

**Cuantificar por medio de un análisis de imágenes multitemporal, el cambio de coberturas naturales en el DRMI Páramo de Rabanal, con el fin de evaluar las actividades dirigidas a mejorar la cobertura natural.**

**José Daniel González Vaca**

Informe final de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director

Omar Castrillón Osorio

Director Externo:

Stefany Julieth Cepeda Calderón

Especialista SIG – Áreas Protegidas CORPOCHIVOR

Análisis y Modelamiento Espacial

Grupo de Investigación y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Manizales - Año 2023

## Resumen

El presente trabajo cuantifica los cambios de coberturas naturales presentes en el área protegida correspondiente al Distrito Regional de Manejo Integrado -DRMI Páramo de Rabanal para los años 2019 y 2022, correspondientes al rango temporal de la implementación y ejecución de programas, proyectos y actividades propuestas enmarcadas en el Plan de Manejo Ambiental – PMA del mencionado DRMI; todo esto, por medio del procesamiento de imágenes de sensores remotos (Clasificación de coberturas) y geoprocесamientos en software geográfico. Se analizan los cambios evidenciados sobre las coberturas en los periodos de estudio, se relaciona con las actividades ejecutadas por la autoridad ambiental (Corporación Autónoma Regional de Chivor – CORPOCHIVOR) en el marco de sus funciones misionales, teniendo en cuenta los datos disponibles expresados en información vectorial y raster reportada en el proceso de seguimiento del PMA, así como bases de datos institucionales, esto con el fin de validar el cumplimiento del objetivo de dichas actividades.

**Palabras clave:** Área Protegida, DRMI, PMA, Coberturas de la tierra, Sensores Remotos

## Abstract

This paper quantifies the changes in natural cover present in the protected area corresponding to the Regional Integrated Management District - RIMD Páramo de Rabanal for the years 2019 and 2022, corresponding to the time range of the implementation and execution of programs, projects and proposed activities that were carried out in the Environmental Management Plan - EMP of the aforementioned RIMD; all this, through the processing of images from remote sensors (Cover Classification) and geoprocessing in geographic software. It analyses the changes in coverage during the study periods and relates to the activities carried out by the environmental authority (Corporación Autónoma Regional de Chivor – CORPOCHIVOR) within the framework of its missional functions, taking into account the available data expressed in vector and raster information reported in the EMP monitoring process, as well as institutional databases, with a view to validating the fulfilment of the objectives of these activities.

**Keywords: Protected área, DRMI, PMA, Land covers, Remote sensing.**

# Contenido

	<b>Pág.</b>
<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>14</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
<b>3. ANTECEDENTES .....</b>	<b>15</b>
<b>4. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL .....</b>	<b>33</b>
<b>5. REFERENTE TEÓRICO .....</b>	<b>35</b>
<b>6. METODOLOGÍA.....</b>	<b>42</b>
6.1 ENFOQUE METODOLÓGICO.....	42
6.2 TIPO DE ESTUDIO.....	42
6.3 PROCEDIMIENTO .....	43
6.3.1 FASE INICIAL: Recolección y depuración de información. ....	43
6.3.2 FASE 1: Clasificación de coberturas .....	48
6.3.3 FASE 2: Análisis multitemporal .....	77
6.3.4 FASE 3: Evaluación actividades del Plan de Manejo Ambiental.....	78
<b>7. RESULTADOS .....</b>	<b>89</b>
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>101</b>
<b>9. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>104</b>
<b>10. REFERENCIAS.....</b>	<b>105</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura: 1</b> .....	37
<b>Figura: 2</b> .....	44
<b>Figura: 3</b> .....	46
<b>Figura: 4</b> .....	47
<b>Figura: 5</b> .....	50
<b>Figura: 6</b> .....	56
<b>Figura: 7</b> .....	56
<b>Figura: 8</b> .....	57
<b>Figura: 9</b> .....	59
<b>Figura: 11</b> .....	63
<b>Figura: 12</b> .....	64
<b>Figura: 13</b> .....	66
<b>Figura: 14</b> .....	67
<b>Figura: 15</b> .....	69
<b>Figura: 16</b> .....	70
<b>Figura: 17</b> .....	71
<b>Figura: 18</b> .....	72
<b>Figura: 19</b> .....	73
<b>Figura: 20</b> .....	74
<b>Figura: 21</b> .....	75
<b>Figura: 22</b> .....	75
<b>Figura: 23</b> .....	76
<b>Figura: 24</b> .....	83
<b>Figura: 25</b> .....	90
<b>Figura: 26</b> .....	91
<b>Figura: 27</b> .....	93
<b>Figura: 28</b> .....	94
<b>Figura: 29</b> .....	95
<b>Figura: 30</b> .....	96
<b>Figura: 31</b> .....	97
<b>Figura: 32</b> .....	98
<b>Figura: 33</b> .....	99

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1.....	37
Tabla 2.....	44
Tabla 3.....	46
Tabla 4.....	47
Tabla 5.....	60
<i>Tabla 6</i> .....	61
Tabla 7.....	68
Tabla 8.....	77
Tabla 9.....	78
Tabla 10.....	79
Tabla 11.....	80
Tabla 12.....	81
Tabla 13.....	82
Tabla 14.....	84
Tabla 15.....	85
Tabla 16.....	86
Tabla 17.....	89
Tabla 18.....	90
Tabla 19.....	91
Tabla 20.....	92
Tabla 21.....	92
Tabla 22.....	100

## Lista de símbolos y abreviaturas

### Abreviaturas

---

Abreviatura	Término
CLC	Corine Land Cover
CORPOCHIVOR	Corporación Autónoma Regional de Chivor
DRMI	Distrito Regional de Manejo Integrado
ERSA	Esquema de Retribución por Servicios Ambientales
GDB	Geodatabase
ha	Hectárea
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
MADS	Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
NIR	Infrarrojo Cercano
PDI	Procesamiento Digital de Imágenes
PMA	Plan de Manejo Ambiental
PSA	Pago por Servicios Ambientales
REDD	Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero - Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation
RGB	Red Green Blue
SIAT	Sistema de Información Ambiental Territorial
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SINA	Sistema Nacional Ambiental

UAV                    Vehículo Aéreo no Tripulado

VIS                    Visible

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

## **1.1 Descripción del área problemática**

La protección al medio ambiente se ha convertido en los últimos años en un tema muy álgido y de gran importancia, tanto para los estados como para los habitantes de un territorio; esto en gran medida motivado por las afectaciones, ya bastante evidentes, que el cambio climático ha traído recientemente.

Colombia, al ser parte de las Naciones Unidas, y adoptar sus objetivos de desarrollo establecidos en el año 2015, dentro de los cuales se resalta el ítem 15.4 “Para 2030, velar por la conservación de los ecosistemas montañosos, incluida su diversidad biológica, a fin de mejorar su capacidad de proporcionar beneficios esenciales para el desarrollo sostenible” (Objetivos de Desarrollo Sostenible | Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo, s. f.); abordando este objetivo desde el análisis espacial, se establece una analogía a mantener las coberturas naturales, y en lo posible, aumentar su cubrimiento.

El estado, por medio de la ley 99 de 1993 crea las corporaciones autónomas regionales, y en su artículo 23 establece que son encargadas “por la ley de administrar, dentro del área de su jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables” (p. 15). En ese orden de ideas, las corporaciones deben implementar acciones encaminadas al mantenimiento de las coberturas naturales en su jurisdicción.

Uno de los instrumentos de ordenación existentes y aplicables por las corporaciones para la implementación de políticas ambientales en su jurisdicción corresponde a los Distritos Regionales de Manejo Integrado (DRMI), los cuales establecen una distribución espacial de los usos óptimos del territorio, esto con el fin de conservar, planificar y regular el uso de determinadas áreas definidas como de importancia ambiental.

El territorio, independientemente de sus condiciones naturales se consolida como uno de los insumos fundamentales para el progreso económico de sus pobladores. Por tal motivo, siempre existirá presión sobre el uso que se desarrolle en él; en ese aspecto, los DRMI a partir de la zonificación, planes, proyectos y actividades del Plan de Manejo Ambiental - PMA, pretende conservar y establecer una transformación paulatina de los usos antrópicos y retornar a coberturas naturales, tratando de no afectar negativamente a la población asentada en el territorio, es decir, respetando las áreas productivas con las que cuenta la población desde el momento de la declaratoria del DRMI.

Las autoridades ambientales, dentro de la implementación de los DRMI a través de sus PMA, deben realizar un seguimiento a las actividades formuladas dentro de los mismos, usualmente por medio de indicadores internos asociados a las actividades incluidas en los documentos; si bien dichos indicadores cuantifican el avance de los PMA de manera puntual, no permiten obtener una visión global del cumplimiento del mismo a partir de una variable medible en el territorio. Por tal motivo, se plantea medir el cumplimiento de las actividades definidas dentro de la implementación del PMA en el DRMI por medio de la identificación de cambios en las coberturas naturales, ya sea de intervenidas a naturales (positivo) o de naturales a intervenidas (negativas), permitiendo de esta forma cuantificar en hectáreas las diferencias existentes en el territorio antes y después de la realización de dichas actividades.

En la jurisdicción de CORPOCHIVOR, el DRMI del Páramo de Rabanal se encuentra en el municipio de Ventaquemada, el cual, tradicionalmente ha presentado actividades económicas tales como la agricultura, la ganadería y la explotación minera, especialmente la relacionada al carbón; en este orden de ideas, se puede afirmar que las coberturas naturales de la zona se ven ampliamente afectadas por el desarrollo de dichas actividades económicas, esto debido a que se requiere, en muchos casos, la intervención del territorio (deforestación) para el desarrollo de las mismas.

En muchas ocasiones, la comunidad genera cierto tipo de oposición a la implementación de instrumentos de planeación de tipo ambiental que interfieran con el libre desarrollo de sus actividades económicas; sin embargo, dichas restricciones son necesarias para la conservación del medio ambiente. Una posible forma de cambiar la mentalidad o visión de la comunidad es demostrar de forma visual y cuantificable los beneficios de dichos instrumentos de planeación, para este caso en particular, el Plan de Manejo Ambiental del DRMI. Para esto se requiere abordar otro tipo de indicadores para los PMA; y que mejor manera que relacionar las actividades desarrolladas dentro de la implementación del mismo, la variable cobertura natural y las actividades antrópicas que se presentan en el territorio, para que, de una forma gráfica, se evidencie claramente la relación, ya sea positiva o negativa entre las mismas.

## **1.2 Formulación del problema**

¿El aumento o disminución de coberturas naturales en el polígono del DRMI Páramo de Rabanal están relacionadas con las actividades desarrolladas durante la implementación del Plan de Manejo Ambiental - PMA?

### 1.3 Justificación

La metodología básica de evaluación de la efectividad de los planes de manejo ambiental se fundamenta en el establecimiento de metas e indicadores sobre las actividades propuestas en los proyectos y programas que se formularon dentro la elaboración del mismo. Dichos indicadores se pueden expresar en unidades de medida tanto físicas como porcentuales.

La reforestación o conversión de coberturas intervenidas a naturales siempre hace parte de los planes o proyectos definidos dentro de los PMA, ya que tienen como objetivo conservar o ampliar la cobertura natural del área; es común que la cuantificación de avance de dichas actividades este expresada como: cantidad de hectáreas reforestadas, número de árboles sembrados o número de predios adquiridos para conservación; estas, si bien son medidas adecuadas, no permiten establecer la efectividad real global en el tiempo de la implementación de un PMA sobre el territorio.

A partir de un análisis multitemporal sobre imágenes satelitales, es posible determinar y cuantificar metódicamente los cambios de coberturas (naturales vs intervenidas) y expresarlos en una medida de área, independientemente de que estos cambios sean positivos o negativos. Partiendo de los datos obtenidos en el análisis, es posible establecer la variación real desde el periodo previo a la implementación del PMA y el posterior, luego del cumplimiento de las actividades propuestas. Adicionalmente, si los indicadores o los soportes de las actividades cuentan con información de georreferenciación, es posible realizar un análisis espacial para comprobar la efectividad de las mismas, claro está, asociadas directamente al cambio en las coberturas naturales e intervenidas de la zona de estudio.

Los resultados obtenidos a partir del análisis anterior pueden llegar a ser útiles para los formuladores de los PMA, ya que, a partir de una medida real, sobre un periodo de tiempo

---

establecido, es posible cuantificar el cumplimiento de las medidas implementadas sobre el territorio, adicionalmente si los cambios (aumento o disminución) de cobertura vegetal están relacionados a dichas actividades o por el contrario a las dinámicas socioeconómicas y naturales del área de estudio.

Las autoridades ambientales siempre están buscando nuevos métodos para evaluar la efectividad de sus actividades, en lo posible, metodologías replicables en otros procesos o territorios de su jurisdicción y que se realicen a partir de información de fácil acceso; en este orden de ideas la implementación de análisis sobre imágenes satelitales, usualmente existentes en las entidades, ya que son usadas para múltiples actividades y procesos se convierte en una excelente alternativa para reducir costos y aumentar beneficios.

Desde el punto de vista de la comunidad, si la autoridad ambiental presenta de una manera visual y de fácil interpretación los cambios asociados, tanto a las actividades implementadas por el PMA como las antrópicas que afectan el territorio, es posible obtener un apoyo significativo en el momento de implementar medidas de recuperación de las coberturas naturales e incluso de restricción a ciertas actividades económicas y sociales que afectan negativamente el medio ambiente.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Cuantificar por medio de un análisis de imágenes multitemporal, el cambio de coberturas naturales en el DRMI Paramo de Rabanal, con el fin de evaluar el cumplimiento de las actividades dirigidas a mejorar la cobertura natural.

### **2.2 Objetivos específicos**

Establecer el estado o condición de la cobertura natural y su distribución dentro del área del DRMI Páramo de Rabanal para el año 2019 y 2022.

Realizar el análisis multitemporal sobre las coberturas de la tierra en el área correspondiente al DRMI Páramo de Rabanal con el fin de establecer cambios en áreas de coberturas naturales.

Analizar la relación entre los cambios de coberturas naturales y las actividades ejecutadas en el marco del Plan de Manejo Ambiental – PMA del DRMI Páramo de Rabanal enfocadas al aumento de cobertura natural.

### 3. Antecedentes

Históricamente, y como se menciona en su página principal, “Durante más de 40 años, el programa Landsat ha recopilado información espectral de la superficie de la Tierra” (Landsat NASA, 2021), las imágenes producidas por este programa de sensores remotos son muy usadas por investigadores y estudiantes de todo el mundo, si bien su resolución espacial no es la mejor, es suficiente para realizar una gran cantidad de estudios a escalas aceptables, usualmente asociadas a un cubrimientos espaciales amplios sobre el territorio.

Comúnmente, los análisis sobre coberturas vegetales se fundamentan en el uso de índices, los cuales no son más que combinaciones específicas de bandas presentes en las imágenes de sensores remotos. Un excelente ejemplo corresponde con el índice de Vegetación de Diferencia Normalizada – NDVI; “El NDVI derivado de la teledetección es una excelente herramienta para monitorear el estado de la vegetación (si se dispone de datos temporales) y establecer su dinámica temporal.” (Teodoro Lasanta, 2012). Teniendo en cuenta esta particularidad, es posible relacionar tipos de coberturas con los resultados obtenidos a partir de análisis sobre dicho índice.

Por definición el NDVI se calcula a partir de las bandas infrarrojo cercano (NIR) y visible - rojo (VIS) usando la siguiente relación.

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$$

Teniendo en cuenta lo anterior, sobre cualquier imagen de sensores remotos que capture el rango de longitud de onda asociado a esas bandas se pueden realizar cálculos de NDVI.

Existen diversidad de estudios a nivel mundial y local en los cuales se usan los sensores remotos y el cálculo de índices para realizar seguimiento o identificación de coberturas naturales. A continuación, se presenta un pequeño resumen general de algunos de los estudios consultados que se han realizado alrededor del mundo:

- Land cover characterization and mapping of continental Southeast Asia using multi-resolution satellite sensor data

Se generaron mapas históricos de coberturas y se identificaron áreas que experimentaron grandes cambios, todo esto a partir de datos satelitales multitemporales. Se identificaron áreas denominadas como puntos calientes en donde se evidenciaban con mayor facilidad estos cambios en las coberturas terrestres. Sensor: Landsat y SPOT.

“El análisis de series temporales de cambios en la cobertura del suelo y la identificación de las fuerzas impulsoras responsables de estos cambios son necesarios para la gestión sostenible de los recursos naturales y también para proyectar las trayectorias futuras de la cobertura del suelo” (Giri et al., 2003)

Es importante tener presente este tipo de apreciaciones, no solo es necesario identificar y cuantificar los cambios en las coberturas, es imperativo determinar cuáles son las fuentes o detonantes de estos cambios, para que a través del ordenamiento territorial o ambiental se establezcan medidas de mitigación y/o cambio.

(Giri et al., 2003)

- Forest Cover Classification With MODIS Images in Northeastern Asia

Se realizó un mapeo de las coberturas forestales en el noreste de Asia, se dividió el área general en subregiones catalogadas por condiciones climáticas y se generaron algoritmos asociados al tipo de área boscosa de cada zona y su respectiva respuesta en los rangos de captura del sensor. Sensor: MODIS

(Fu et al., 2010)

- Monitoring vegetation change in the presence of high cloud cover with sentinel-2 in a lowland tropical forest region in Brazil

Establece una serie de algoritmos y métodos basados en sistemas de detección de nubes y modelos de clasificación de redes neuronales para minimizar los errores por presencia de nubes en el monitoreo de la deforestación en el Amazonas en el Brasil; si bien el método generó resultados aceptables aún posee algunos problemas en la clasificación de zonas afectadas por actividades antrópicas ya que no generan buenos resultados luego de aplicar los algoritmos establecidos. (Nazarova et al., 2020)

- Comparative Assessment of the Changing Pattern of Land cover along the Southwestern Coast of Nigeria using GIS and Remote Sensing techniques

A partir de imágenes multitemporales en el periodo 1984-2017 se analizó el impacto de las actividades humanas con los cambios de cobertura en las costas del suroeste de Nigeria. Aplicando métodos de clasificación supervisada se encontró que las zonas urbanas o pobladas aumentaron vertiginosamente afectando directamente las coberturas asociadas a humedales boscosos. De igual forma se realizaron predicciones para el año 2047 a partir de las tasas de cambios de coberturas identificadas en el estudio.

(Fashae et al., 2022)

- Land Cover Change Detection and Subsistence Farming Dynamics in the Fringes of Mount Elgon National Park, Uganda from 1978–20201

Se estudió, a partir de imágenes multitemporales por un periodo de 42 años los cambios de cobertura en la cuenca superior del Manafwa del monte Elgon. Como dato importante, el estudio arrojó que los esfuerzos de restauración efectuados por las comunidades nativas y partes interesadas generaron un aumento de la cobertura de bosques plantados, lo cual permitió evaluar y cuantificar la efectividad de dichos programas.

(Opedes et al., 2022)

- Complex land cover change processes in semiarid Mediterranean regions: An approach using Landsat images in northeast Spain

Se realizó un estudio a partir de imágenes satelitales landsat en el periodo 1984-2007 de los cambios de coberturas en el valle del Ebro en España. Los resultados más representativos se enmarcan en la afirmación: Las actividades antrópicas asociadas a cultivos, actividades industriales y de expansión urbana presentan una mayor rapidez de ocurrencia que los procesos naturales tales como recuperación de coberturas naturales posterior a explotación de zonas agrícolas y ocurrencia de incendios forestales.

Si bien los resultados corresponden a lo que usualmente se espera bajo estas circunstancias, estos también permiten realizar un seguimiento y cuantificar estos cambios para que a futuro las entidades del estado realicen una correcta planeación del territorio.

(Lasanta & Vicente-Serrano, 2012)

- Humid tropical forest clearing from 2000 to 2005 quantified by using multitemporal and multiresolution remotely sensed data

A partir de imágenes de alta y baja resolución y aplicando un enfoque de muestreo se logró llegar a una estrategia de monitoreo rentable de los cambios de cobertura forestal en los bosques húmedos tropicales, de esta forma se encontró una relación entre la tala de bosques y la disminución de biomasa disponible para la captura de carbono.

Este tipo de ejercicios, tiene como fin principal, generar datos y ponerlos al alcance de los tomadores de decisiones, para que a partir de datos reales y cuantificables se tomen medidas de planeación para disminuir la deforestación y mejorar el medio ambiente.

(Hansen et al., 2008)

- Time-series analysis of multi-resolution optical imagery for quantifying forest cover loss in Sumatra and Kalimantan, Indonesia

Este estudio aborda la implementación del uso de imágenes Landsat junto con otro tipo de productos de sensores remotos tales como espectroradiómetros de resolución moderada (MODIS) y modelos de series de tiempo para mejorar los resultados del seguimiento a coberturas en bosques húmedos tropicales en lugares con alta presencia de nubes.

El estudio arroja mejores resultados con este método, comparado con métodos tradicionales asociados a la complementación de imágenes ópticas de diferentes escalas temporales, los cuales no son particularmente útiles en esta zona, debido a que la deforestación está directamente relacionada con cultivos, lo cual genera un cambio rápido de coberturas con periodos cortos de ausencia de coberturas vegetales, lo que genera alteraciones en los resultados ópticos.

(Broich et al., 2011)

- UAV data for multi-temporal Landsat analysis of historic reforestation: a case study in Costa Rica

En este estudio se presenta la complementación del uso de imágenes landsat y productos de equipos UAV para el monitoreo de la deforestación en una reserva ecológica en Costa Rica. El uso de UAV se basa principalmente para capturar datos de referencia de alta resolución con el fin de generar los muestreos necesarios para las clasificaciones de las imágenes Landsat, si bien se obtuvieron resultados aceptables también se encontró que existe una dificultad en la complementación de los rangos espectrales de los diferentes sensores, lo cual puede llegar a alterar los resultados de las clasificaciones de coberturas.

