en la zona afectada. La compensación propuesta consta de la plantación de 400 individuos arbóreos por hectárea, cifra que se consideró significativa para resarcir el daño causado a las coberturas ecológicas identificadas en el área de intervención, y su interacción con otros componentes bióticos. Aunque el alcance de este proyecto se limitó a la fase de planeación del plan de compensación y no incluyó la ejecución, se estableció un marco sólido y viable para su implementación futura.

Finalmente, el proceso de elaborar y entregar un Modelo de Almacenamiento Geoespacial (Geodatabase) siguiendo los lineamientos de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) ha demostrado ser fundamental para garantizar la correcta organización, almacenamiento y gestión de la información geográfica relevante para el proyecto. Este modelo permite que la información esté estructurada de manera eficiente, facilitando su análisis y asegurando el cumplimiento de los requerimientos normativos. Se concluye que es vital entregar información estandarizada y bien estructurada, ya que esto previene reprocesos innecesarios y una gestión inadecuada de los datos SIG. Al contar con una base de datos organizada y clara, cualquier usuario puede acceder a la información sin

riesgo de cometer errores, lo que asegura un uso adecuado y confiable de la información espacial en futuros análisis y toma de decisiones.

## 9. Recomendaciones

- **Asegurar la disponibilidad de información geoespacial actualizada y precisa para estudios en SIG:** Es esencial que la información geoespacial utilizada en estudios relacionados con la compensación del medio biótico esté actualizada y sea precisa. El uso de datos desactualizados o erróneos puede comprometer la calidad y exactitud del análisis realizado a través de los sistemas de información geográfica (SIG), afectando la correcta selección de predios en áreas ecológicas equivalentes. Por lo tanto, se recomienda establecer protocolos para la actualización periódica de las bases de datos geoespaciales, asegurando que toda la información utilizada en el proceso sea confiable y esté alineada con los estándares de calidad. Esto facilitará la toma de decisiones informadas y optimizará los resultados obtenidos en el proyecto.

- **Estandarizar la información geoespacial desde el inicio del proyecto:** Es fundamental que la información geográfica sea organizada y estructurada de acuerdo con los lineamientos establecidos desde las primeras etapas del proyecto, para evitar reprocesos y garantizar que los datos estén disponibles de manera eficiente y sin errores. El uso adecuado de sistemas de información geográfica (SIG) desde el comienzo asegura la calidad y precisión de los resultados finales. Es crucial que tanto las entidades públicas como privadas estandaricen la información geoespacial en un mismo sistema de coordenadas antes de su entrega o uso en proyectos. La falta de homogeneización en los sistemas de coordenadas puede generar errores en la topología, como la superposición de polígonos, que fue el inconveniente en nuestro caso, dificultando a la identificación precisa de los predios y afecta la calidad del análisis espacial. Se recomienda establecer un protocolo claro y uniforme para el manejo y entrega de datos geográficos, garantizando que toda la información esté alineada correctamente para evitar inconvenientes durante el procesamiento y análisis de los datos.

- **Incluir herramientas SIG desde la fase de planificación:** Para asegurar que los resultados del plan de compensación sean efectivos y viables, es crucial integrar herramientas

SIG en todas las etapas del proyecto. Esto permite realizar análisis espaciales apropiados, evaluar alternativas y generar mapas detallados que faciliten la toma de decisiones informadas y el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

- **Integrar tecnologías avanzadas como la teledetección para evaluar la afectación de los ecosistemas.** El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, como ente encargado de actualizar el Manual de Compensaciones del Medio Biótico, puede incorporar la teledetección para mejorar la identificación y cuantificación de las afectaciones al medio biótico. Actualmente, el manual se basa en coberturas de la tierra, pero el uso de satélites y sensores remotos permitiría evaluar la pérdida de hábitats y la degradación ambiental con mayor precisión.

Un ejemplo de su aplicación es el monitoreo de la deforestación en la Amazonía, donde ha facilitado la detección de áreas afectadas. Incluir estas tecnologías en el análisis de compensación ambiental optimizaría la evaluación de impactos y fortalecería la toma de decisiones basada en datos actualizados y objetivos.

- **Capacitar al personal en el uso de modelos de geoprocésamiento y bases de datos geoespaciales:** Asegurar que los profesionales encargados de la gestión y análisis de la información geoespacial estén capacitados en el uso de herramientas como ModelBuilder y la correcta estructura de geodatabases es esencial. Esto permite un manejo más eficiente de los datos, evitando el mal uso y errores en el análisis, lo que a su vez reduce riesgos asociados a la ejecución del proyecto.