(Marx et al., 2017)

- Intelligent image processing for vegetation classification using multispectral

LANDSAT data

El estudio se enfoca en aplicar técnicas estadísticas a partir de datos de diferentes sensores remotos, especialmente las firmas espectrales y por medio de redes neuronales artificiales generar metodologías para delimitar bosques e incluso cuantificar materiales combustibles dentro de los mismos.

(Santos et al., 2015)

- Detection of deforestation and analysis land conversion from high resolution

satellite imageries in Bintulu District, Serawak, Malaysia

El estudio se enfoca principalmente en identificar los cambios de cobertura en Bintulu, Borneo (Malasia), con fin de establecer la influencia de la agricultura en la deforestación de espacios naturales; principalmente asociada al cultivo de palma aceitera, para ello se usaron imágenes de 3m de resolución producto del sensor Planet Scope obteniendo hasta 90% de confianza en los resultados.

(Aik & Ismail, 2020)

- Vegetation cover estimation from high-resolution satellite images based on

chromatic characteristics and image processing

A partir de imágenes satelitales de alta resolución se establece un método para estimar cobertura vegetal, asociado a dos especies de pastos que se encuentran en el Perú (Festuca y Paco), se realizó una prueba piloto en un área de alrededor de 3800 m<sup>2</sup> y se aplicaron mediciones sobre el sistema de color HSV y algunas características morfológicas. Se llegó a una precisión del 91,56% comparándolo con métodos tradicionales.

Este tipo de estudios específicos para especies y/o coberturas específicas, permite ampliar y mejorar los sistemas de clasificación ya sea de combinación de bandas de los diferentes rangos espectrales u otros medios de clasificación, los cuales pueden ser replicados por proyectos en otros lugares del mundo.

(Huillcen Baca et al., 2020)

- Cambios en la cobertura vegetal y en el espejo de agua asociados a la influencia antrópica en el Humedal Toqui-Toqui, Tolima, Colombia

Se analizó el deterioro del humedal Toqui-Toqui en el municipio de Piedras en el departamento del Tolima a partir de variables tanto cualitativas como cuantitativas. Se realizó un seguimiento a la evolución del humedal, más específicamente del espejo de agua en el periodo 1969-2017; se generaron 3 grupos temporales de análisis sobre los cuales se realizó la identificación de coberturas y cambios en las mismas usando como insumo imágenes de sensores remotos, adicionalmente se efectuaron visitas de campo, encuestas y análisis de datos generados por las autoridades municipales y ambientales para validar y relacionar los resultados obtenidos a partir del análisis multitemporal.

Un dato relevante evidenciado en el estudio, fue la identificación de la afectación directa que generan las actividades antrópicas en la zona de interés, dentro de las cuales se mencionan la ganadería, cultivos, así como ciertas actividades de tipo minero. Luego del correspondiente análisis se generaron algunas recomendaciones por parte del autor, las cuales se relacionan con la necesidad de más presencia institucional en la zona del humedal, monitoreo participativo y educación ambiental, así como cambios de actividades humanas en el sector y/o implementación de acciones de recuperación del humedal por parte de los actores interesados.

(Sánchez, Natalia. 2018)

- Análisis multitemporal de la cobertura vegetal en el Páramo de Paja Blanca, departamento de Nariño, período 1991 –2017.

Se realizó un análisis sobre el área correspondiente al Paramo de Paja Blanca, ubicado en 7 municipios del departamento de Nariño. Teniendo en cuenta información recopilada a partir de diversas fuentes y un análisis multitemporal de coberturas realizado sobre imágenes obtenidas de satélites Landsat, se determinaron los cambios de la mismas en los periodos de estudio (1991-2017).

El autor establece una descripción detallada de las condiciones físico-ambientales de la zona de interés, las actividades económicas y sociales que allí se desarrollan y su relación con la afectación del suelo, flora y dinámicas ambientales propias del páramo.

Teniendo en cuenta dichas afectaciones, se establecen algunas estrategias asociadas a la recuperación y mantenimiento de las condiciones naturales del páramo, enfocadas principalmente en temas asociados con el sentido de apropiación del páramo, articulación con instrumentos de planeación y compensaciones entre otras.

Manchabajoy Manchabajoy, Juliana Jean. (2022)

- Análisis multitemporal de la cobertura vegetal y cambio de uso del suelo del área de influencia del programa de reforestación de la Federación Nacional de Cafeteros en el municipio de Popayán, Cauca

Se realizó la validación de programas de reforestación enfocados a la silvicultura como alternativa de producción para los municipios de Timbío, Sotará, El Tambo y Popayán,

ejecutados por la federación nacional de cafeteros por medio de un análisis multitemporal sobre imágenes landsat para el periodo 2003-2016. Usando una clasificación supervisada, se determinaron 4 grandes grupos entre los cuales están: Pastos, Plantación forestal, Bosques naturales y Zonas urbanas para las dos imágenes. Posteriormente se realizó la comparación y análisis sobre los polígonos resultantes obteniendo como resultado un aumento en la cobertura boscosa.

De la Cruz Burgos, Jenni Marcela; Muñoz García, Gustavo Adolfo. (2016).

- Modelamiento morfométrico y análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal de la subcuenca del río Molino ubicada en el municipio de Popayán, departamento del Cauca, utilizando la metodología Corine Land Cover con imágenes de sensores remotos.

El análisis multitemporal se realizó sobre imágenes Landsat para los años 1989, 2001 y 2012; para mejorar los resultados del análisis el autor optó por aplicar procesos de sinergia con el fin de disminuir el tamaño de pixel y mejorar la calidad de las imágenes insumo para el proceso.

De igual manera, se complementó el análisis de sensores remotos por medio de encuestas realizadas en campo a los pobladores de la zona de interés. Un segundo componente no menos importante del estudio, fue la delimitación de la cuenca del área de estudio a partir de procesos sobre datos de radar y red de drenajes. Como resultados finales el autor menciona la cuantificación de cambios de coberturas y una serie de recomendaciones en torno del trabajo realizado y los resultados obtenidos.

Grande Medina, Jairo David. (2015).

- Problemáticas ambientales asociadas a las actividades agropecuarias en la cuenca alta del río Mayo (Nariño - Colombia)

El autor estructura el documento a partir de aspectos fundamentales relevantes en el territorio como lo son la cobertura de la tierra, el uso del suelo, las actividades y fronteras agropecuarias, así como problemáticas ambientales de deforestación y procesos erosivos. Se realiza una definición y análisis de cada una de estas variables enfocadas en el área de estudio, es decir, la cuenca alta del río Mayo.

Un punto interesante del estudio, corresponde al hecho de abordar el tema desde dos grandes grupos, los cambios asociados a procesos de deforestación y/o intervención agropecuaria, (afectación negativa a las coberturas naturales) y la regeneración o restauración (afectación positiva), integrando de una manera gradual todas las partes interesadas, acciones y eventos que confluyen para generar los cambios sobre el territorio.

Parte del estudio se fundamenta tanto en análisis sobre información documental y secundaria como en datos primarios levantados en campo por medio de encuestas, puntos de control de coberturas, entrevistas, entre otros. Como conclusión general se determinó que las variaciones de coberturas en el área de estudio son relativamente bajas y lentas, así mismo a partir del análisis sobre información agrícola y pecuaria se encontró que en gran parte del territorio la aptitud del suelo para estas actividades es baja o media.

Narváez Bravo, Germán Edmundo. (2019).

- Incidencias de las actividades humanas sobre los recursos naturales y la cobertura vegetal en el Santuario de Flora y Fauna Galeras (SFFG) (Nariño)

El estudio aborda un análisis realizado sobre el Santuario de flora y fauna Galeras, parte desde una interpretación de sensores remotos, más específicamente imágenes Landsat para los años 1989, 2002, 2007 y 2014, posteriormente el autor realiza una clasificación de coberturas por medio de la metodología Corine Land Cover escala 1:100.000, la cual como resultado se arroja mapas de cobertura vegetal sobre los cuales se establece el análisis multitemporal.

Como complemento al análisis geográfico, adicional a la revisión de fuentes documentales secundarias, se realiza una serie de encuestas, alrededor de 70, a la comunidad del área de influencia del estudio, adicionalmente, con apoyo de esta misma comunidad se realiza un proceso de cartografía social identificando las variables más representativas por parte de la comunidad.

Dentro de las conclusiones identificadas por el autor, se menciona que, para los años del estudio se determinó una disminución de 34,12 hectáreas de bosque denso. Adicionalmente la percepción de la comunidad sobre las actividades asociadas al plan de manejo versión 2015 no es muy buena, mencionan que dicho plan solo se enfocó en la creación de guardabosque y guarda parques en el área del Santuario, restándole importancia a acciones encaminadas a la mitigación de acciones tales como extracción de leña, caza de animales y procesos de minería.

Quitiaquez Segura, Javier Eduardo. (2017).

- Estrategias de manejo para áreas objeto de conservación biológica en la Serranía del Perijá, Municipio de La Jagua De Ibirico, Cesar

Corresponde a un estudio de carácter ambiental que se desarrolló en el municipio de La Jagua de Ibirico en el departamento del Cesar, en el cual, por medio de un análisis multitemporal

junto con otras metodologías se identifican y evalúan áreas de conservación en el mencionado municipio.

El desarrollo del trabajo parte de un análisis multitemporal que se realizó sobre imágenes Landsat para los años 1986-2001-2016, generando una clasificación de coberturas bajo la metodología Corine Land Cover, empleando puntos de control sobre las coberturas identificadas (Imagen 2016), las cual se complementaron con datos obtenidos a partir de visitas de campo en puntos estratégicos identificados tanto en información secundaria como en encuestas realizadas a la población del área de interés. Como complemento a lo anteriormente descrito, se realizó una identificación de los proyectos mineros de carbón ubicados en el municipio, esto con el fin de obtener mayor precisión sobre las actividades antrópicas de gran impacto que afectan el área de estudio; como dato de interés, el autor menciona que si bien la minería genera una afectación directa sobre el ecosistema y sus coberturas, también es una fuente importante de financiación para los procesos de conservación sobre el área de influencia de dichas explotaciones.

Luego de la identificación de insumos y análisis de los mismos, se seleccionaron áreas objeto de conservación tomando como variable principal las coberturas identificadas, junto con otras igualmente importantes previamente identificadas y definidas producto del estudio bibliográfico e información primaria recolectada en campo. Sobre dichas áreas se realizó una evaluación del estado de conservación, generando una ficha de caracterización por cada una de ellas, arrojando algunas observaciones importantes tales como la necesidad de incluir zonas de alta pendiente y drenajes dentro de la categoría de áreas de conservación. De igual forma se sugiere que la categoría de manejo óptima para esta zona corresponde a un Distrito Regional de Manejo Integrado - DRMI.

Orozco Ospino, Javier Enrique; Romero Arias, Ober Adiel; Rudas Muñoz, Antonio (2017).

- Análisis multitemporal de coberturas en la subzona hidrográfica alto río Cauca utilizando imágenes satelitales Landsat

Los autores nos presentan de manera sistemática un análisis multitemporal combinando métodos de teledetección con trabajo de campo realizado sobre el área correspondiente a la cuenca alto río Cauca, para el cual se usaron imágenes Landsat (1987-2012).

Inicialmente se menciona el componente teórico relacionado con la corrección, ajuste y verificación que se realiza sobre las imágenes Landsat, teniendo en cuenta la existencia de afectaciones externas como la atmósfera y otras más particulares como fallas propias del sensor para una de las imágenes usadas. Posteriormente se explica la metodología de clasificación, evaluación de calidad y relación con los datos levantados en campo, se señalan las problemáticas evidenciadas durante el levantamiento de información, específicamente lo relacionado con las comunidades que habitan el área de interés.

Finalmente, se presenta el resultado de la clasificación de coberturas, usando la metodología Corine Land Cover, se determinan y cuantifican los cambios de cobertura y se realiza una matriz de confusión e índice kappa para verificar la exactitud de la clasificación, evaluando la concordancia de datos obtenidos y los levantados en campo. Como dato de interés, los autores indican que los pequeños cambios identificados sobre algunas coberturas, por ejemplo, la de Bosque densos (32,85 ha por año) pueden ser generados debido a los limitantes de la metodología de clasificación y/o escala de trabajo (1:100.000), por lo cual, los autores

consideran que no son representativos, es decir que se puede llegar a pensar que la cobertura de bosque se conserva adecuadamente, por lo menos durante el periodo de estudio analizado.

Navia Navia, Jimmy Alexander; Rivera Morales, Luis Eduardo. (2016).

- Análisis del cambio de la cobertura entre 1999 y 2015 del páramo de Chiles - Cumbal a través de la utilización de herramientas SIG

El presente estudio se enfoca en los municipios Cumbal, Mallama y Guachucal incluidos dentro del polígono asociado al Paramo de Chiles – Cumpal en el departamento de Nariño. Para su realización se usaron imágenes Landsat de los años 1999 y 2015 a las cuales se le aplicaron correcciones de tipo geométricas, realce de niveles digitales, corrección de nubes, sombras y atmosfera, esto con el fin de obtener mejores insumos para la ejecución del trabajo.

Se realizó un análisis multitemporal sobre las imágenes aplicando la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, enfocándola en coberturas de paramo. Para ello se determinaron las mejores combinaciones de bandas y se aplicaron algunos índices específicos para vegetación como NDVI; a partir de una clasificación supervisada realizada sobre dicha información, se determinaron áreas y cambios en las mismas para los dos periodos de análisis.

Como resultado final, el autor relaciona estadísticas de los cambios evidenciados sobre las coberturas y su relación con las diferentes actividades humanas que se desarrollan en el territorio; por último, se menciona que la cobertura más afectada en el periodo de estudio corresponde a la de paramo, con una reducción total de 1847 hectáreas, posiblemente debido a su cercanía con zonas urbanas entre otras variables antrópicas.

Bedoya Álvarez, Mary Luz; Portillo Moreno, Javier Flavio; Sáenz Cortes, Hans Rene. (2016).

- Análisis multitemporal del espejo de agua en la Laguna de Fúquene para el periodo de 1985 a 2015

Estudio realizado en la Laguna de Fúquene usando imágenes Landsat para los años 1985, 2000 y 2015, como particularidad de esta elección de imágenes, es que corresponden a 3 sensores distintos con resoluciones espaciales diferentes, lo que implica calidades de productos distintas. El autor menciona que como complemento a la información de sensores remotos y con el fin de tener variables adicionales para ajustar la clasificación de coberturas, se recolectaron datos de topografía y cartografía base generando un Modelo Digital de Terreno sobre el área de interés que sirvió de insumo para desarrollar la clasificación supervisada.

Para la clasificación de coberturas se usó la metodología Corine Land Cover generando un total de 14 coberturas para las imágenes de los años 2000-2015 y 10 para la imagen 1985; adicionalmente se realizó un análisis de matrices de cambio a partir de los cuales se determinó una tendencia de disminución del espejo de agua en el periodo 1985-2015. De igual forma se obtuvieron algunos datos de interés asociados al espejo del agua tales como la dinámica de la vegetación al interior de la laguna y su relación con la afectación por la presencia de buchón, especie invasora identificada en el cuerpo de agua.

González Bustos, Nixon Eusebio; González Mahecha, Adriana Liseth. (2015).

- Análisis comparativo de cambios de área en coberturas en la parte alta de la subcuenca río Palacé, a través de imágenes Landsat entre 1989 y 2016

Trabajo realizado sobre el área geográfica correspondiente a la parte alta de la subcuenca del Río Palace en el departamento del Cauca, usando imágenes Landsat para los periodos 1989 y 2016. Dentro de las actividades iniciales, el autor menciona que se determinó el polígono asociado al área de estudio teniendo en cuenta las restricciones de los insumos, especialmente el asociado con la resolución espacial de las imágenes disponibles, así mismo, se realizó una composición de bandas con diferentes combinaciones de tal forma que permitieran una mejor identificación de las coberturas seleccionadas por medio de la clasificación supervisada.

Posteriormente se generaron archivos tipo vector para cada una de las categorías identificadas, se realizó una validación en campo tomando puntos de control sobre los polígonos de interés. Adicionalmente se usó información secundaria para identificar y vectorizar cuerpos de agua que debido a la resolución espacial de las imágenes (30 m) no se podían determinar en el procesamiento de los mismo, pero que son de vital importancia para el desarrollo del estudio.

Como resultado final se obtuvieron los cambios de coberturas a través del tiempo y la identificación de las que tuvieron mayor y menor cambio en el periodo de estudio, se evidencio que las actividades antrópicas son una de las causas más representativas en el cambio de coberturas naturales al ser reemplazadas por cultivos y pastizales.

Chantre Velasco, Mabel. (2017).

Estos y otros estudios similares alrededor del mundo, demuestran claramente que los sensores remotos son una gran herramienta para el seguimiento, identificación y cuantificación de cambio de coberturas, sin importar si se están trabajando áreas naturales o intervenidas por el ser humano; con el uso de los diferentes algoritmos, metodologías y combinaciones de bandas

espectrales es posible identificar y clasificar las diferentes coberturas presentes en el territorio, esto con el fin de establecer medidas de mitigación de la deforestación o de ordenamiento territorial por parte de las naciones o partes interesadas.



## 4. Referente normativo y legal

Ley 99 de 1993:

Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.

(Congreso de la República, 1993)

Decreto 2372 de 2010:

Por el cual se reglamenta el Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y el Decreto-ley 216 de 2003, en relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y se dictan otras disposiciones.

(Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, 2010)

Acuerdo 04 del 7 de febrero de 2011:

Por el cual se declara y alindera el Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Páramo Rabanal, en el municipio de Ventaquemada en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Chivor – CORPOCHIVOR.

(Corpochivor, 2011)

Decreto 1076 de 2015:

Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

(Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, 2015)

Resolución 1768 de 2016:

Por medio de la cual se delimita el Páramo Rabanal – Río Bogotá y se adopta otras determinaciones.

(Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, 2016)

Acuerdo No. 02 del 23 de febrero de 2018:

Por el cual se adopta el Plan de Manejo Ambiental del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Páramo Rabanal, en el municipio de Ventaquemada en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Chivor – CORPOCHIVOR

(Corpochivor, 2018)

Resolución 471 de 2020:

Por medio de la cual se establecen las especificaciones técnicas mínimas que deben tener los productos de la cartografía básica oficial en Colombia

(Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, 2020)

## 5. Referente teórico

Partiendo de una afirmación muy general, un sensor remoto es un dispositivo que captura información de un elemento con el cual no tienen contacto, siendo así, en el área de los Sistemas de Información Geográfica, los sensores remotos corresponden a cámaras, ya sean dispuestas en vehículos aéreos o sistemas satelitales; dichos sensores, se pueden clasificar en dos categorías, pasivos y activos, esto pues, si se aborda desde el punto de vista de cómo capturan la información.

*“Los sensores pasivos se limitan a recoger la energía electro-magnética procedentes de las cubiertas terrestres, ya sea ésta reflejada de los rayos solares, ya emitida en virtud de su propia temperatura.”* (Chuvienco, 1995, p.97). Partiendo de esta definición, es pertinente aclarar que si bien los sensores remotos activos, tienen como principal característica, que no requieren un ente externo generador de energía, ya que ellos mismos la pueden producir, y los cuales, poseen beneficios en el estudio de ciertos elementos sobre la superficie, debido al proceso metodológico empleado en el presente documento, toda la información dispuesta estará enmarcada en el uso de sensores pasivos.

*“Las técnicas de clasificación de imágenes posibilitan la transformación de imágenes crudas (fotografías aéreas, imágenes de Satélite, etc.) en datos temáticos o mapas que mostrarán información con un significado evidente.”* (Monterroso, s.f., p. 1),

*“Los componentes espaciales, espectrales y temporales de una imagen o set de imágenes, todos proveen información que podemos usar para formar interpretaciones acerca de los materiales de superficie y sus condiciones”* (Randall B., 2001, p. 11)

Teniendo en cuenta las afirmaciones anteriores, a partir de imágenes obtenidas por medio de sensores remotos, es posible generar datos temáticos para diferentes tipos de estudios,

adicionalmente, entre más componentes (bandas) posean dichas imágenes, esto para el caso de los sensores multiespectrales, se tiene disponible mayor cantidad de información para realizar una correcta interpretación de los elementos sobre la superficie.

Existen diversos métodos para clasificar imágenes de sensores remotos; a pesar que todas hacen uso de herramientas tecnológicas, desde una primera aproximación, se pueden dividir en 2 tipos principalmente, las que tienen un fuerte componente de trabajo humano y las que son automatizadas en un gran porcentaje. Siendo así, las más comunes corresponden a las clasificaciones supervisadas y no supervisadas.

Para el método de clasificación supervisada, Monterroso (s.f.) afirma que:

Se requiere la participación activa del analista que esté realizando la clasificación de la imagen de satélite, en este caso, el técnico que está llevando a cabo la tarea debe indicar a software que debe realizar en cada momento (como debe clasificar cada uno de los píxeles existentes en la imagen), a partir de la definición de unas áreas de entrenamiento (training áreas) de las cuales se conoce a priori la naturaleza de su superficie. (p. 1)

Este método en particular, ofrece ciertos beneficios, esencialmente cuando las imágenes objeto de clasificación contienen ciertas limitaciones respecto al número de bandas disponibles, esto, teniendo en cuenta que cada una de ellas (Bandas), almacena información en ciertos rangos de longitud de onda para mismo objeto de interés, es decir, a mayor número de bandas, la clasificación por medio de software es más efectiva.

Para el caso de estudio, las imágenes Planet Scope cuentan con 4 bandas espectrales, las cuales se discriminan en la Tabla 1

Tabla 1

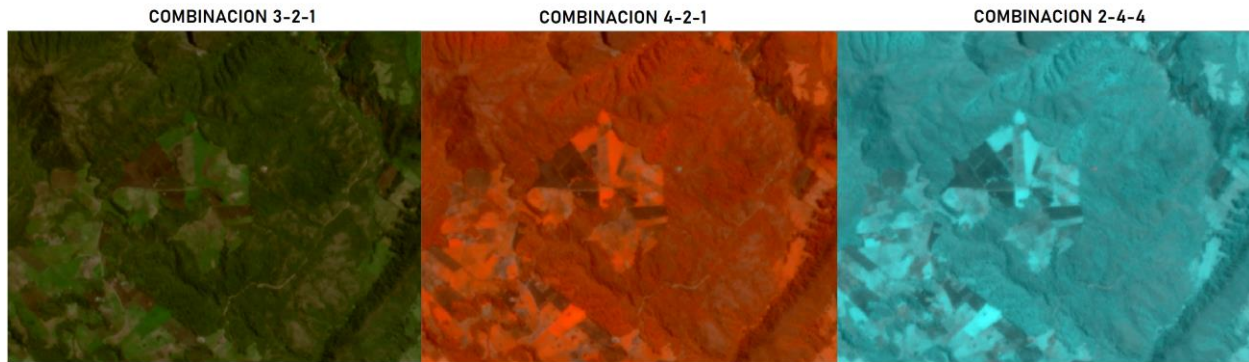
*Region espectral bandas Planet Scope*

BANDA	REGION ESPECTRAL	ANCHO DE BANDA (nm)	RESOLUCION ESPACIAL (m)
1	Azul	445-515	3,0 (aprox)
2	Verde	500-590	
3	Rojo	590-670	
4	NIR	780-860	

Este número de bandas permite una serie de combinaciones entre sí, donde cada una de ellas representa o resalta ciertos elementos representativos en la superficie, en la siguiente imagen, (**Figura: 1**), se observan tres de las combinaciones posibles:

**Figura: 1**

*Ejemplo combinaciones de bandas posibles en Planet Scope*



En la clasificación supervisada, se selecciona la combinación de bandas más eficiente para identificar la cobertura objeto de clasificación, el analista en sistemas de información geográfica realiza el muestreo correspondiente, labor que consiste en identificar y generar un polígono sobre las áreas pertenecientes, según la interpretación, a una misma cobertura, posteriormente, *“El algoritmo de clasificación calcula el patrón promedio espectral para cada clase de entrenamiento, entonces asigna las remanentes celdas de imagen a la clase más*

*similar.*”(Randall B., 2001, p. 23), obteniendo así una clasificación preliminar de coberturas sobre el área de interés.

Otro método de interpretación consiste en el análisis visual sobre la imagen, como menciona Chuvieco, “...una de las principales ventajas del análisis visual sobre el digital, es su capacidad para incorporar a la interpretación de la imagen criterios complejos.” (Chuvieco, 1995, p. 156), dichos elementos, usualmente corresponden a una interpretación temática de la imagen, es decir, identificar coberturas a partir de la experiencia y conocimiento del entorno por parte del interprete. Los elementos más comunes se asocian al tono, forma, color, contexto, sombras y textura entre otros; los cuales tienen variaciones dependiendo de la cobertura objeto de estudio y la combinación de bandas usadas para la interpretación, adicionalmente en coberturas como la vegetación, se presentan variaciones considerables en los mencionados elementos, estas asociadas a situaciones tales como el contenido de humedad, grado de desarrollo de las plantas o incluso variables externas como la temporada climática del área de estudio entre otros.

Teniendo en cuenta las limitaciones de cada uno de los métodos, es posible afirmar que la clasificación visual garantiza una mejor exactitud temática respecto a las automáticas, sin embargo, requiere un componente humano capacitado y rangos de tiempo mucho mayores para la obtención de productos.

Para Colombia, se incorporó la metodología Corine Land Cover de conformidad al acuerdo institucional establecido por la mesa de coberturas (IGAC, 2021), por tal motivo es importante aplicar la mencionada clasificación para los productos generados que tengan relación con coberturas de la tierra.

La clasificación de coberturas Corine Land Cover adaptada para Colombia, presenta una estructura sistemática, jerárquica y organizada que tiene como propósito obtener un inventario homogéneo de coberturas de la tierra, basada en la interpretación de imágenes de sensores remotos y teniendo en cuenta criterios fisionómicos de altura y densidad de las clases identificadas. Esta clasificación se divide en 6 niveles jerárquicos, en los cuales se agrupan todas las coberturas identificables. Una característica fundamental del proceso de adaptación del documento para Colombia, consiste en el respeto de la nomenclatura europea para los tres primeros niveles de la clasificación.

Según el decreto 2372 de 2010 – MADS, en su artículo 14, Un Distrito de Manejo Integrado corresponde al:

Espacio geográfico, en el que los paisajes y ecosistemas mantienen su composición y función, aunque su estructura haya sido modificada y cuyos valores naturales y culturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlos a su uso sostenible, preservación, restauración, conocimiento y disfrute. (MADS, 2010, p. 6).

Esta categoría de área protegida, a nivel regional se denomina Distrito Regional de Manejo Integrado – DRMI y su administración corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales según su jurisdicción.

La guía para la planificación del manejo en las áreas protegidas del Sinap Colombia en su Acción 2, establece:

Entre la información que se debe sistematizar y analizar, para la caracterización del área protegida y su entorno, está la relacionada con el clima, la geología y geomorfología, hidrología e hidrogeología, los suelos y las amenazas y riesgos de desastre, en lo relacionado con aspectos físicos. Con respecto a los aspectos biológicos, estaría la

información sobre las coberturas de la tierra, la vegetación, la fauna y la conectividad ecológica y con el entorno. (MADS, 2020, p. 71)

En este orden de ideas, la clasificación de coberturas de la tierra corresponde a un insumo relevante en el componente diagnóstico de las áreas protegidas.

En el marco del seguimiento de los Distritos Regionales de Manejo Integrado – DRMI, el decreto 2372, en su artículo 14 menciona “ *La reserva, delimitación, alinderación, declaración, administración y sustracción de los Distritos de Manejo Integrado que alberguen paisajes y ecosistemas estratégicos en la escala regional, corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales, a través de sus Consejos Directivos...* ”(MAVDT, 2010, p 6. ), teniendo en cuenta que el DRMI Páramo de Rabanal se encuentra dentro de la jurisdicción de CORPOCHIVOR, entidad formuladora de su respectivo Plan de Manejo Ambiental – PMA, el cual, en su componente estratégico, programa 11 seguimiento, establece: “*Realizar un seguimiento y control a cada una de las actividades propuestas dentro del plan de manejo del DRMI del páramo del Rabanal, con el fin de monitorear y hacer cumplir cada una de estas*”(CORPOCHIVOR, 2018, p. 42).

CORPOCHIVOR, por medio de su proyecto Planificación y Ordenamiento Ambiental del Territorio - POAT, establece una matriz de seguimiento denominada “RE-OA\_17 SEGUIMIENTO\_DRMI Páramo Rabanal” en la cual, se reportan las actividades y evidencias de las acciones realizadas por cada uno de los proyectos de la corporación en el área de influencia del DRMI, esto desde los componentes físico, financiero y presupuestal según corresponda.

El acuerdo 002 de 23 de febrero de 2018 en su artículo quinto establece: “*El documento Plan de Manejo Ambiental será objeto de revisión, evaluación y actualización cada cinco (5) años, según el marco conceptual establecido en el mismo, para su respectivo ajuste y*

---

*modificación*”,(CORPOCHIVOR, 2018, p. 5), por tanto, la Corporación Autónoma Regional de Chivor - CORPOCHIVOR, en el marco de sus actividades misionales, programa planea y ejecuta la actualización del mencionado Plan de Manejo Ambiental del DRMI, teniendo en cuenta la normativa nacional, acciones de seguimiento y demás instrumentos de monitoreo y control que se ejecutan desde todos los proyectos misionales y transversales, esto en el marco del cumplimiento de las actividades establecidas en el Plan de Acción Cuatrienal.

## **6. Metodología**

### **6.1 Enfoque metodológico**

El enfoque del presente trabajo corresponde a un enfoque cuantitativo ya que el desarrollo del mismo se orienta a determinar coberturas, áreas y relaciones entre los fenómenos estudiados, en este caso en particular, el aumento o disminución de coberturas vegetales y el cumplimiento de las actividades propuestas implementadas por la autoridad ambiental es un espacio geográfico determinado en el marco de un Plan de Manejo Ambiental.

### **6.2 Tipo de estudio**

El tipo de estudio corresponde a un tipo descriptivo, contextualizado en la interpretación sobre imágenes de sensores remotos, se establece una aproximación de las coberturas reales presentes en el área de estudio, las cuantifica de tal forma que se pueda evidenciar su variación en el tiempo.

## 6.3 Procedimiento

En términos generales la metodología consiste en el análisis por medio de procesamiento digital de imágenes y clasificación visual de las coberturas presentes en el área correspondiente al polígono del DRMI Páramo de Rabanal. Posteriormente se realiza una revisión, identificación y espacialización (si es posible) de las actividades enfocadas a la recuperación y conservación de coberturas naturales presentes en los documentos e indicadores del PMA para finalmente tratar de establecer una relación entre las mismas y el aumento, disminución o conservación de las coberturas naturales en el DRMI. Se establecen las siguientes fases para realizar las actividades descritas anteriormente.

### 6.3.1 FASE INICIAL: Recolección y depuración de información.

#### Actividad 1 - Recolección información base

Se realiza una revisión documental de las bases de datos digitales de la entidad, específicamente las relacionadas con orto-fotografías, imágenes aéreas y satelitales entre otros del Sistema de Información Ambiental Territorial – SIAT, sistema que compila la información geográfica de la entidad. En las bases de datos se encontraron los siguientes registros:

**Imágenes drone (Ortofotomosaicos):** El Sistema de Información Ambiental Territorial – SIAT cuenta con una capa geográfica la cual describe el cubrimiento de ortofotomosaicos generados a partir de levantamientos fotogramétricos realizados con drones por la entidad dentro de la jurisdicción de CORPOCHIVOR (Tabla 2). Para la fecha de la consulta, se encontraron 153 registros con un rango temporal del 06-04-2017 hasta el 25-04-2023. Con un cubrimiento disperso sobre el polígono del DRMI Páramo de Rabanal (**Figura: 2**), correspondiente a 8 registros que van desde el 01-01-2018 hasta 15-19-2022.

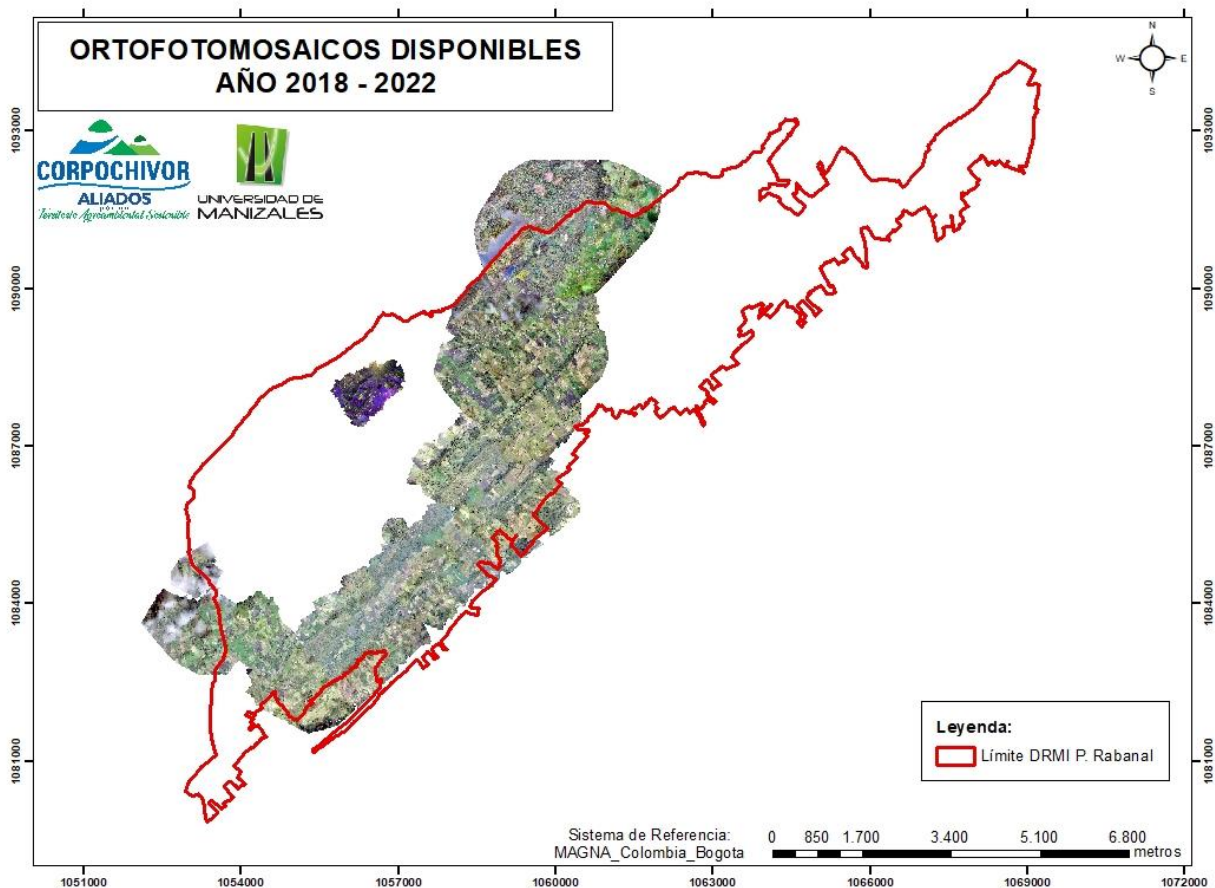
Tabla 2

*Ortofotomosaicos drone disponibles*

ID	FECHA DE TOMA	RESOLUCION ESPACIAL (cm)	ID	FECHA DE TOMA	RESOLUCION ESPACIAL (cm)
66	1/01/2018	10,60	76	6/11/2019	5,17
90	8/02/2018	10,82	77	14/11/2019	11,41
24	21/03/2018	11,15	78	28/11/2019	12,80
92	9/04/2018	10,61	150	15/09/2022	2,92

Figura: 2

*Ortofotomosaicos disponibles año 2018 - 2022*



**Imágenes sensores remotos no generados por la entidad:** Posterior a la revisión de discos duros externos, carpetas disponibles en servidores y discos duros de los equipos del SIAT se encontraron más de 100 registros asociados a imágenes satelitales, ortofotomosaicos y fotografías aéreas, los cuales están disponibles en diferentes formatos de archivo tales como IMG, TIFF, GRID entre otros. De igual forma se verifico, para la mayoría de los registros, la fecha de captura, las cuales tienen un rango temporal comprendido entre el año 2007 y 2022.

A partir del polígono correspondiente al límite del DRMI Páramo de Rabanal, y teniendo en cuenta que el Acuerdo 002 del 23 de febrero de 2018, por medio del cual se reglamenta el plan de manejo del DRMI Páramo de Rabanal, en su artículo quinto establece: *“El documento Plan de manejo Ambiental será objeto de revisión, evaluación y actualización cada cinco (5) años, según el marco conceptual establecido en el mismo, para su respectivo ajuste y modificación”*(CORPOCHIVOR, 2018, p. 5), se concluye que las fechas más óptimas para realizar el análisis corresponden a las más cercanas al 23-02-2018 - Fecha de publicación PMA y 23-02-2023 - Fecha fin de vigencia PMA. Siendo así, las imágenes disponibles corresponden a las siguientes:

Año 2018: La imagen disponible más cercanas en un rango temporal corresponden a un mosaico generado a partir de 4 imágenes (2019) obtenidas por la constelación Planet Scope las cuales cuentan con una resolución espacial de 3 metros, multiespectral de 4 bandas (Azul, Verde, Rojo, Infrarrojo Cercano), como se observa en la Tabla 3 y **Figura: 3**

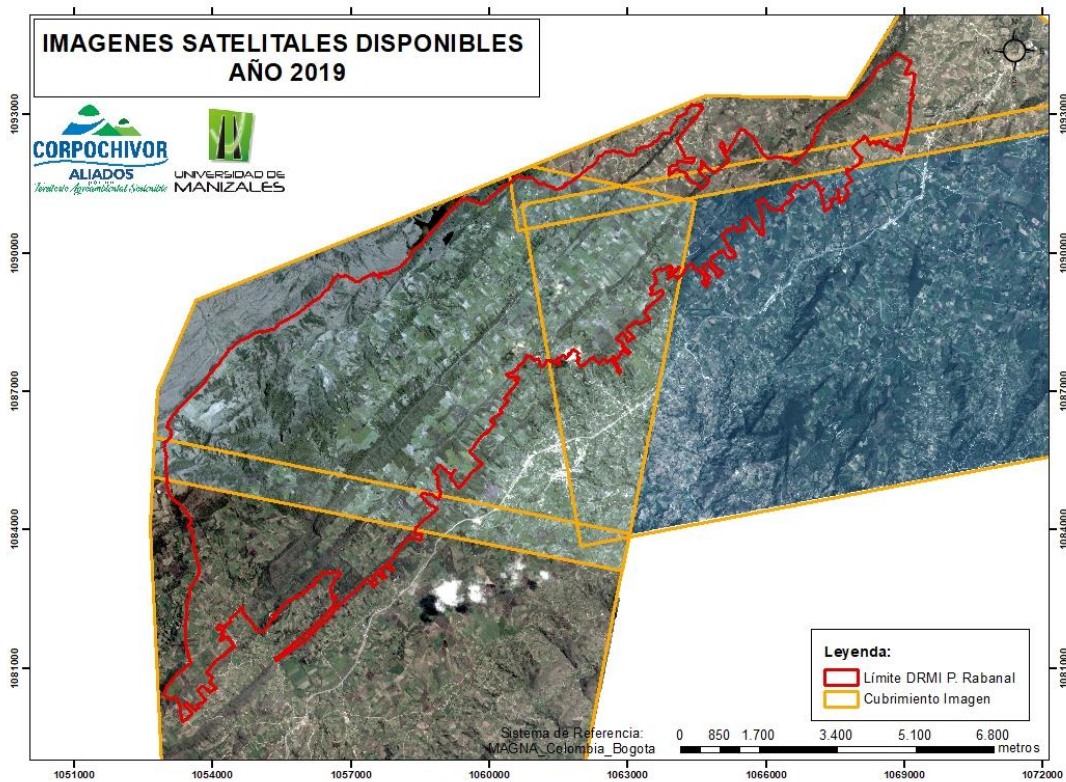
Tabla 3

*Imágenes Mosaico año 2019*

ID	FECHA DE TOMA
20190203_145346_0f3c_3B_AnalyticMS_clip.tif	3/02/2019
20190627_145713_1040_3B_AnalyticMS_clip.tif	26/07/2019
20190627_145714_1040_3B_AnalyticMS_clip.tif	26/07/2019
20190203_145345_0f3c_3B_AnalyticMS_clip.tif	3/02/2019

Figura: 3

*Imágenes satelitales disponibles año 2019*



Año 2023: La imagen disponible más cercana en un rango temporal corresponden a un mosaico creado a partir de 5 imágenes de la constelación Planet Scope, las cuales cuentan con una resolución espacial de 3 metros, multiespectral de 4 bandas (Azul, Verde, Rojo, Infrarrojo

Cercano), con corrección radiométrica, atmosférica y geométrica, como se observa en la Tabla 4 y la **Figura: 4**

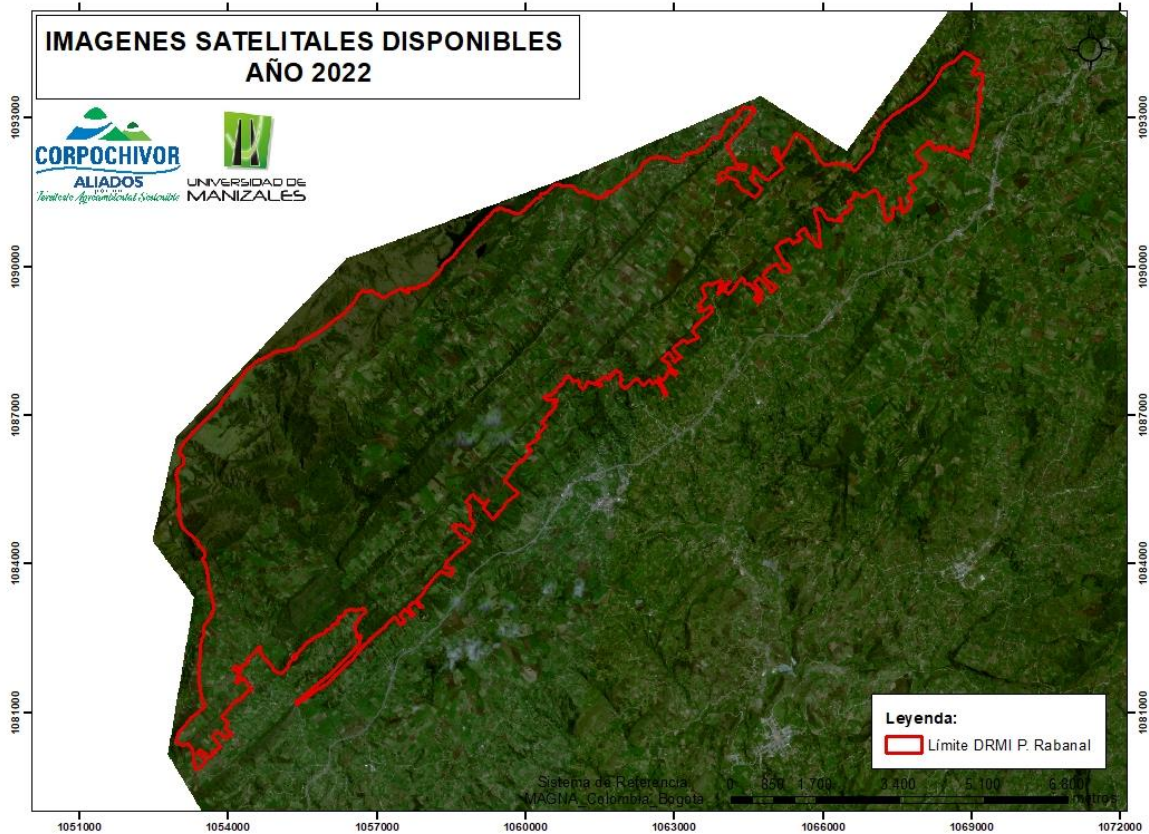
Tabla 4

*Imágenes Mosaico año 2022*

ID	FECHA DE TOMA	ID	FECHA DE TOMA
20220818_150618_84_227a	18/08/2022	20220818_145526_97_247d	18/08/2022
20220818_150616_54_227a	18/08/2022	20220818_145524_69_247d	18/08/2022
20220818_150614_24_227a	18/08/2022	20220818_145522_41_247d	18/08/2022
20220818_150611_94_227a	18/08/2022	20220714_142411_66_2458	14/07/2022
20220818_150609_65_227a	18/08/2022	20220714_142409_38_2458	14/07/2022

**Figura: 4**

*Imágenes satelitales disponibles año 2022*



Para la fecha de la consulta, la mayoría de la información, salvo lo relacionado con drones, no contaba con un catálogo de datos que describiera los productos, situación que complico la búsqueda y elección de información base para el desarrollo del trabajo, pese a esto, fue posible seleccionar productos con una calidad aceptable, resolución espacial de 3 m y un rango temporal cercano a la línea base de inicio de implementación del PMA y fin del mismo. Años 2019 y 2022 (Imágenes) vs 2018-2023 (Vigencia PMA).