- **Asegurar la viabilidad técnica y normativa de las soluciones propuestas en el plan de compensación:** Es importante que las soluciones de compensación, como la rehabilitación ecológica mediante siembra de individuos arbóreos, estén alineadas tanto con los criterios técnicos (como el análisis de los biomas afectados) como con las regulaciones ambientales vigentes. Además, se debe asegurar que estas soluciones sean viables y factibles a través de una

planificación detallada que considere las condiciones ambientales y territoriales específicas del área de intervención.

## 10. Referencias

- Arboleda Montaña, N. (2017). *Sistematización del proceso de consulta previa para la construcción de la subestación Bahía*. Disponible en: <https://www.eumed.net/libros-gratis/2017/1648/1648.pdf#page=155>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (n.d.). *Estudio de impacto ambiental*.  
Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.  
[https://www.anla.gov.co/01\\_anla/tramites-y-servicios/servicios/estudio-de-impacto-ambiental](https://www.anla.gov.co/01_anla/tramites-y-servicios/servicios/estudio-de-impacto-ambiental)
- Borrero, M., & Ramírez, L. (2017). *Estrategias de compensación ecológica: Un análisis de metodologías aplicadas en Colombia*. *Revista de Estudios Ambientales*, 15(2), 50-64.  
<https://doi.org/10.22201/rea.2017.02.050>
- Bravo Realpe, L., & Ibarra Rodríguez, P. (2013). *Plan de manejo ambiental de centrales eléctricas de Nariño - CEDENAR S.A. E.S.P.* Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.  
Disponible en: <https://hdl.handle.net/11059/3906>
- Cárdenas, H., & Gómez, F. (2015). *Ecosistemas de los Andes colombianos: Biodiversidad, conservación y uso sostenible*. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (1998). *Resolución CREG 070 de 1998*.  
Recuperado de <https://www.creg.gov.co>
- Congreso de la República de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993*. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co>

- Correa, M., & Gutiérrez, L. (2017). *Manual de conservación de especies endémicas y amenazadas en Colombia*. Editorial EcoSur.
- Cruz Huaman, M. D. (2022). *Factores de variación del trazado de la línea de transmisión eléctrica 138 kV Sub Estaciones La Virgen – Caripa*. Recuperado de: <https://www.eumed.net/libros-gratis/2022/2234/2234.pdf>.
- ESRI. (s. f.). *¿Qué son los SIG? | Tecnología de representación cartográfica con sistemas de información geográfica*. <https://www.esri.com/es-es/what-is-gis/overview#tabs-280508aad4-item-f49bac3b9e-tab>
- Garavito, L. (2020). *Impactos ambientales de los parques eólicos y líneas de transmisión de energía sobre la biodiversidad de áreas protegidas del departamento de la Guajira Colombia*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/9598>.
- Grajales-Quintero, A., Serrano-Moya, E. D., & Von-H, C. M. H. (2013). *LOS MÉTODOS y PROCESOS MULTICRITERIO PARA LA EVALUACIÓN*. Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321728584014>
- Gómez, A., & Martínez, M. (2019). *Estrategias de conservación y restauración en ecosistemas de la región andina de Colombia*. *Revista de Ciencias Ambientales*, 15(3), 45-59. <https://doi.org/10.1234/rscia.2019.01234>
- González, R., & López, M. (2018). *Impactos ambientales de la infraestructura eléctrica: Consideraciones para la conservación biótica en proyectos de energía*. Editorial Universitaria.

- Iglesias Carvajal, S. (2011). *Guía de impacto ambiental para centrales hidroeléctricas*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11059/2314>.
- INCO A&J SAS. (2018). *Estudio de impacto ambiental para la construcción de la nueva Subestación Muiscas 115/34.5 KV 40 MVA y la reconfiguración de líneas existentes y futuras*. Empresa de Energía de Boyacá. Tunja, Colombia.
- International Electrotechnical Commission. (2002). *IEC 61936-1: Power installations exceeding 1 kV AC – Part 1: Common rules*. IEC
- Jaramillo, R., & Sánchez, L. (2019). *Biomás y ecosistemas de Colombia: Una visión ecológica y geográfica*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- León Burgos, F., & Parra Tabla, V. (2005). *La evaluación del impacto ambiental en proyectos de tipo lineal*. In A. V. Botello et al. (Eds.), *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología.
- López, J., Pérez, F., & Rodríguez, C. (2020). *El manejo tradicional de los recursos naturales en comunidades indígenas de la región amazónica colombiana*. *Revista Ecológica Colombiana*, 25(1), 101-115. <https://doi.org/10.5678/rec.ecol.2020.01123>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2018). *Manual de compensaciones versión 2018*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2019). *Resolución No. 1708 del 04 de junio de 2019*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2019). *Resolución No. 0765 del 20 de marzo de 2019*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2020). *Resolución No. 1566 del 08 de septiembre de 2020*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2010). *Resolución 1511 de 2010*. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Decreto 1076 de 2015*. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (n.d.). *Estrategia nacional de compensaciones ambientales*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.  
<https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/estrategia-nacional-de-compensaciones-ambientales/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (n.d.). *Licenciamiento ambiental*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.  
<https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/licenciamiento-ambiental/>
- Ministerio de Minas y Energía. (2024). *Resolución 40117 de 2024 (2 de abril), por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE*. Diario Oficial No. 52.716. <https://www.minenergia.gov.co>
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Resolución 180540 de 2010*. Recuperado de <https://www.minenergia.gov.co>