### **Actividad 2 - Recolección de información documental**

Se realiza una revisión de bases de datos digitales de documentos asociados al DRMI Páramo de Rabanal relacionados con resoluciones, contenido programático, seguimiento PMA, información geográfica, evidencias, entre otros. Obteniendo así el siguiente listado documental:

- Acuerdo 04 de 2011
- Acuerdo 002 de 2018 – PMA
- Estudio del estado actual del páramo de Rabanal
- PMA Rabanal Componente Diagnostico.
- PMA Rabanal Componente Estratégico.
- PMA Rabanal Componente Ordenamiento.
- RE-OA-07 SEGUIMIENTO\_DRMI Páramo Rabanal\_2023 y anexos

## **6.3.2 FASE 1: Clasificación de coberturas**

### **Actividad 1: - Elección insumos**

Teniendo en cuenta lo descrito en la Fase Inicial, la necesidad de tener un cubrimiento total del polígono del DRMI, la cercanía al rango temporal y la compatibilidad de las imágenes en cuanto a su resolución espacial, se opta por usar las generadas por la constelación Planet Scope para los años 2019 y 2022.

Adicionalmente los ortofotomosaicos de dron, debido a su excelente resolución espacial, se emplearán como parámetro de referencia en los diferentes pasos del proceso de clasificación de coberturas.

### **Actividad 2 – Procesamiento imágenes (2019 y 2022)**

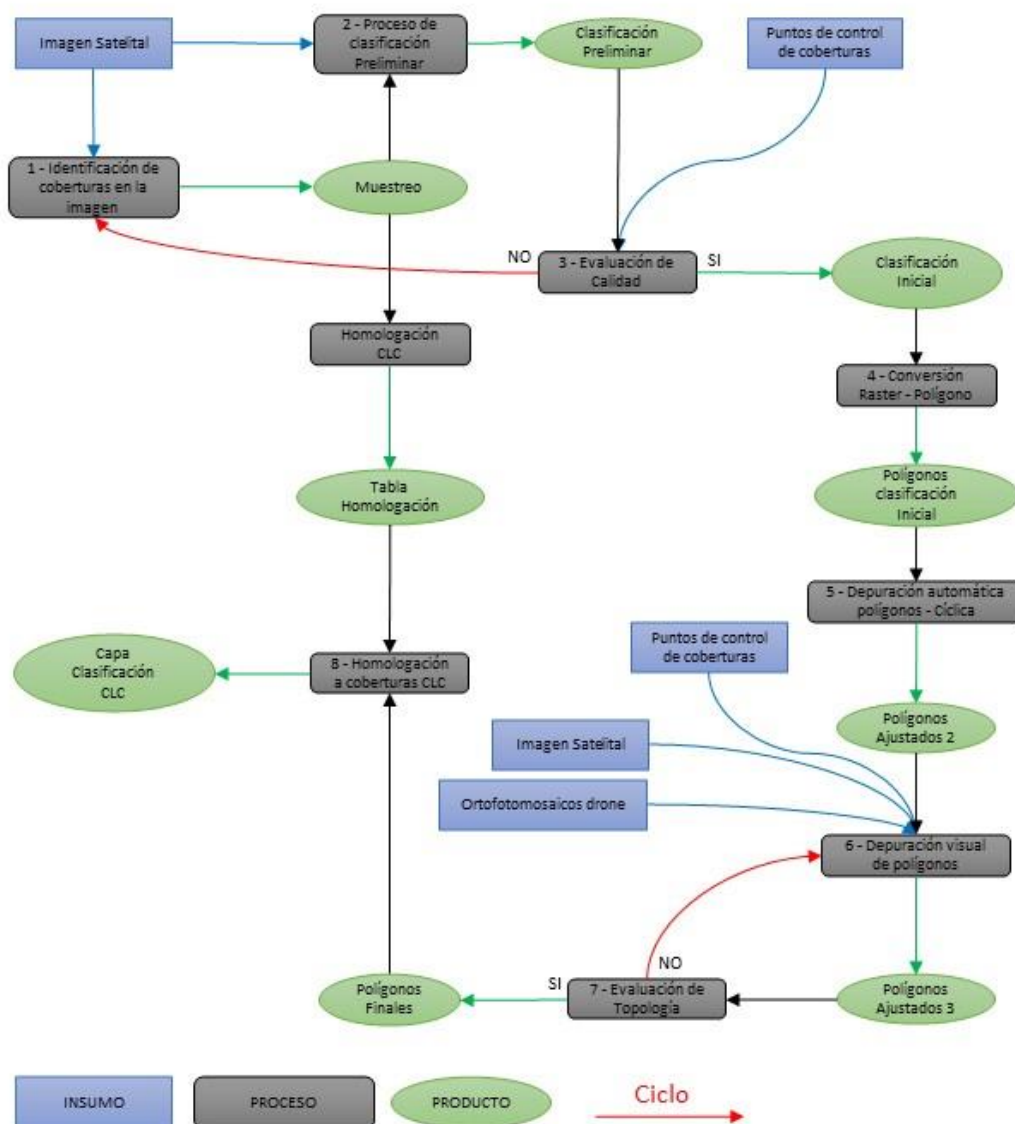
Debido que el mosaico 2022 cuenta con una ficha técnica que describe las principales características del producto, especialmente las concernientes a los niveles de corrección, específicamente radiométrica, atmosférica y geométrica se elige como base para el procesamiento; debido que el mosaico 2019 no se cuenta con información de referencia, pero es un producto obtenido de la misma constelación de satélites, se asume que cuenta con el mismo nivel de procesamiento; al comparar las imágenes objeto de clasificación se evidencia un ligero desplazamiento entre las mismas, por lo cual se genera un ajuste de la georreferenciación del mosaico 2019 tomando como base el 2022.

En términos generales la metodología de procesamiento para las imágenes se divide en 8 pasos, los cuales se describen gráficamente en el modelo dispuesto en la **Figura: 5**

Figura: 5

Modelo conceptual de clasificación de coberturas

### Modelo conceptual clasificación de coberturas DRMI Páramo de Rabanal



El proceso metodológico se puede realizar en cualquier software geográfico que permita el uso de archivos en formato raster y vector (tiff, shp, Feature Class); para este caso en particular se usó ArcGis Desktop 10.8.

**Paso 1 – Identificación de coberturas en la imagen:**

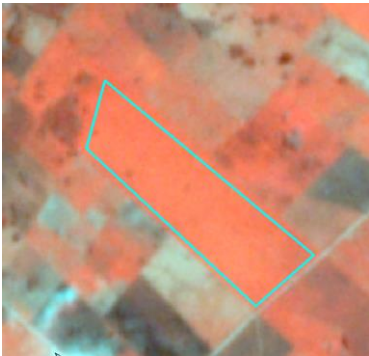
Chuvieco (1995), menciona que, en las clasificaciones supervisadas, en la fase de entrenamiento (muestreo), al definirse cada una de las categorías o clases, en este caso en particular, coberturas, que se pretenden identificar en la imagen objeto del análisis, se determina, para cada una de ellas, el rango de niveles digitales, esto para todas las bandas que conforman la imagen. En este orden de ideas, se espera que a mayor número de bandas el muestreo por cada cobertura pueda ser más detallado y el resultado de la clasificación más preciso. Teniendo en cuenta que, las imágenes producto de la constelación Planet Scope, cuentan con 4 bandas (RGB+ Infrarrojo), el conocimiento previo de la zona de estudio, las condiciones de tonalidad, textura y contexto se optó por acotar el número de clases a las enumeradas a continuación:

- Vegetación vigorosa
- Cuerpos de agua naturales
- Vegetación natural alta
- Tierras en preparación
- Vegetación natural media
- Pastos secos
- Vegetación vigorosidad media
- Nubes
- Herbazales

A partir del conocimiento previo de la zona de estudio, un análisis visual sobre la imagen usando diferentes combinaciones de las 4 bandas disponibles, se muestrean las coberturas anteriormente identificadas sobre la imagen:

**Vegetación vigorosa:**

Imagen 2019



Descripción (4-2-1)

Colores rojos intensos con una textura lisa.

Corresponde a zonas de pastos o cultivos transitorios bajos con una alta densidad de plantas

Imagen 2022

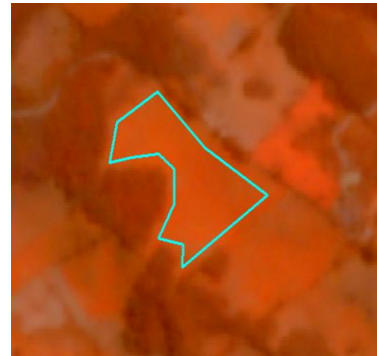
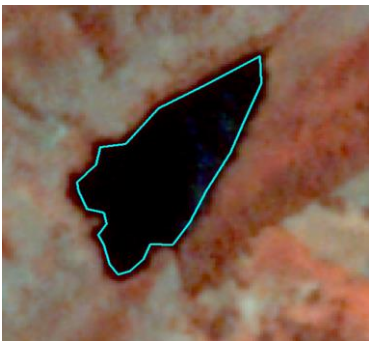
**Cuerpos de agua naturales:**

Imagen 2019



Descripción (4-2-1)

Tonalidad negra oscura, textura lisa.

Corresponde a cuerpos de agua naturales o artificiales.

Imagen 2022

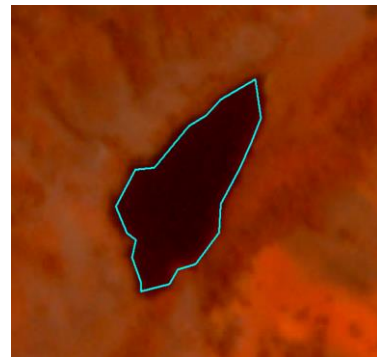
**Vegetación natural alta:**

Imagen 2019



Descripción (3-2-1)

Tonalidades verdes oscuras, textura rugosa fuerte.

Corresponde a bosques en los cuales existe una copa frondosa y arboles con troncos bien definidos.

Imagen 2022



**Tierras en preparación:**

Imagen 2019



Descripción (3-2-1)

Colores café oscuro tendiente a negro, con texturas lisas y en general formas definidas.

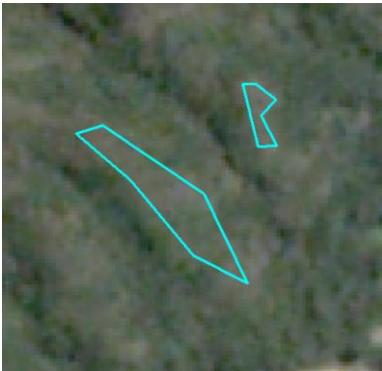
Corresponde a tierras aradas o en preparación para cultivos transitorios.

Imagen 2022



**Vegetación natural media:**

Imagen 2019

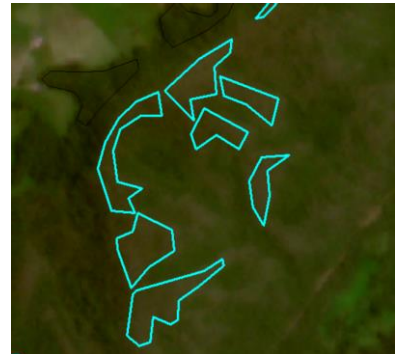


Descripción (3-2-1)

Colores café/verde donde no se define claramente ningún color, presenta una textura rugosa suave y usualmente combina algunas zonas con un verde más intenso.

Corresponde a arbustos con algunas zonas de herbazales o vegetación natural baja.

Imagen 2022



**Pastos secos:**

Imagen 2019



Descripción (3-2-1)

Colores cafés claro que tiende a gris/amarillo, textura uniforme medianamente lisa.

Corresponde a zonas con vegetación seca, usualmente pastos luego de que son aprovechados o consumidos por el ganado.

Imagen 2022

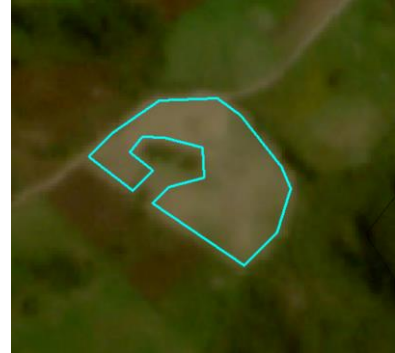
**Vegetación vigorosidad media:**

Imagen 2019



Descripción (4-2-1)

Colores rojos mate que tienden al café, se observan como una superficie medianamente lisa.

Corresponden a pastos o cultivos cuya plantas no cuentan con una alta vigorosidad.

Imagen 2022

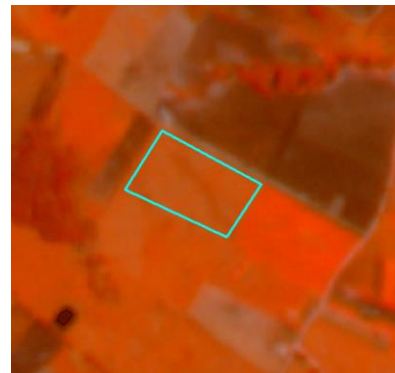
**Nubes:**

Imagen 2019



Descripción (3-2-1)



Colores blanco brillante con una forma no definida que se difumina en los bordes.

Corresponde a nubes.

Imagen 2022



**Herbazales:**

Imagen 2019	Descripción (3-2-1)	Imagen 2022
	<p data-bbox="613 474 987 625">Colores café claro mezclado con verde, presenta zonas verdosas en los alrededores.</p> <p data-bbox="613 657 987 869">Corresponde a herbazales bajos con un porcentaje de presencia de vegetación natural un poco más alta.</p>	

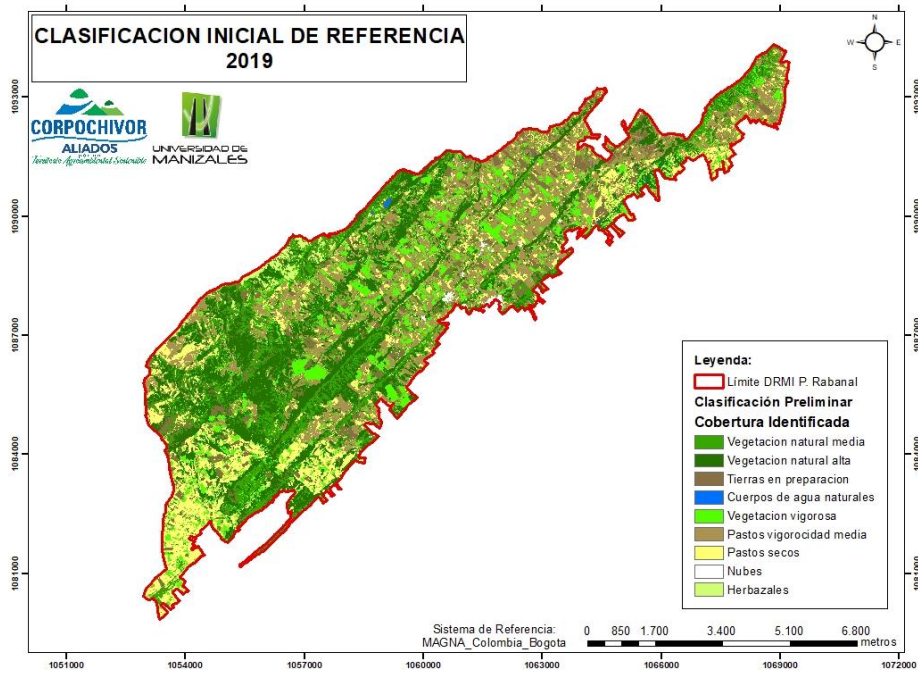
El muestreo anteriormente descrito se elige debido a que representa claramente las coberturas presentes en la zona de estudio, y adicionalmente genera una mayor eficiencia para el algoritmo de clasificación del software geográfico, esto soportado en las diferentes versiones de muestreo (7), que se realizó sobre cada una de las imágenes, a partir de las cuales, al intentar diferenciar más clases, estas se sobreponían en los gráficos de dispersión lo que generaba un error en la clasificación automática generada por dicho muestreo.

**Paso 2 – Proceso de clasificación preliminar:**

Usando la herramienta “Training Sample Manager” del software ArcGis se procede a ingresar las clases muestreadas en el paso 1. Posteriormente se realiza una clasificación interactiva supervisada, la cual genera como resultado un archivo de tipo raster con la clasificación preliminar de coberturas asociada al muestreo ingresado. En las **Figura: 6** y **Figura: 7** se muestra la clasificación de coberturas para los años 2019 y 2022 respectivamente.

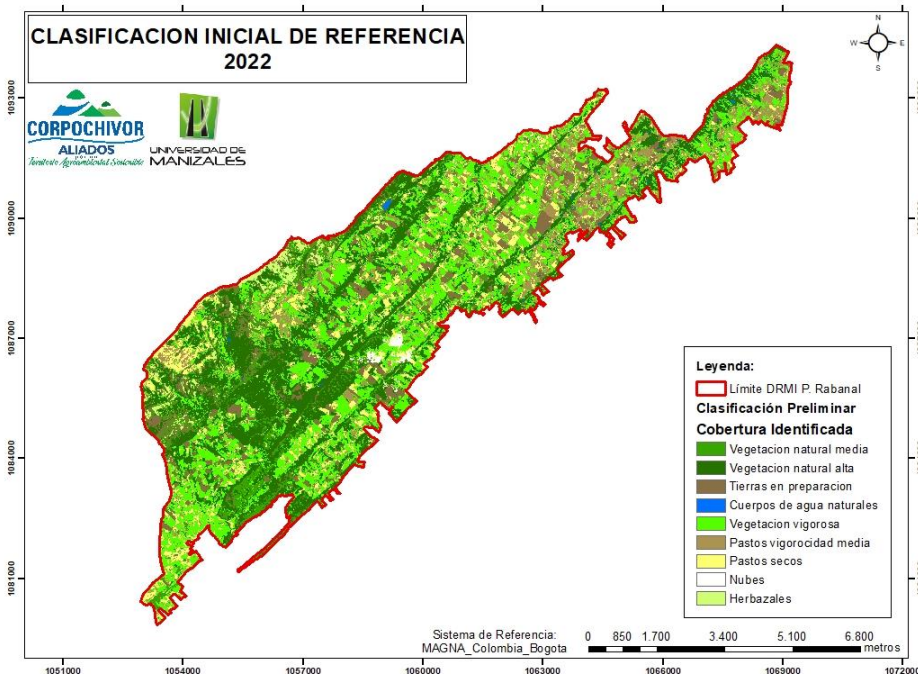
**Figura: 6**

*Clasificación inicial de referencia 2019*



**Figura: 7**

*Clasificación inicial de referencia 2022*



**Paso 3 – Evaluación de calidad:**

Para el proceso de evaluación de calidad de la clasificación preliminar se requiere el uso de puntos de control, los cuales se obtienen a partir de levantamiento en campo (Primarios) y por medio de imágenes de referencia (drones) u otros sensores remotos con imágenes de mayor resolución espacial (Secundario). Para este caso en particular se estableció una metodología de puntos de control en campo, los cuales permiten realizar una interpretación de 1-4 coberturas en la imagen, esto debido a que se toman fotografías de referencia en cada uno de los puntos cardinales (**Figura: 8**), adicional a una descripción básica de coberturas y altura de las mismas elaborada por la persona que levanta el punto de control, la cual posteriormente es validada en oficina, asignando la cobertura correspondiente a cada punto.

**Figura: 8**

*Descripción captura punto de control ID 40*

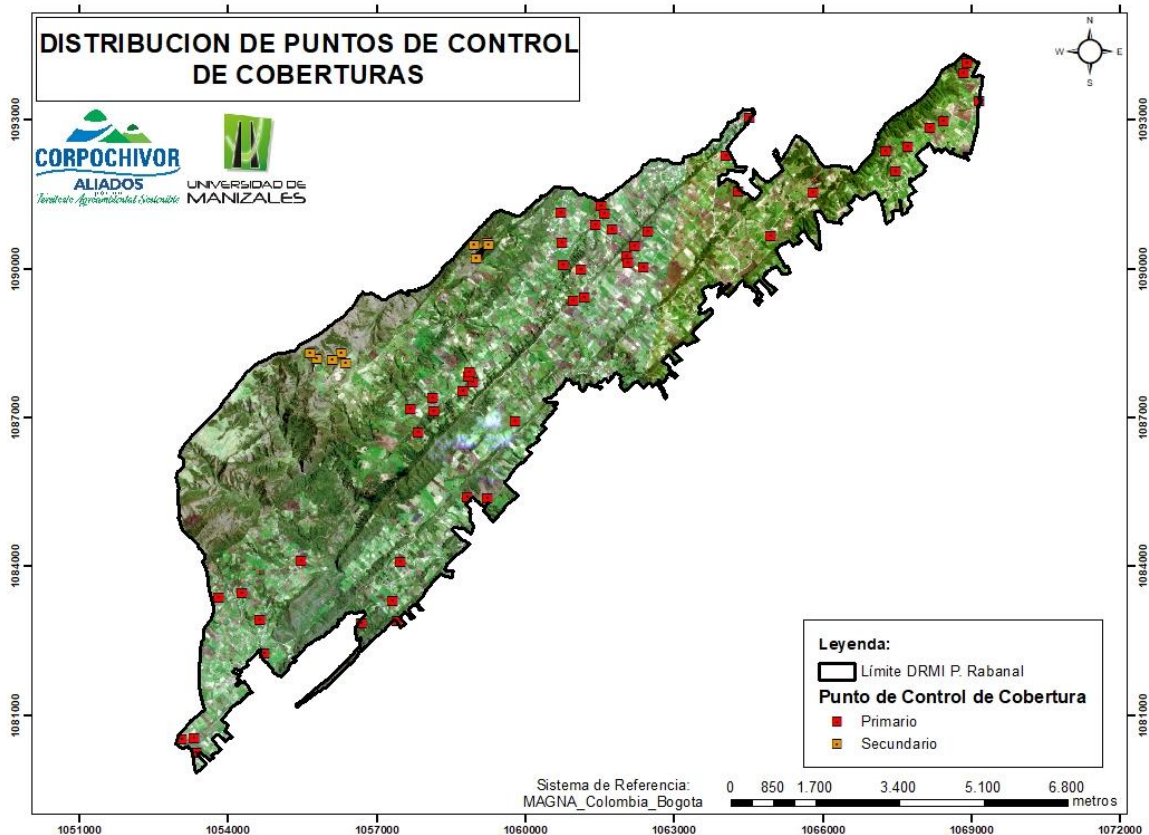


Por medio de los 51 puntos de control primarios y 9 secundarios, se procede a realizar una evaluación de calidad de las coberturas generadas en el paso 2. Para ello, se ejecuta un proceso de intersección entre los puntos de control identificados y la clasificación generada; como resultado se obtiene un 83,3% de coincidencia positiva y 16,7% de puntos con inconsistencias, específicamente las relacionadas con cultivos transitorios, pastos o tierras en preparación que cambian a través del tiempo en la misma localización geográfica, esto por la diferencia de rango temporal entre los puntos de control (2023) y la fecha de captura de las imágenes objeto de la clasificación (2022). Posteriormente se evalúan los resultados y para aquellos puntos no coincidentes se realiza una verificación visual comparando la clasificación preliminar e imágenes secundarias.

Si el resultado de la evaluación de calidad no es satisfactorio, se vuelve a realizar el muestreo descrito en el paso 1, y desde allí cada uno de los pasos subsiguientes; esto con el fin de generar un producto que se aproxime a la realidad del territorio tanto como sea posible. Cuando la evaluación de calidad es satisfactoria se inicia el siguiente paso. En la **Figura: 9** se muestra los puntos de control de coberturas levantados en campo (Rojo) y los identificados a partir de imágenes históricas (Naranja).

**Figura: 9**

*Distribución de puntos de control de coberturas en el área del DRMI*



Debido que los puntos de control se levantaron en el año 2023 y las imágenes objeto de clasificación corresponden al año 2022 se hicieron algunas excepciones en el reporte de los datos; siendo así, los puntos de control que relacionan coberturas de pastos, tierras en preparación o cultivos se agruparon en una sola categoría (Mosaico de pastos y cultivos).

Como resultado se validaron el total de puntos de control arrojando una correspondencia del 100% con las coberturas clasificadas. Es importante aclarar que cada punto levantado en campo permite validar en las cuatro direcciones cardinales, es decir se pueden validar hasta 4

coberturas dependiendo de la ubicación del punto y forma de captura de las fotografías, esta característica fue de especial importancia en la depuración visual de polígonos. En la Tabla 5 se muestran el número de puntos de control validados por cobertura.

Tabla 5

*Número de puntos de control por cobertura*

<b>COBERTURA</b>	<b>PUNTOS DE CONTROL DE COBERTURA</b>
Vegetacion natural media	8
Vegetacion natural alta	19
Herbazales	5
Mosaico de pastos y cultivos	28

#### **Paso 4 – Conversión Raster a Polígono:**

Luego de tener una versión satisfactoria de la clasificación se procede a convertir el archivo en formato raster a un archivo tipo vector, esto con el fin de facilitar el trabajo en el software geográfico; para ello usamos la herramienta “Raster to Polygon” disponible en ArcMap de ArcGis.

Como resultado se genera una capa geográfica en formato shapefile la cual contiene una gran cantidad de polígonos, esto debido a que cada pixel presente en el raster de la clasificación conforma un único polígono de 3 metros por 3 metros los cuales no necesariamente colindan con otros de la misma categoría. Por lo cual se hace necesaria la depuración descrita en el siguiente paso.

#### **Paso 5 – Depuración automática de polígonos:**

Para ejecutar este paso correctamente es importante definir la escala de trabajo, la cual está ligada principalmente con la calidad de los insumos usados, en este caso en particular, la variable más relevante corresponde a la resolución espacial de las imágenes sobre las cuales se realiza la clasificación de coberturas.

Tomando como base la información reportada por el IGAC (Tabla 6) en la cual relaciona insumos acordes a la escala 1:25.000 para clasificación de coberturas, se puede afirmar que a partir de las imágenes procesadas (Planet Scope), las cuales tienen una resolución espacial de 3 metros, es posible obtener una clasificación de coberturas con una escala de trabajo 1:25.000. sin ningún tipo de restricción. (IGAC, 2021, p. 12).

Tabla 6

Insumos utilizados para la interpretación de coberturas de la tierra a escala 1:25.000 - IGAC

Tabla 2. Insumos utilizados para la interpretación de coberturas de la tierra a escala 1:25000

INSUMO	ESCALA	ACCESO
	1:25000	
Fotografías aéreas en pares estereoscópicos en formato análogo	R	PAGA
Fotografías en bloques fotogramétricos digitales con esquemas en formato .img O .TIF	R	PAGA
fotografías aéreas ortofotocorregidas y fotomosaicos (VEXCEL ULTRACAM - D)	P - O	PAGA
Modelo digital del terreno (DEM) producto de fotogrametría digital	R	PAGA
DEM de 30 m SRTM	R	GRATUITO
DEM de 12 m ALOS - PALSAR	R	GRATUITO
DEM 5 m Geo SAR	R	PAGA
Imágenes de radar	AP	PAGA
Imágenes de alta resolución espacial (EJ. GGeoEye, QuickBird, WorldView, Ikonos)	P - O	PAGA
Imágenes de Satélite PLANET SCOPE	P - O	PAGA
Imágenes de satélite Sentinel 2	P - O	GRATUITO
Imágenes de satélite ópticas Rapideye	AP	PAGA
Imágenes de satélite Spot 5,6,7	AP	PAGA
Imágenes de satélite Aster	AP	GRATUITO
Imágenes de satélite ópticas landsat 8	AP	GRATUITO
Geología	AP	GRATUITO
Mapas de suelos	AP	GRATUITO
Mapa de ecosistemas	AP	GRATUITO
Cartografía básica en formato digital	P - O	GRATUITO

Otra variable muy relevante en el proceso de clasificación de coberturas corresponde a la Unidad Mínima Cartografiada - UMC, la cual se define como “el área más pequeña en un mapa que puede ser identificada y delimitada”. (IGAC, 2021, p. 6), según el Instituto Geográfico

Agustín Codazzi – IGAC en su documento “Elaboración del mapa de cobertura de la tierra escala 1:10.000 Versión 1”.

La UCM depende principalmente de la resolución espacial de las imágenes insumo, el contenido temático de clasificación y las condiciones particulares del territorio objeto de análisis como indica el (IGAC, 2021):

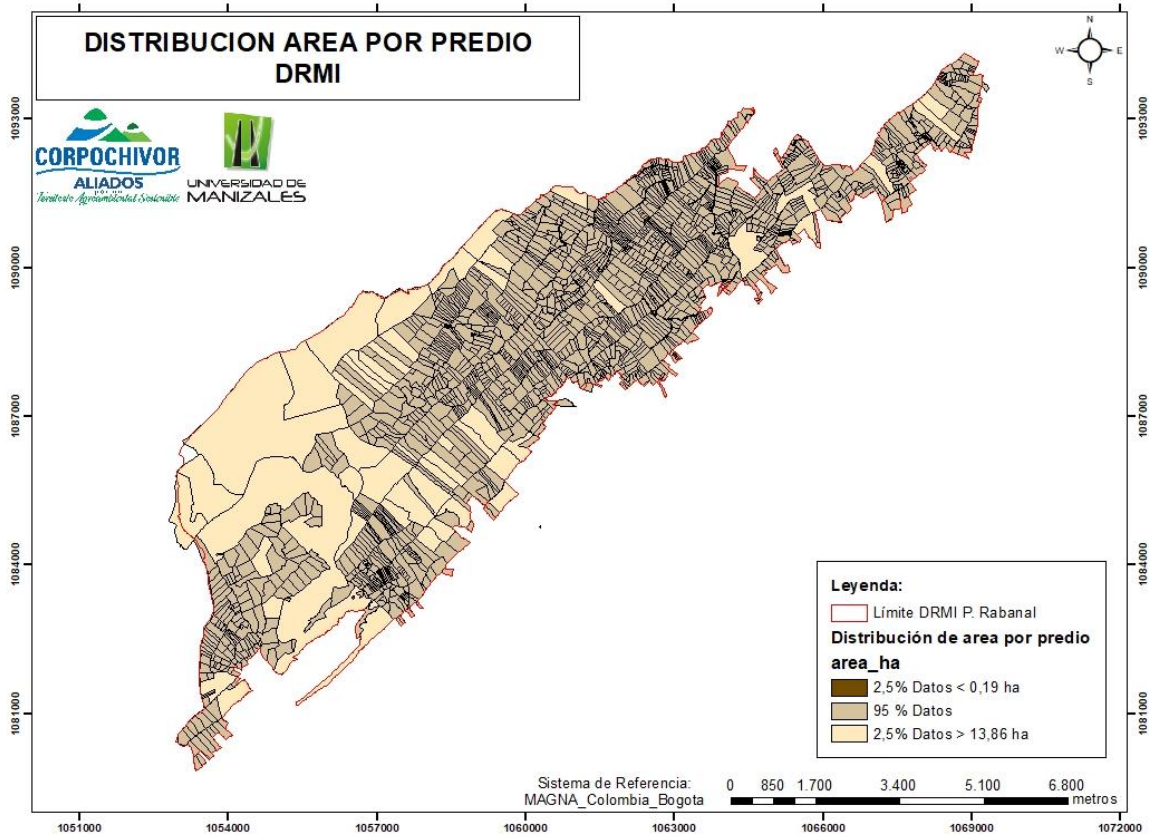
La UCM se debe definir teniendo en cuenta el contenido temático y la importancia que cada cobertura tiene para el ordenamiento y la planificación, procurando ser lo más minucioso posible en cuanto a la identificación de cada cobertura, buscando siempre separar y clasificar unidades puras. (p. 6)

En este orden de ideas, y teniendo en cuenta que la zona de trabajo en el DRMI del Páramo de Rabanal es un espacio geográfico altamente intervenido, con una alta presencia de cultivos y pastos para ganadería, esto sumado a que de un total de 1874 predios (Fuente: Datos Abiertos IGAC - marzo 2023), presentes en el área del DRMI, el 95% de ellos, cuentan con un área entre 0,19 ha y 13,86 ha, con un promedio de 2,44 ha por predio como se observa en la

**Figura: 10.**

**Figura: 10**

*Distribución área por predio en el DRMI*



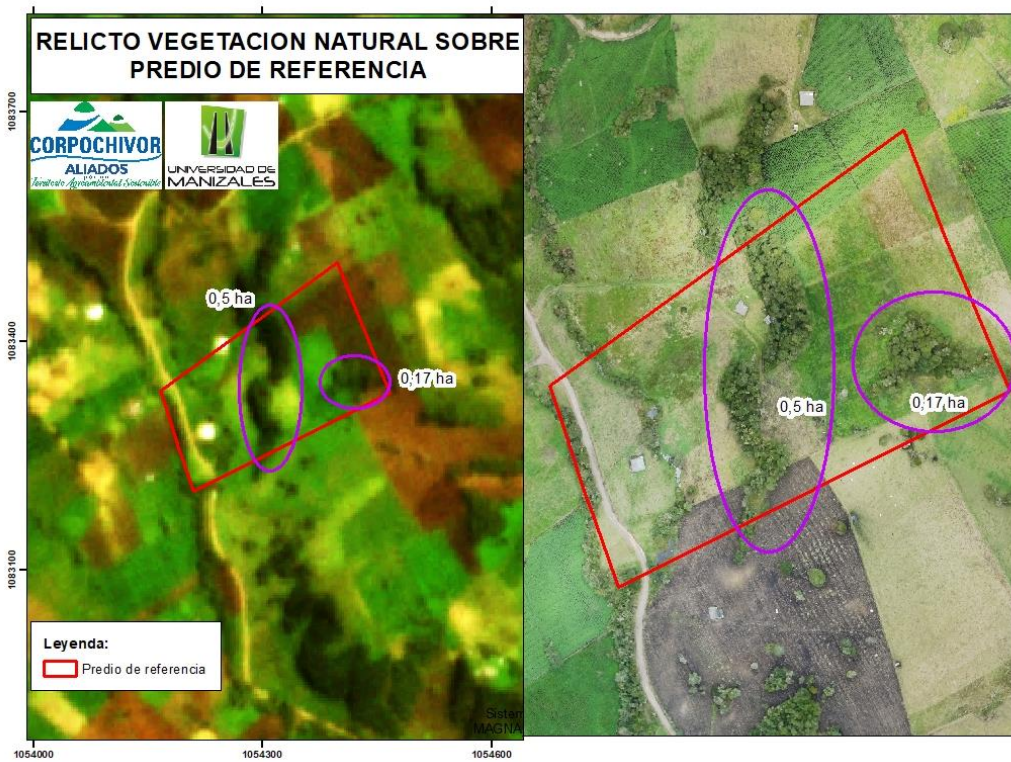
Adicionalmente debido al alto grado de intervención histórico que presenta el territorio, sumado con los esfuerzos particulares de propietarios y habitantes de los predios, así como de CORPOCHIVOR, se puede evidenciar la existencia de pequeños relictos de vegetación natural tipo bosque y arbustiva dentro de predios mayormente usados para cultivos o ganadería, los cuales pueden ser identificadas en las imágenes objeto de clasificación, pero que no cumplen con la UMC (1,56 ha) que usualmente se emplea para estudios de este tipo a escala 1:25.000. Adicionalmente, en el marco de la proyección de actualización del Plan de Manejo Ambiental del DRMI Páramo de Rabanal, CORPOCHIVOR tiene programado realizar una serie de visitas a predios identificados de manera aleatoria, en las cuales se identificara puntualmente las

coberturas y usos presentes en los mismos, por tal motivo se solicitó, se hiciera la identificación de coberturas naturales más específica posible, para posteriormente incluir en la clasificación de coberturas la información levantada en campo en dichas visitas.

En ese orden de ideas, y teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, relacionado con la relevancia del componente temático, para este proceso se tomará como Unidad Mínima Cartografiable - UMC el valor de 0,1 hectáreas; valor estimado a partir de análisis visual sobre las imágenes Planet Scope, verificado con ortofotomosaicos, correspondiente a unidades uniformes, con pequeños relictos de cobertura natural (**Figura: 11**), los cuales se generan como polígonos independientes.

**Figura: 11**

*Relicto vegetación natural sobre predio de referencia*



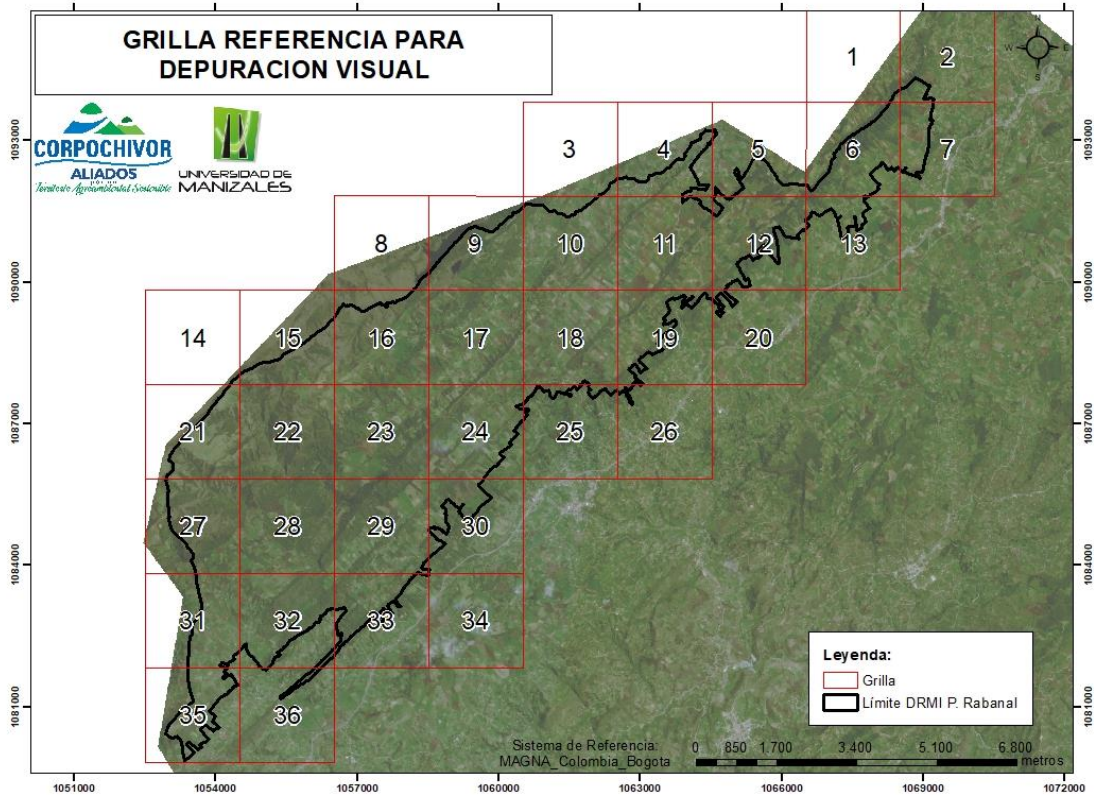
Se realiza una depuración automática por medio de la herramienta “Eliminate” de los polígonos menores a 0,1 ha sobre las clasificaciones iniciales para ambas imágenes, dichos polígonos se unen al polígono adyacente con el cual tenga mayor colindancia. Al ser un proceso automatizado requiere varios ciclos de uso de la herramienta para finalmente integrar todos los polígonos seleccionados.

### **Paso 6 – Depuración visual de polígonos:**

A partir de esta clasificación, la cual cuenta con polígonos mayores a 0,1 ha, se inicia un proceso de depuración visual, en el cual, el profesional experto en sistemas de información geográfica, con apoyo de puntos de control e imágenes de referencia hace una interpretación visual del área de interés; para esto se divide el área en un total de 36 polígonos (**Figura: 12**) con lados de 2 km sobre los cuales se realiza la evaluación ajustando las siguientes variables: límite de la cobertura, clasificación de la cobertura, mezcla entre coberturas, digitalización de relictos de coberturas naturales relevantes identificables en las imágenes Planet Scope.

Figura: 12

*Grilla de referencia para depuración visual*

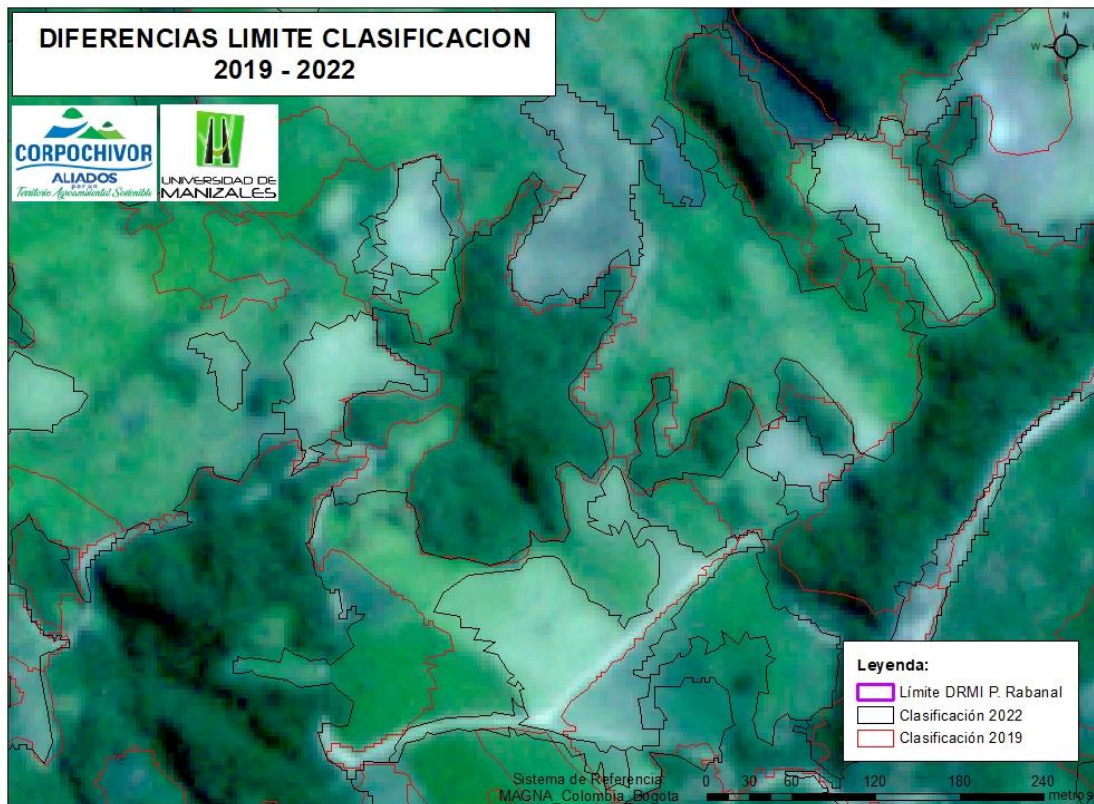


Durante el desarrollo del proceso de depuración visual de los polígonos generados, se evidenció un inconveniente asociado al borde de los polígonos creados para las clasificaciones 2019 y 2022, si bien en términos generales dichas clasificaciones arrojaban la misma cobertura, el límite de estas dos, no correspondían exactamente, puesto que, a pesar de que las características de las imágenes sean similares y generadas por la misma constelación de satélites (Planet Scope), las condiciones de captura del sensor tales como, brillo solar, contaminación atmosférica, condiciones climáticas, inclinación, rango temporal entre otros, no fueron las mismas, lo cual generó una diferencia en el límite de cada polígono de cobertura, dicha inconsistencia se subsana ajustando dicho límite a la imagen 2022, esto con el fin de no generar

reportes de cambios en coberturas que en terreno corresponden a la delimitación del mismo polígono como se puede observar en la **Figura: 13**

**Figura: 13**

*Diferencia limite clasificación 2019 - 2022*



### **Paso 7 – Evaluación de topología:**

Continuando con los pasos establecidos en el diagrama conceptual, se realiza una evaluación topológica de la capa resultante, en la cual se verifica nuevamente que no existan polígonos menores a 0,1 ha con la particularidad que no estén marcados como excepciones (Cuerpos de agua), que no existan huecos o clases sobrepuestas. Este proceso se hace por medio de la herramienta “Topology” de ArcGis. En caso de encontrarse algún error topológico o de edición, se ajusta manualmente y posteriormente se vuelve a evaluar la topología. Para este caso

en particular, teniendo en cuenta el método de depuración manual que se ejecutó, se encontraron menos de 10 errores topológicos en total para la clasificación de las dos imágenes.