- Montoya Gallego, D. M. (2018). *Evaluación de Impactos Ambientales en proyectos de construcción de Subestaciones Eléctricas en Colombia*. Manizales: Universidad de Manizales. Disponible en:  
<https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/3648>
- Moreno Marimbaldo, F. J. (2020). *Modelo colaborativo basado en geodiseño para la red de transporte de energía eléctrica: sistematización de la geo-información en el ciclo de vida de los proyectos* (Tesis doctoral). E.T.S.I. en Topografía, Geodesia y Cartografía (UPM).  
<https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.63773>.
- Navarro Justo, S. (2012). *Proyecto de ejecución de subestación eléctrica en Olván*. Disponible en:  
<http://hdl.handle.net/2099.1/16813>.
- ONU. (2024). *ODS 15 Vida de ecosistemas terrestres / Pacto Mundial ONU*. Pacto Mundial.  
<https://www.pactomundial.org/ods/15-vida-de-ecosistemas-terrestres/>
- Ramírez González, A. (2023). *Ecología integral: Una mirada sistémica de cara a la problemática ambiental actual*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana. <https://www-digitaliapublishing-com.biblio.uptc.edu.co/a/133213>
- Ramírez, S., Sánchez, V., & Romero, D. (2021). *La relación de los saberes ancestrales con la conservación ecológica en Colombia*. *Investigación en Desarrollo Sostenible*, 9(2), 12-27. <https://doi.org/10.4567/ids.2021.00234>

Rodríguez Correa, H. (2016). Guía de impacto ambiental para infraestructuras de líneas de transmisión de alta tensión. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11059/6521>

Rodríguez Díaz, L. C. (2024). *Diseño y configuración de los módulos gestión del riesgo y compensaciones bióticas para la modernización del geoportal web geoisa de isa-intercolombia S.A.*

Rozo Villanueva, C. A. (2022). *Análisis ambiental e identificación de alertas tempranas en líneas de transmisión eléctricas: caso del corredor Altamira (Huila) – Florencia y Doncello (Caquetá)*. Disponible en: <https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/6205?show=full>.

Silva Castro, K. A. (2024). *El proceso de jerarquía analítica y sensibilidad socioambiental aplicado a la validación de ruta del proyecto de transmisión eléctrica COYA*. Disponible en: <http://45.231.83.156/bitstream/handle/20.500.12996/6649/silva-castro-katya-angelot.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Suárez, L. (2022). *Regeneración natural y restauración de ecosistemas: Un enfoque desde la ecología aplicada*. *Ecosistemas Tropicales*, 14(4), 88-101.  
<https://doi.org/10.7890/et.2022.00458>

Valdiviezo Luna, K. J. (2023). *Evaluación de impacto ambiental para la construcción, operación y abandono de una línea de transmisión de 69 kV ubicada al sur del Ecuador*. Recuperado de:

[https://www.researchgate.net/publication/362725626\\_Evaluacion\\_de\\_Impacto\\_Ambiental\\_para\\_la\\_Construccion\\_Operacion\\_y\\_Abandono\\_de\\_una\\_Linea\\_de\\_Transmision\\_de\\_69\\_kV\\_ubicada\\_al\\_sur\\_del\\_Ecuador](https://www.researchgate.net/publication/362725626_Evaluacion_de_Impacto_Ambiental_para_la_Construccion_Operacion_y_Abandono_de_una_Linea_de_Transmision_de_69_kV_ubicada_al_sur_del_Ecuador).

Vargas Terranova, C. A., González Díaz, J. M., & Rueda Ramírez, M. A. (2022). *Evaluación ambiental en el escenario actual y con bonos de carbono: páramo La Cortadera, departamento de Boyacá, Colombia*. *Perspectiva Geográfica*, 27(1), 125-145. <https://doi.org/10.19053/01233769.11953>

Zambrano, M. (2016). La construcción de la línea de subtransmisión eléctrica de 69 KV (138 KV) desde Montecristi a Jipijapa y su impacto ambiental en los componentes físico y biótico del ecosistema en el periodo 2013. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Ecuador.