### **Paso 8 – Homologación a coberturas clasificación Corine Land Cover:**

En el paso 1 de la metodología, al momento de definir las coberturas identificables en las imágenes, se planteó un proceso de homologación con las coberturas definidas en la metodología de clasificación Corine Land Cover adaptada para Colombia, esto con el fin de que el producto final se presente en un estándar nacional, dicha relación se muestra en la Tabla 7 y en la **Figura: 14** se observa un ejemplo grafico; es importante aclarar que la tabla muestra el nivel más detallado identificado para la clasificación CLC.

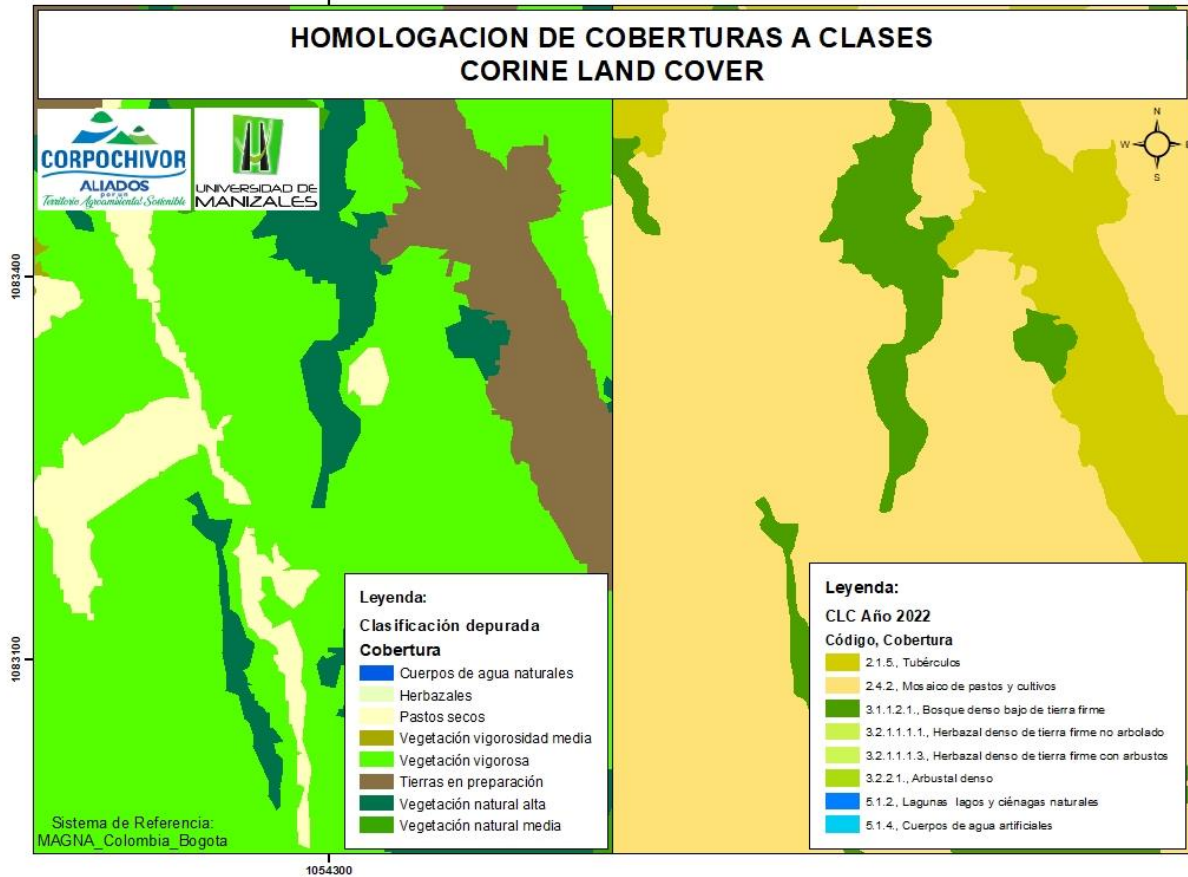
Tabla 7

*Homologación a coberturas según clasificación Corine Land Cover*

<b>CLASIFICACION SEGÚN CLC</b>	<b>COBERTURA IDENTIFICABLE EN LA IMAGEN</b>
Arbustal denso	Vegetación natural media
Bosque denso bajo de tierra firme	Vegetación natural alta
Cuerpos de agua artificiales	Cuerpos de agua naturales
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	Herbazales
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	Herbazales
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	Cuerpos de agua naturales
Mosaico de pastos y cultivos	Vegetación vigorosa
Mosaico de pastos y cultivos	Pastos secos
Mosaico de pastos y cultivos	Vegetación vigorosidad media
Se elimino el efecto de nubes en la depuracion visual.	Nubes
Tubérculos	Tierras en preparación

Figura: 14

Referencia homologación coberturas a clases Corine Land Cover



A continuación, se describen las coberturas identificadas en su nivel más detallado según la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra, Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia. (IDEAM, 2010) con su respectiva imagen de referencia.

- **Arbustal denso:** Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbustivos, los cuales forman un dosel irregular, el cual representa más de 70% del área total de la unidad. La unidad puede contener elementos arbóreos dispersos. Esta formación vegetal no ha sido intervenida o su

intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y sus características funcionales (IGAC, 1999). (p. 53) **Figura: 15**

**Figura: 15**

*Referencia cobertura Arbustal denso*



- **Bosque denso bajo de tierra firme:** Corresponde a las áreas con vegetación de tipo arbóreo caracterizada por un estrato más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más de 70% del área total de la unidad, y con altura del dosel entre 5 y 15 metros, y que se encuentra localizada en zonas que no presentan procesos de inundación periódicos. (p. 43) **Figura: 16**

**Figura: 16**

*Referencia cobertura Bosque denso bajo de tierra firme*



- **Cuerpos de agua artificiales:** Esta cobertura comprende los cuerpos de agua de carácter artificial, que fueron creados por el hombre para almacenar agua usualmente con el propósito de generación de electricidad y el abastecimiento de acueductos, aunque también para prestar otros servicios tales como control de caudales, inundaciones, abastecimiento de agua, riego y con fines turísticos y recreativos. (p.

67) **Figura: 17**

**Figura: 17**

*Referencia cobertura Cuerpos de agua artificiales*



- **Herbazal denso de tierra firme con arbustos:** Corresponde a superficies dominadas por vegetación natural herbácea con presencia de elementos arbustivos dispersos que ocupan entre 2% y 30% del área total de la unidad, los cuales se localizan principalmente en áreas con limitantes edáficas y climáticas, generalmente en alturas entre 300 a 800 msnm, así como en las zonas de páramo y subpáramo de la alta montaña. (p. 50) **Figura: 18**

**Figura: 18**

*Referencia cobertura Herbazal denso de tierra firme con arbustos*



- **Herbazal denso de tierra firme no arbolado:** Corresponde a una cobertura natural constituida por un herbazal denso de tierra firme, donde no existe presencia de elementos arbóreos y/o arbustivos, o en caso de existir en ningún caso representarán más de 2% del área total de la unidad. Se localizan principalmente en áreas con limitaciones de suelos y de clima, como la altillanura de la Orinoquía, y las zonas de páramo y subpáramo de la alta montaña. (p. 48) **Figura: 19**

**Figura: 19**

*Referencia cobertura Herbazal denso de tierra firme no arbolado*



- **Lagunas, lagos y ciénagas naturales:** Superficies o depósitos de agua naturales de carácter abierto o cerrado, dulce o salobre, que pueden estar conectadas o no con un río o con el mar. En la zona andina hay cuerpos de agua (lagos y lagunas) situados en alta montaña que constituyen las áreas de nacimiento de ríos. (p. 66) **Figura: 20**

**Figura: 20**

*Referencia cobertura Lagunas, lagos y ciénagas naturales*



- **Mosaico de pastos y cultivos:** Comprende las tierras ocupadas por pastos y cultivos, en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño (inferior a 25 ha) y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual. (p. 36) **Figura: 21**

**Figura: 21**

*Referencia cobertura Mosaico de pastos y cultivos*



- **Tubérculos:** Cobertura compuesta principalmente por cultivos transitorios de diferentes tipos de plantas que poseen tubérculos. Un tubérculo es un tallo subterráneo modificado y engrosado donde se acumulan los nutrientes de reserva para la planta. Esta cobertura la componen principalmente cultivos de papa y yuca. En la región andina, los cultivos de papa se presentan por encima de los 2.000 msnm. (p. 24). Nota: Se incluyen dentro de esta cobertura las tierras en preparación, asociadas a cultivos transitorios tales como la papa, zanahoria y otros tubérculos. Esto debido a que la clasificación CLC no contiene una clase específica para “Tierras en preparación”, adicionalmente, según el Esquema de Ordenamiento Territorial de Ventaquemada, “*Ventaquemada, es el segundo productor de papa a nivel nacional, la papa es el producto que más se cultiva en el municipio.*” (Urbanismo y Territorio S.A.S., 2021, p.239), por lo tanto, se decide usar la cobertura de tubérculos **Figura: 22**

**Figura: 22**

*Referencia cobertura Tubérculos*



Luego de la respectiva homologación en la capa geográfica de la clasificación de coberturas se incluyen los respectivos campos de código y descripción para cada uno de los niveles definidos por la CLC generando una capa geográfica con la siguiente distribución de atributos (Tabla 8).

Tabla 8

*Descripción de tributos capa coberturas de la tierra*

CAMPO	NOMBRE	DESCRIPCION
ID	Identificador	Identificador unico del registro
COD_N1	Codigo Nivel 1	Codigo correspondiente al nivel 1 de la clasificacion CLC
N1_COBERT	Nombre cobertura nivel 1	Nombre de la cobertura en el nivel 1 de la clasificación CLC
COD_N2	Codigo Nivel 2	Codigo correspondiente al nivel 2 de la clasificacion CLC
N2_COBERT	Nombre cobertura nivel 2	Nombre de la cobertura en el nivel 2 de la clasificación CLC
COD_N3	Codigo Nivel 3	Codigo correspondiente al nivel 3 de la clasificacion CLC
N3_COBERT	Nombre cobertura nivel 3	Nombre de la cobertura en el nivel 3 de la clasificación CLC
COD_N4	Codigo Nivel 4	Codigo correspondiente al nivel 4 de la clasificacion CLC
N4_COBERT	Nombre cobertura nivel 4	Nombre de la cobertura en el nivel 4 de la clasificación CLC
COD_COBERT	Codigo Nivel mas detallado	Codigo correspondiente al nivel mas detallado de la clasificación CLC para el registro
COBERT	Nombre cobertura mas detallada	Nombre correspondiente al nivel mas detallado de la clasificación CLC para el registro
AREA_HA	Area en hectareas	Area del registro expresada en hectareas

### 6.3.3 FASE 2: Análisis multitemporal

#### Actividad 1: - Identificación de cambios

Usando como insumo la clasificación correspondiente a los años 2019 y 2022, por medio de scripts en Python y el uso de la herramienta Intersect del software ArcGis; se crea una nueva capa con un nuevo campo, sobre el cual se calcula si las coberturas de los polígonos intersectados son iguales o diferentes para los dos años de referencia, a partir de esto, se obtiene un listado de polígonos, los cuales tuvieron un cambio de cobertura en los dos periodos de análisis.

### 6.3.4 FASE 3: Evaluación actividades del Plan de Manejo Ambiental

#### Actividad 1: - Localización de las actividades realizadas en el marco de la implementación del PMA

El proyecto Planificación y Ordenamiento Ambiental del Territorio – POAT, encargado para el año 2023 de llevar el seguimiento del Plan de Manejo Ambiental – PMA del Páramo de Rabanal, cuenta con una matriz de seguimiento en la cual se contemplan los componentes físico, financiero y presupuestal. Dentro del seguimiento al componente físico, en el cual se reportan las actividades realizadas por la entidad en el marco del PMA se encuentran un total de 35 actividades agrupadas en 15 proyectos y 11 programas como se puede observar la Tabla 9.

Tabla 9

*Resumen matriz de seguimiento PMA Drmi Páramo de Rabanal*

PROGRAMA	PROYECTO	NUMERO ACTIVIDADES PROPUESTAS
1-PRESERVAR	1.1-Gestión para la adquisición y manejo de predios para la preservación	3
2-RESTAURACIÓN ECOLÓGICA	2.1-Restauración ecológica en el área protegida	3
3-GOBERNANZA DEL AGUA	3.1-Fortalecimiento de los actores involucrados con el agua	2
	3.2-Estrategias de mejoramiento del recurso hídrico.	2
	4.1-Reconversión productiva	3
4-INCENTIVOS A LA CONSERVACIÓN	4.2-Herramientas para el manejo del paisaje	2
	4.3-Incentivos y pagos por servicios ambientales	2
	4.4-Sostenibilidad financiera para Rabanal	2
5-TURISMO DE NATURALEZA	5.1-Turismo de naturaleza como instrumento de desarrollo sostenible	3
6-FORTALECIMIENTO Y PARTICIPACIÓN EN LA GESTIÓN AMBIENTAL	6.1-Capacitación para la sostenibilidad, comunicación participativa y divulgación	3
7-CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN	7.1-Investigación participativa	1
8-ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMATICO Y GESTIÓN DEL RIESGO	8.1-Conocimiento de riesgos en el páramo de Rabanal	2
9-AUTORIDAD AMBIENTAL	9.1-Fortalecer la capacidad de las autoridades ambientales, municipios y autoridades locales para asumir sus responsabilidades de control y seguimiento	4
10-POLITICAS PÚBLICAS	10.1-Fortalecimiento de la comisión conjunta	1
11-SEGUIMIENTO	11.1-Seguimiento al Plan de manejo	2

Sobre la matriz de seguimiento de PMA, se realiza una evaluación e identificación de las actividades propuestas, generando un campo adicional el cual describe el tipo de relación con el

cambio en las coberturas naturales (Tipo afectación) en el área de trabajo, los resultados se evidencian en la Tabla 10.

**POSITIVA:** La actividad incide directamente en el aumento de coberturas vegetales naturales dentro del área del DRMI.

**PARCIAL:** La actividad mantiene o propicia el aumento o conservación de las coberturas vegetales naturales dentro del área del DRMI.

**NEUTRA:** La actividad no genera ni fomenta ningún aumento o conservación en las coberturas vegetales naturales dentro del área del DRMI.

Tabla 10

*Relación con el cambio de coberturas naturales*

<b>TIPO DE AFECTACION</b>	<b>NUMERO DE ACTIVIDADES</b>
POSITIVA	1
PARCIAL	6
NEUTRA	28
<b>TOTAL</b>	<b>35</b>

Se seleccionan las actividades asociadas a las categorías positiva y parcial (Tabla 11), identificando los siguientes ítems:

**Actividad:** Actividad descrita en la matriz de seguimiento.

**Indicador:** Indicador descrito en la matriz de seguimiento.

**Tipo afectación:** Describe el tipo de relación entre la actividad del PMA y las coberturas naturales.

Tabla 11

*Tipo de afectación por actividad*

<b>ID</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>TIPO AFECTACION</b>
1	Implementar actividades y experiencias de restauración ecológica activa en 30 hectáreas	(No. ha Implementadas / No ha programadas)*100	POSITIVA
2	Abrir procesos sancionatorios para las afectaciones de los recursos naturales	(No de procesos definidos/no de procesos iniciados) *100	PARCIAL
3	Fomentar y cofinanciar la adquisición de 9,5 hectáreas	(Hectáreas adquiridas/ hectáreas programadas) *100	PARCIAL
4	Implementar actividades y experiencias de restauración ecológica pasiva en 40 hectáreas	(No. ha Implementadas/No ha programadas)*100	PARCIAL
5	Firma de acuerdos e implementación de actividades de reconversión productiva.	(Hectáreas con reconversión productiva/hectáreas proyectadas)*100	PARCIAL
6	Firmas de acuerdos e implementación de cercas mixtas en predios estratégicos	( #Km/año instalados / #km/año programados )	PARCIAL
7	Firma e implementación de pagos por servicios ambientales	(Hectáreas con pagos por servicios ambientales/hectáreas proyectadas) *100	PARCIAL

Una vez identificadas las actividades objeto de estudio, se realiza una revisión documental de los reportes y evidencias relacionados para cada una de ellas en la matriz de seguimiento, esto con el fin de identificar capas y/o documentos que contengan un componente geográfico de tal forma que se pueda realizar el subsiguiente análisis espacial, como se puede observar en la Tabla 12.

Tabla 12

Reporte por actividad por año

ID	ACTIVIDAD	TIPO AFECTACION	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
1	Implementar actividades y experiencias de restauración ecológica activa en 30 hectáreas	POSITIVA	Documento	No reporta	No reporta	No reporta	Documento
2	Abrir procesos sancionatorios para las afectaciones de los recursos naturales	PARCIAL	No reporta	No reporta	No reporta	No reporta	Documento
3	Fomentar y cofinanciar la adquisición de 9,5 hectáreas	PARCIAL	No reporta	No reporta	No reporta	No reporta	No reporta
4	Implementar actividades y experiencias de restauración ecológica pasiva en 40 hectáreas	PARCIAL	Shape	No reporta	No reporta	No reporta	No reporta
5	Firma de acuerdos e implementación de actividades de reconversión productiva.	PARCIAL	No reporta	No reporta	Documento (Espacial)	Documento	No reporta
6	Firmas de acuerdos e implementación de cercas mixtas en predios estratégicos	PARCIAL	Shape	No reporta	Documento	No reporta	Documento
7	Firma e implementación de pagos por servicios ambientales	PARCIAL	Documento	No reporta	Documento	Documento	No reporta

Se consultan las bases de datos geográficas del Sistema de Información Ambiental Territorial – SIAT en busca de información adicional relacionada con las actividades descritas en la matriz de seguimiento. Se obtiene información relevante, documentada (Catalogo de datos) y no documentada como capas y GDB individuales presentes en el archivo histórico de la entidad, a pesar de estas restricciones, es posible realizar una aproximación a la información dispuesta por sus nombres, atributos y registros, para posteriormente relacionarla a procesos de restauración activa y pasiva ejecutados en periodos anteriores en el área de interés. Se obtiene la siguiente distribución de información, la cual se consolida en un formato de GDB para facilitar su consulta, en la Tabla 13 se listan los registros incluidos en la GDB.

Tabla 13

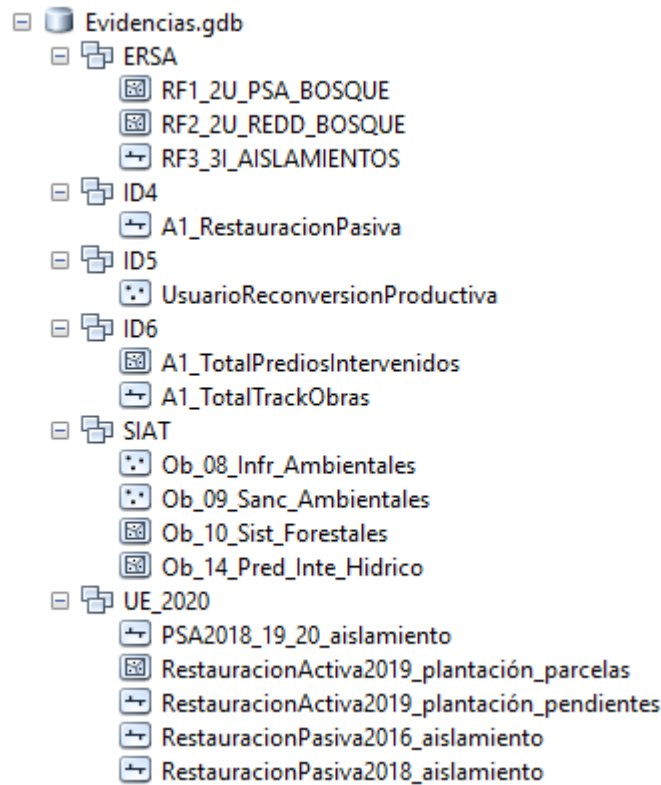
*Descripción capa geografica evidencias*

ID	CAPA GEOGRAFICA	TIPO	DESCRIPCION
1	RF1_2U_PSA_BOSQUE	Poligono	Reporte areas de bosque PSA en ERSA
2	RF2_2U_REDD_BOSQUE	Poligono	Reporte areas de bosque REDD en ERSA
3	RF3_3I_AISLAMIENTOS	Linea	Reporte areas de aislamiento pasivo ERSA
4	A1_RestauracionPasiva	Linea	Reporte actividad año 1, restauracion pasiva, areas de aislamiento
5	UsuarioReconversionProductiva	Punto	Usuarios georeferenciados objeto de reversion productiva
6	A1_TotalPrediosIntervenidos	Poligono	Predios cercas mixtas
7	A1_TotalTrackObras	Linea	Reporte aislamiento cercas mixtas
8	Ob_08_Infr_Ambientales	Punto	Reporte infracciones ambientales total CORPOCHIVOR
9	Ob_09_Sanc_Ambientales	Punto	Reporte sanciones ambientales total CORPOCHIVOR
10	Ob_10_Sist_Forestales	Poligono	Sistemas forestales (Restauracion Activa) total CORPOCHIVOR
11	Ob_14_Pred_Inte_Hidrico	Poligono	Predios de interes hidrico evaluados por CORPOCHIVOR
12	PSA2018_19_20_aislamiento	Linea	Reporte aislamiento PSA 2018
13	RestauracionActiva2019_plantación_parcelas	Poligono	Reporte restauración activa 2019 - Parcelas
14	RestauracionActiva2019_plantación_pendientes	Linea	Reporte restauración activa 2019 - Plantaciones
15	RestauracionPasiva2016_aislamiento	Linea	Reporte aislamiento 2016
16	RestauracionPasiva2018_aislamiento	Linea	Reporte aislamiento 2018

Una vez realizada la revisión documental de evidencias y consultadas las bases de datos geográficas del Sistema de Información Ambiental Territorial – SIAT, digitalizando la información presente en mapas, se obtuvo el siguiente compilado de capas geográficas. (**Figura: 23**)

**Figura: 23**

*Estructura almacenamiento información geográfica de las evidencias del seguimiento al DRMI*



Partiendo de las definiciones del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, para restauración activa: “...es el proceso que logra rescatar las funciones naturales de los ecosistemas mediante la intervención humana..”(MADS, 2023), y restauración pasiva “..es el proceso mediante el cual los ecosistemas se recuperan por sí solos cuando no existen tensionantes o se eliminan las barreras que impiden su regeneración...”(MADS, 2023), se puede relacionar con la afirmación: el aumento de cobertura vegetal natural está asociado a procesos naturales orgánicos y otros propiciados por el hombre, en ese orden de ideas, la pérdida de dichas coberturas está enmarcada en afectaciones como incendios forestales, movimientos de remoción en masa de gran magnitud, aumento de la frontera agrícola y talas entre otros factores, teniendo en cuenta esto, el análisis de los datos se realizara de manera directa, asociando cada una de las

capas a una actividad reportada en la matriz de seguimiento y asignándole un cambio esperado, tal como se evidencia en la Tabla 14.

Tabla 14

<b>ID</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>CAMBIO ESPERADO</b>	<b>CAPA GEOGRAFICA</b>
			Ob_10_Sist_Forestales
1	Implementar actividades y experiencias de restauración ecológica activa en 30 hectáreas	POSITIVO	RestauracionActiva2019_plantación_parcelas RestauracionActiva2019_plantación_pendientes
2	Abrir procesos sancionatorios para las afectaciones de los recursos naturales	NEGATIVO	Ob_08_Infr_Ambientales Ob_09_Sanc_Ambientales
3	Fomentar y cofinanciar la adquisición de 9,5 hectáreas	PARCIAL	Ob_14_Pred_Inte_Hidrico
			RF2_2U_REDD_BOSQUE
4	Implementar actividades y experiencias de restauración ecológica pasiva en 40 hectáreas	PARCIAL	RF3_3I_AISLAMIENTOS RestauracionPasiva2016_aislamiento RestauracionPasiva2018_aislamiento
5	Firma de acuerdos e implementación de actividades de reconversión productiva.	PARCIAL	UsuarioReconversionProductiva
6	Firmas de acuerdos e implementación de cercas mixtas en predios estratégicos	PARCIAL	A1_RestauracionPasiva A1_TotalTrackObras
7	Firma e implementación de pagos por servicios ambientales	PARCIAL	RF1_2U_PSA_BOSQUE PSA2018_19_20_aislamiento

Para la valoración de la información, se toma cada uno de los registros de la capa, dependiendo de la unidad mínima definida para cada una de ellas (Polígono, línea, punto.) y se compara con la clasificación de coberturas para los años 2019 y 2022 evaluando si la relación de

estado de las coberturas es conforme a lo esperado por cada actividad. Nota: Para efectos del análisis espacial, los datos Neutro y Sin Cambio se agrupan en una sola categoría.

Tabla 15

*Matriz de cambio*

		CAMBIO EVIDENCIADO		
		POSITIVO	NEGATIVO	SIN CAMBIO
CAMBIO ESPERADO	POSITIVO	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLIMIENTO PARCIAL
	NEGATIVO	NO CONCLUYENTE	CUMPLE	NO CONCLUYENTE
	SIN CAMBIO	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE

La Tabla 15 resume la matriz de evaluación del cambio, la cual se valida teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Si el cambio esperado (filas) corresponde con el cambio evidenciado (columnas) se concluye que la actividad CUMPLE.
- Si el cambio esperado es positivo y el cambio evidenciado es negativo, se concluye que la actividad NO CUMPLE.
- Si el cambio esperado es positivo y el cambio evidenciado es sin cambio se concluye que la actividad tiene un CUMPLIMIENTO PARCIAL, ya que si bien no cumple su función tampoco permite la afectación negativa a las coberturas naturales.
- Si el cambio esperado es negativo y el cambio evidenciado es positivo o sin cambio, la actividad se considera NO CONCLUYENTE. Esta categoría se enfoca principalmente en actividades que tienen un componente sancionatorio, por lo cual se debe evidenciar una afectación negativa para confirmar la efectividad de la acción ejecutada, de no existir, no es posible determinar si es por motivo de una incorrecta interpretación de los cambios, o un reporte erróneo de la actividad.

- Si el cambio esperado es sin cambio y el cambio evidenciado es positivo o sin cambio, se concluye que la actividad CUMPLE.
- Si el cambio esperado es sin cambio y el cambio evidenciado es negativo, se concluye que la actividad NO CUMPLE.

Se procede a trabajar con la información disponible, realizando geoprosos sobre las capas geográficas; para los cuales se hizo uso de scripts en Python, esto con el fin de optimizar tiempos, homogeneizar procesos y disminuir la posibilidad de errores técnicos, el resumen de los resultados se puede evidenciar en la Tabla 16

Tabla 16

*Valoración de cumplimiento por actividad y por capa geográfica*

ID	ACTIVIDAD	CAMBIO ESPERADO	CAPA GEOGRAFICA	VALORACION CUMPLIMIENTO
1	Implementar actividades y experiencias de restauración ecológica activa en 30 hectáreas	POSITIVO	Ob_10_Sist_Forestales	CUMPLIMIENTO PARCIAL
			RestauracionActiva2019_plantación_parcelas	CUMPLIMIENTO PARCIAL
			RestauracionActiva2019_plantación_pendientes	CUMPLIMIENTO PARCIAL
2	Abrir procesos sancionatorios para las afectaciones de los recursos naturales	NEGATIVO	Ob_08_Infr_Ambientales	NO CONCLUYENTE
			Ob_09_Sanc_Ambientales	NO CONCLUYENTE
3	Fomentar y cofinanciar la adquisición de 9,5 hectáreas	SIN CAMBIO	Ob_14_Pred_Inte_Hidrico	CUMPLE
4	Implementar actividades y experiencias de restauración ecológica pasiva en 40 hectáreas	SIN CAMBIO	RF2_2U_REDD_BOSQUE	CUMPLE
			RF3_3I_AISLAMIENTOS	CUMPLE
			RestauracionPasiva2016_aislamiento	CUMPLE
5	Firma de acuerdos e implementación de actividades de reconversión productiva.	SIN CAMBIO	RestauracionPasiva2018_aislamiento	CUMPLE
6	Firmas de acuerdos e implementación de cercas mixtas en predios estratégicos	SIN CAMBIO	UsuarioReconversionProductiva	CUMPLE
			A1_RestauracionPasiva	CUMPLE
7	Firma e implementación de pagos por servicios ambientales	SIN CAMBIO	A1_TotaITrackObras	CUMPLE
			RF1_2U_PSA_BOSQUE	CUMPLE
			PSA2018_19_20_aislamiento	CUMPLE

---

Con la tabla anteriormente descrita se finaliza la valoración de cumplimiento sobre las actividades que inciden directamente en el aumento o disminución de la cobertura vegetal natural en el área correspondiente al DRMI del Páramo de Rabanal, proceso realizado sobre la información geográfica reportada como evidencias en la Matriz de seguimiento del Plan de Manejo Ambiental - PMA y los datos disponibles en las bases de datos geográficas de la entidad.



## 7. Resultados

El resultado final para las dos clasificaciones corresponde a una capa geográfica que tiene como atributos los códigos y nombres desde el nivel 1 hasta el nivel 4 (Cuando aplique), según la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia en la Tabla 17 se muestra la distribución de polígonos (para el nivel más detallado).

Tabla 17

*Número de polígonos por cobertura*

<b>COBERTURA NIVEL MAS DETALLADO</b>	<b>NUMERO DE POLIGONOS 2022</b>	<b>NUMERO DE POLIGONOS 2019</b>
Arbustal denso	83	86
Bosque denso bajo de tierra firme	332	333
Cuerpos de agua artificiales	4	4
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	39	39
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	2	0
Lagunas lagos y ciénagas naturales	2	2
Mosaico de pastos y cultivos	155	136
Tubérculos	309	191
<b>TOTAL</b>	<b>926</b>	<b>791</b>

Respecto de la distribución de coberturas, para el año 2019, en la Tabla 18 se puede observar la cantidad de área por cobertura y su porcentaje respecto al área total del DRMI, adicionalmente en la **Figura: 24** se representa gráficamente dicha información.

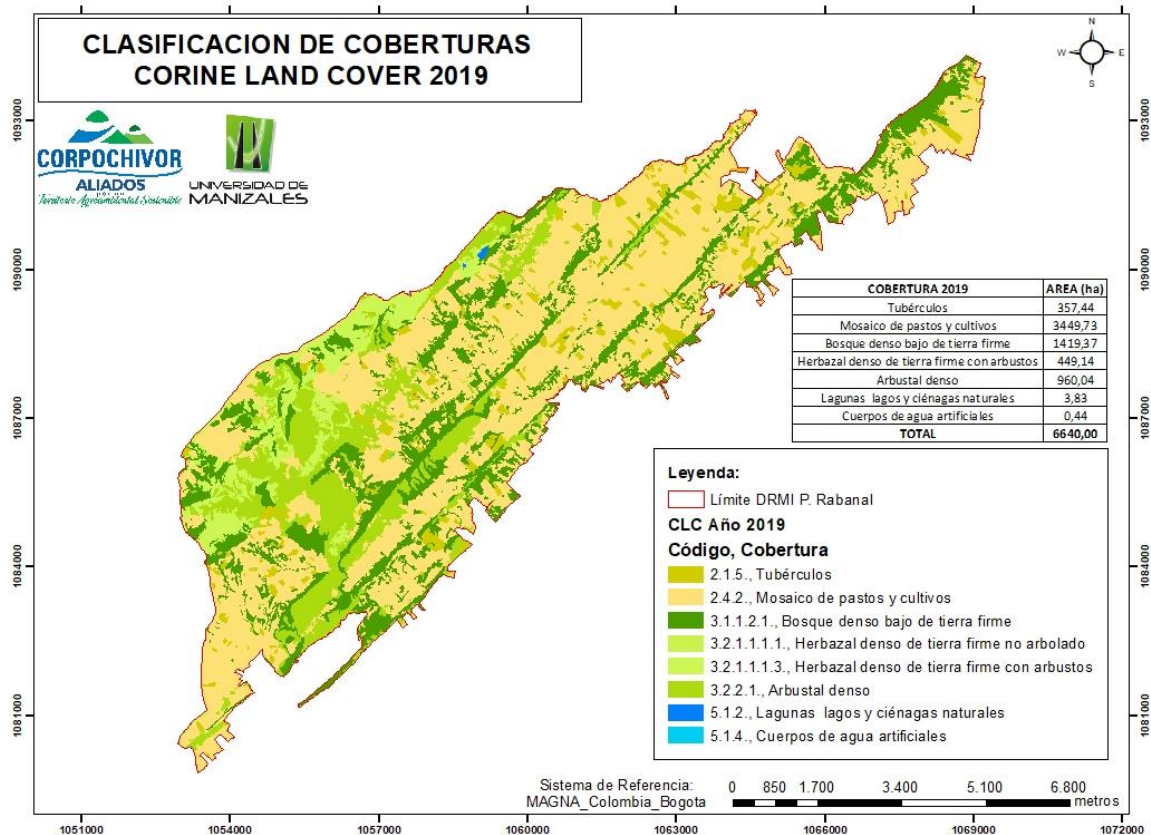
Tabla 18

*Area y porcentaje por cobertura año 2019*

<b>COBERTURA 2019</b>	<b>AREA 2019 (ha)</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
Tubérculos	357,44	5,38%
Mosaico de pastos y cultivos	3449,73	51,95%
Bosque denso bajo de tierra firme	1419,37	21,38%
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	449,14	6,76%
Arbustal denso	960,04	14,46%
Lagunas lagos y ciénagas naturales	3,83	0,06%
Cuerpos de agua artificiales	0,44	0,01%
<b>TOTAL</b>	<b>6640,00</b>	<b>100,00%</b>

Figura: 24

*Clasificación final de coberturas Corine Land Cover para el año 2019*



Igualmente, para el año 2022, en la **Figura: 25** se evidencia gráficamente la distribución de coberturas en el área del DRMI y en la Tabla 19 se representan los valores en hectáreas y porcentajes.

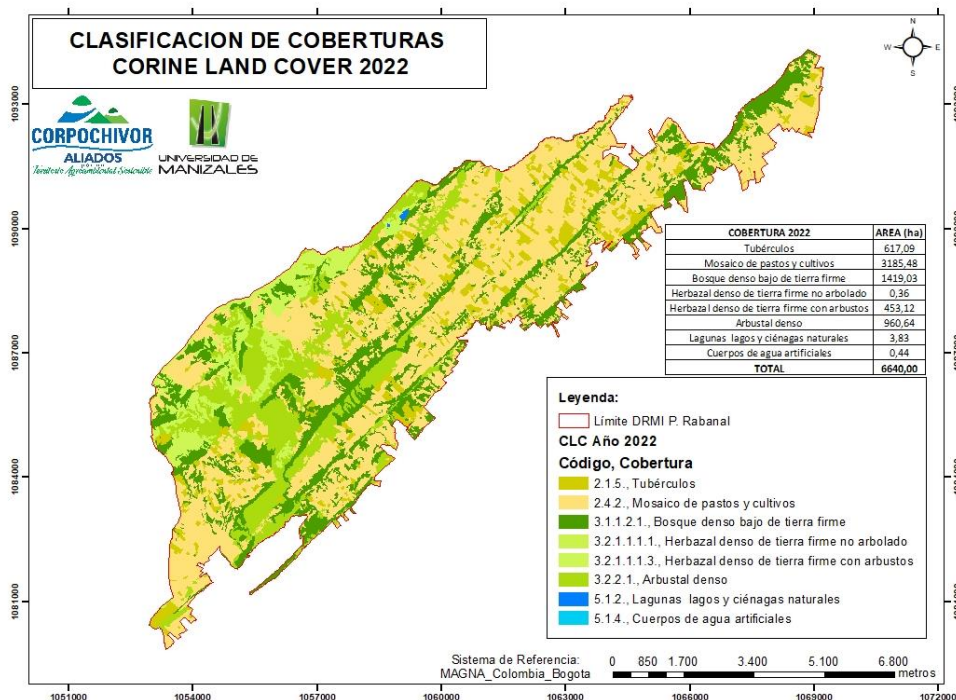
Tabla 19

Area y porcentaje por cobertura 2022

COBERTURA 2022	AREA 2022 (ha)	PORCENTAJE (%)
Tubérculos	617,09	9,29%
Mosaico de pastos y cultivos	3185,48	47,97%
Bosque denso bajo de tierra firme	1419,03	21,37%
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	0,36	0,01%
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	453,12	6,82%
Arbustal denso	960,64	14,47%
Lagunas lagos y ciénagas naturales	3,83	0,06%
Cuerpos de agua artificiales	0,44	0,01%
<b>TOTAL</b>	<b>6640,00</b>	<b>100,00%</b>

Figura: 25

Clasificación final de coberturas Corine Land Cover para el año 2022



En el análisis multitemporal sobre las coberturas obtenidas de las imágenes 2019 y 2022, se logró identificar un valor de cambio positivo igual a 7,6 ha y uno negativo de 2,7 ha, como se puede observar en la Tabla 20. Esto lleva a pensar que, a partir de los datos analizados, el área correspondiente al DRMI Páramo de Rabanal mantiene un estado de conservación de coberturas naturales estable tendiente a positivo.

Tabla 20

*Area por tipo de cambio de cobertura*

<b>TIPO DE CAMBIO</b>	<b>AREA (ha)</b>
POSITIVO	7,62
NEUTRO	803,98
NEGATIVO	2,70
SIN CAMBIO	5825,71
<b>TOTAL</b>	<b>6640,00</b>

Adicionalmente, en la Tabla 21 se relaciona el cambio de coberturas específicos, indicando la cobertura existente en la clasificación del año 2019 y la correspondiente para el año 2022. Estos cambios se representan gráficamente en la **Figura: 26**

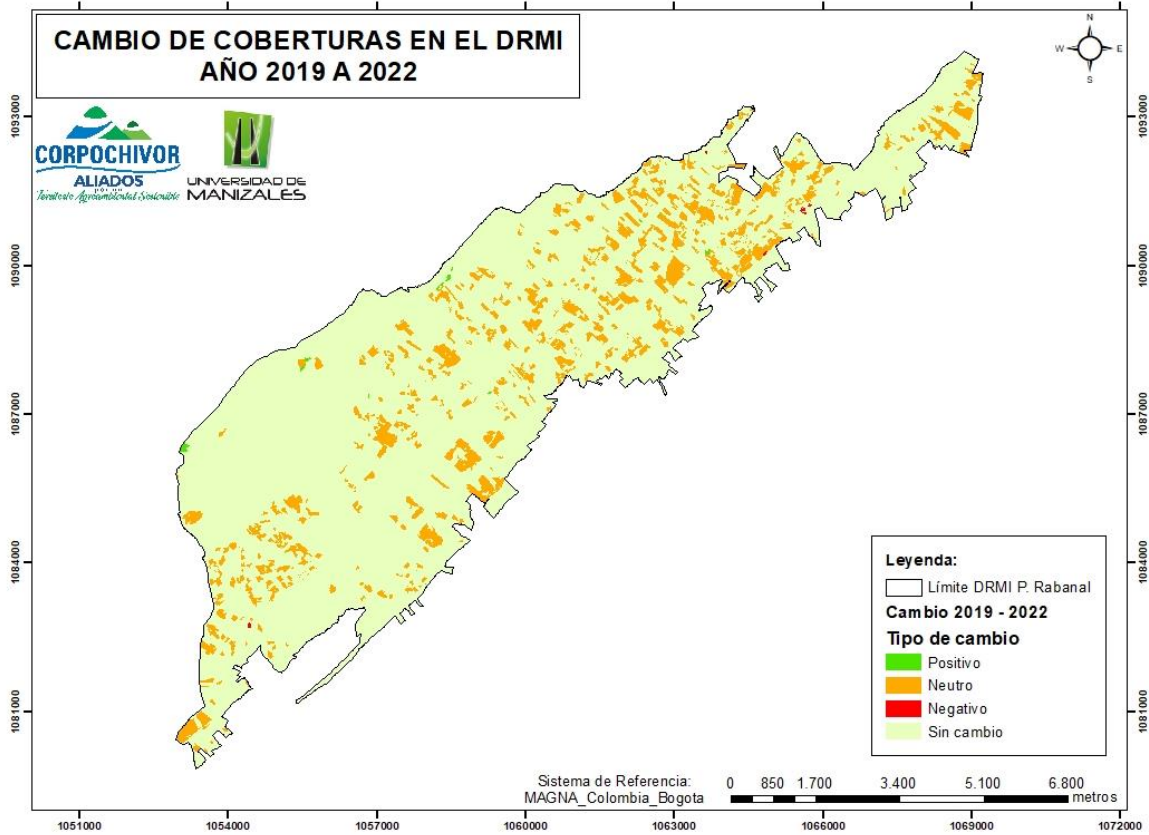
Tabla 21

*Cambio de coberturas del año 2019 al 2022*

<b>CAMBIO DE COBERTURAS</b>	<b>NUMERO DE POLIGONOS</b>	<b>AREA TOTAL CAMBIO (ha)</b>	<b>TIPO DE CAMBIO</b>
Sin cambio	N/A	5825,71	SIN CAMBIO
Arbustal denso -> Bosque denso bajo de tierra firme	1	0,32	POSITIVO
Arbustal denso -> Mosaico de pastos y cultivos	3	2,04	NEGATIVO
Bosque denso bajo de tierra firme -> Mosaico de pastos y cultivos	1	0,26	NEGATIVO
Bosque denso bajo de tierra firme -> Tubérculos	1	0,39	NEGATIVO
Mosaico de pastos y cultivos -> Arbustal denso	3	2,77	POSITIVO
Mosaico de pastos y cultivos -> Herbazal denso de tierra firme no arbolado	2	0,36	POSITIVO
Mosaico de pastos y cultivos -> Tubérculos	304	533,71	NEUTRO
Tubérculos -> Arbustal denso	2	0,20	POSITIVO
Tubérculos -> Herbazal denso de tierra firme con arbustos	2	3,98	POSITIVO
Tubérculos -> Mosaico de pastos y cultivos	188	270,27	NEUTRO
<b>TOTAL</b>		<b>6640,00</b>	

**Figura: 26**

*Cambio de coberturas en el área del DRMI, año 2019 - 2022*



En la siguiente sección se realizará un análisis individual sobre algunos de los cambios identificados como positivos o negativos, esto con el fin de tener claridad sobre la evolución a través del tiempo de las coberturas presentes en el área del DRMI.

**Arbustal denso -> Bosque denso bajo de tierra firme (Figura: 27):**

Este cambio puede corresponder a un proceso de sucesión de vegetación natural, sin embargo, teniendo en cuenta el área del polígono (0,3 ha) de cambio de coberturas y el tiempo en que transcurrió el mismo, (2019-2022), es posible que la variación identificada corresponda a un aumento del área foliar de la vegetación, la cual puede estar asociada a condiciones climáticas o

del entorno que afectan las plantas, esto en el momento de captura de las imágenes para los dos periodos de estudio.

**Figura: 27**

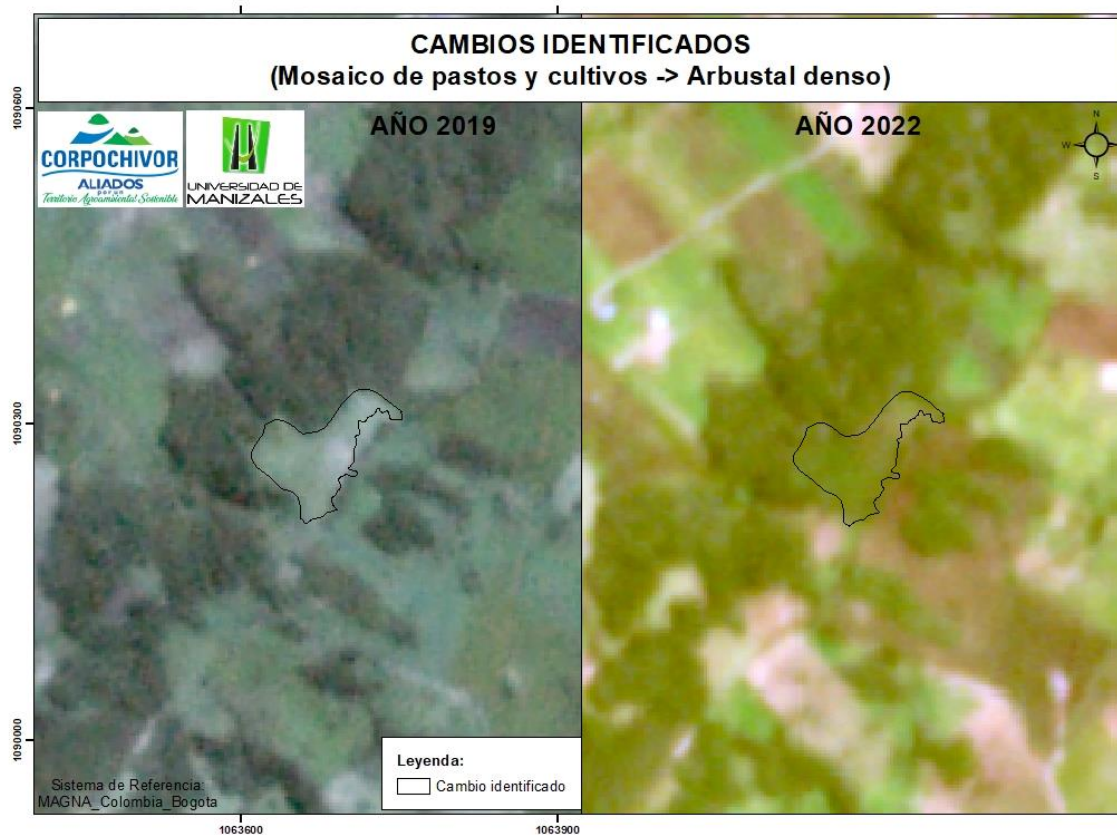
*Cambio identificado*



**Mosaico de pastos y cultivos -> Arbustal denso (Figura: 28 y Figura: 29):**

Luego de la evaluación de los datos, se evidencia dos tipos de cambio. Uno asociado posiblemente a un periodo de reposo del predio objeto de explotación agrícola, proceso común en la explotación de cultivos transitorios, o una interpretación no adecuada de un cultivo con plantas de tipo arbustivo.

Figura: 28

*Cambio identificado*

La segunda opción corresponde a un cambio efectivo de la cobertura vegetal, el cual se propicia gracias a procesos de restauración activa en el lugar. Sin embargo, esta afirmación parte de imágenes de referencia, así como la presencia de elementos representativos de siembra en el área de cambio; puesto que, en los datos geográficos vectoriales disponibles, no se encuentran registros asociados a esta ubicación.

Es posible que dichos procesos se hayan efectuado por entidades distintas a CORPOCHIVOR o en periodos mucho más antiguos que los disponibles en la información recolectada, esto con fundamento en lo descrito en el documento: Restauración ecológica activa Páramo de Rabanal, en las metas del programa de evaluación y seguimiento, “*Año Diez: Es*

*apreciable un matorral con un estrato herbáceo dominado por especies nativas. En el estrato arbustivo está dominado por arbustos alcanzando alturas entre 1,5 y 2 m, y cobertura del 60 y 70 de esta especie.” (CORPOCHIVOR, 2018, p. 44), en el cual se establece un tiempo esperado de 10 años para evidenciar cambios claros y representativos en la cobertura vegetal luego de un proceso de restauración activa.*

**Figura: 29**

*Cambio identificado*

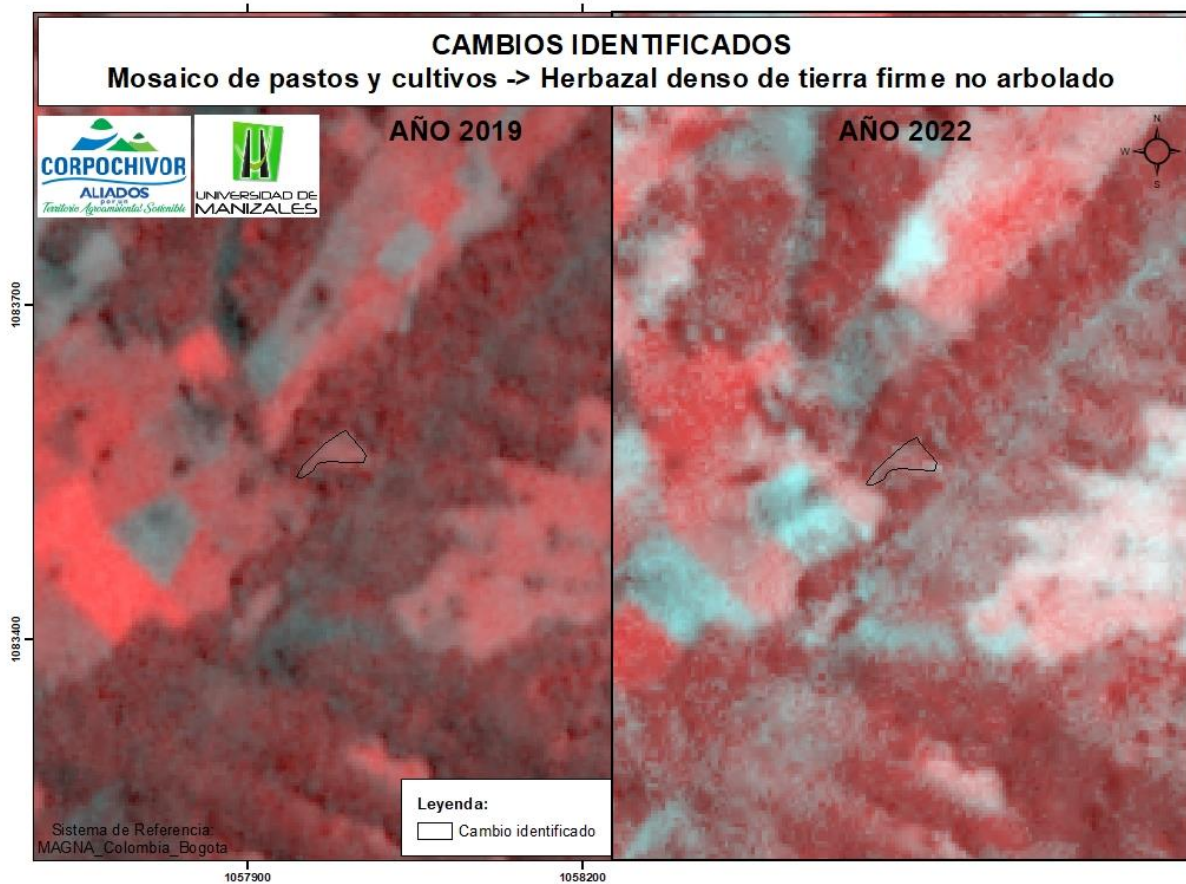


**Mosaico de pastos y cultivos -> Herbazal denso de tierra firme no arbolado (Figura: 30):**

Si bien este cambio se cataloga como positivo, por su área (0,35 ha) y las condiciones del entorno, se espera que corresponda a un proceso de barbecho o descanso de tierra entre cultivos, practica muy común en las zonas de cultivo de papa.

**Figura: 30**

*Cambio identificado*



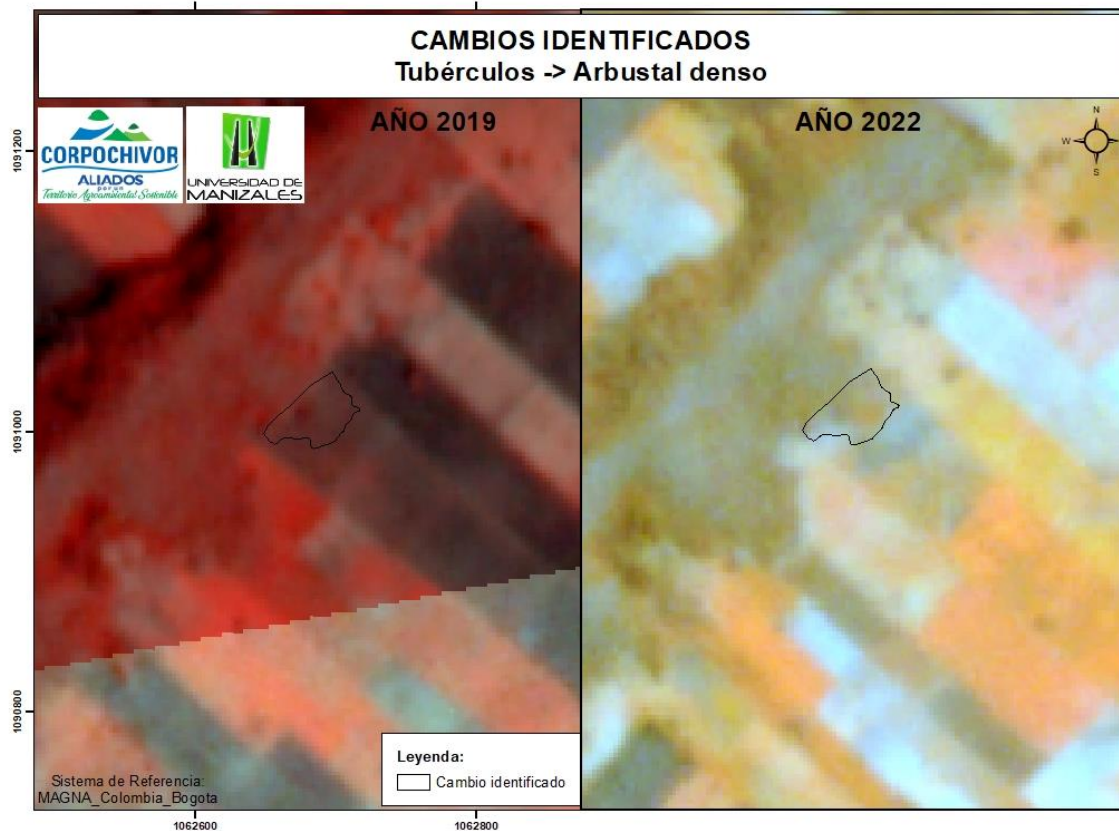
**Tubérculos -> Arbustal denso (Figura: 31):**

Si bien este cambio se cataloga como positivo, por su área (0,19 ha), las coberturas adyacentes y la tradición histórica del cultivo de tubérculos como la papa en el sector, se podrían

relacionar con tierras de descanso, sin embargo, por su cercanía con un área de arbustal, también puede ser una zona que el propietario a destinado a revegetalización, por tanto, no es posible realizar ninguna conclusión en este caso particular (no es concluyente).

**Figura: 31**

*Cambio identificado*



**Tubérculos -> Herbazal denso de tierra firme con arbustos (Figura: 32):**

Por ser una zona límite entre coberturas de zonas naturales herbáceas y cultivos, existe la posibilidad de que un proceso de barbecho se clasifique como zonas de herbazal, por tanto, el cambio identificado, a pesar de catalogarse como positivo, dadas las condiciones particulares del lugar, se puede intuir que dicha valoración no es concluyente.

**Figura: 32**

*Cambio identificado*



**Localización de las actividades realizadas en el marco de la implementación del PMA**

Como resultado final de la evaluación, se identifica que existe un cumplimiento efectivo para 5 de las actividades, no concluyente para 1 y cumplimiento parcial para otra más. Si bien este resultado nos indica que las actividades propuestas y ejecutadas cumplen su objetivo, debido a la falta de información espacial relacionada con los reportes y evidencias esta afirmación no es concluyente; el resumen de los resultados se puede evidenciar en la Tabla 22

Tabla 22

Valoración de cumplimiento por actividad y por capa geográfica

ID	ACTIVIDAD	CAMBIO ESPERADO	CAPA GEOGRAFICA	VALORACION CUMPLIMIENTO
1	Implementar actividades y experiencias de restauración ecológica activa en 30 hectáreas	POSITIVO	Ob_10_Sist_Forestales	CUMPLIMIENTO PARCIAL
			RestauracionActiva2019_plantación_parcelas	CUMPLIMIENTO PARCIAL
			RestauracionActiva2019_plantación_pendientes	CUMPLIMIENTO PARCIAL
2	Abrir procesos sancionatorios para las afectaciones de los recursos naturales	NEGATIVO	Ob_08_Infr_Ambientales	NO CONCLUYENTE
			Ob_09_Sanc_Ambientales	NO CONCLUYENTE
3	Fomentar y cofinanciar la adquisición de 9,5 hectáreas	SIN CAMBIO	Ob_14_Pred_Inte_Hidrico	CUMPLE
4	Implementar actividades y experiencias de restauración ecológica pasiva en 40 hectáreas	SIN CAMBIO	RF2_2U_REDD_BOSQUE	CUMPLE
			RF3_3I_AISLAMIENOS	CUMPLE
			RestauracionPasiva2016_aislamiento	CUMPLE
			RestauracionPasiva2018_aislamiento	CUMPLE
5	Firma de acuerdos e implementación de actividades de reconversión productiva.	SIN CAMBIO	UsuarioReconversionProductiva	CUMPLE
6	Firmas de acuerdos e implementación de cercas mixtas en predios estratégicos	SIN CAMBIO	A1_RestauracionPasiva	CUMPLE
			A1_TotalTrackObras	CUMPLE
7	Firma e implementación de pagos por servicios ambientales	SIN CAMBIO	RF1_2U_PSA_BOSQUE	CUMPLE
			PSA2018_19_20_aislamiento	CUMPLE

## 8. Conclusiones

Las condiciones de cobertura del suelo en el área del DRMI Páramo de Rabanal en el municipio de Ventaquemada para el año 2019 se distribuyen de la siguiente manera: el área de la parte más alta de las cuchillas existentes en la zona corresponde a vegetación natural alta y media expresada según la clasificación Corine Land Cover en el ejercicio realizado como Bosque denso bajo de tierra firme y Arbustal denso. En la sección con menor pendiente del área de trabajo se observan coberturas uniformes asociadas a zonas de mosaico de pastos y cultivos, en su mayoría transitorios.

La distribución de coberturas del suelo en el área del DRMI del Páramo de Rabanal para el año 2022 presentan una distribución similar a la encontrada para el año 2019, en la cual la vegetación natural, en su mayoría se localiza en la parte alta de las cuchillas, así como en las cotas superiores, con una presencia alta de pastos y cultivos en las zonas con menor pendiente.

El cambio de coberturas naturales en el área del DRMI del Páramo de Rabanal, según los datos analizados es muy bajo, hasta el punto de considerar que, para el periodo estudiado, no existe un cambio representativo que evidencie el aumento de actividades antrópicas o expansión excesiva de las actividades agrícolas o pecuarias. Dicha afirmación cual puede relacionarse con la existencia del área protegida, declarada en el año 2011 por CORPOCHIVOR y la concienciación de los habitantes del área en el cuidado de los recursos naturales.

El uso de imágenes de sensores remotos para el análisis de cambio de coberturas naturales en el territorio es una herramienta efectiva y practica que permite realizar la labor de

una forma metódica y eficiente, sin embargo, para el caso particular del DRMI Páramo de Rabanal, por las particularidades del territorio, más de 1800 predios en el área de trabajo, de los cuales, un gran porcentaje son objeto de explotación agrícola o ganadera, el alto grado de intervención humana que presenta la zona y la presencia de pequeños relictos de bosque con áreas menores a 1 ha, es pertinente realizar este tipo de análisis con imágenes de mayor resolución espacial, esto con el fin de obtener resultados más fiables y acordes a la realidad del territorio.

Un factor importante que obstaculizó el proceso de consulta y valoración de datos, corresponde a un reporte poco práctico de las actividades implementadas. Muchos de los registros para los 5 años de ejecución no contenían información. Adicionalmente, para los reportes que hacían alusión a información con algún grado de componente espacial, las evidencias correspondían a documentos financieros o administrativos tales como actas de reunión, acuerdos, actas de liquidación, fotografías de predios entre otros; elementos que, si bien cumplen la función de evidencia, no permiten un análisis posterior basado en datos.

El método de seguimiento y reporte de actividades implementadas en el marco del Plan de Manejo Ambiental del DRMI Páramo de Rabanal presenta una serie de particularidades que imposibilita un análisis espacial sobre las actividades implementadas. Teniendo en cuenta esta situación evidenciada en el desarrollo del trabajo, el proyecto de Planeación y Ordenamiento Ambiental del Territorio – POAT de CORPOCHIVOR, considero incluir un componente espacial asociado a la evidencia de actividades relevantes en las matrices de seguimiento de los planes de manejo ambiental que se encuentran en actualización y próximos a actualizarse.

---

El uso de sensores remotos para el análisis de coberturas es ampliamente usado en todo el mundo, sin embargo, según lo evidenciado en el presente ejercicio, no es eficiente para evaluar y medir actividades encaminadas al aumento de coberturas naturales de tipo arbóreo tales como la restauración activa, esto debido a que, los procesos de sucesión vegetal, requieren un tiempo de evolución superior a la vigencia de los Planes de Manejo Ambiental (5 años); para dicho rango temporal, los cambios presentados en las zonas intervenidas, no son representativos en las imágenes usadas.

El uso de herramientas basadas en los Sistemas de Información Geográfica, utilizando como insumos imágenes satelitales, ortofotomosaicos y datos vectoriales permiten una optimización y normalización de procesos de evaluación y seguimiento para actividades que poseen un componente espacial, sin embargo, para obtener resultados confiables se requiere que los insumos sean óptimos, es decir, imágenes con suficiente resolución espacial para evidenciar cambios y reporte adecuado de la información asociada al desarrollo de las actividades enmarcadas en los Planes de Manejo Ambiental.

## 9. Recomendaciones

Para procesos de clasificación de coberturas en Distritos Regionales de Manejo Integrado – DRMI, y en general, para áreas altamente intervenidas o con presencia de minifundios, se recomienda a la Corporación Autónoma Regional de Chivor – CORPOCHIVOR, el uso de imágenes de alta resolución y/o mayor rango espectral como insumo para este tipo de análisis.

En el marco del seguimiento a las actividades propuestas incluidas en los diferentes proyectos de los Planes de Manejo Ambiental – PMA, se recomienda incluir un componente geográfico en el reporte de las actividades, de ser posible, se estructure un modelo de almacenamiento el cual deba ser alimentado durante la ejecución de las mismas. Este producto, podrá ser de utilidad para generar estadísticas de avance y como insumo para los procesos de actualización del PMA y otros relevantes para la entidad.

Se recomienda al Sistema de Información Ambiental Territorial – SIAT, y en general a todos los proyectos de CORPOCHIVOR, crear un catálogo de datos para productos puntuales generados por contratistas, consultorías o cualquier tercero ajeno a la entidad de tal forma que exista una memoria histórica organizada y completa que sirva como insumo para estudios futuros sobre el territorio.

## 10. Referencias

Giri, C., Defourny, P. & Shrestha, S. (2003). Land cover characterization and mapping of continental Southeast Asia using multi-resolution satellite sensor data. *International Journal of Remote Sensing*, 24(21), 4181-4196. <https://doi.org/10.1080/0143116031000139827>

Fu, A., Sun, G., Guo, Z. & Wang, D. (2010). Forest Cover Classification With MODIS Images in Northeastern Asia. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 3(2), 178-189. <https://doi.org/10.1109/jstars.2010.2044556>

Nazarova, T., Martin, P. & Giuliani, G. (2020). Monitoring Vegetation Change in the Presence of High Cloud Cover with Sentinel-2 in a Lowland Tropical Forest Region in Brazil. *Remote Sensing*, 12(11), 1829. <https://doi.org/10.3390/rs12111829>

Fashae, O. A., Tijani, M. N., Adekoya, A. E., Tijani, S. A., Adagbasa, E. G. & Aladejana, J. A. (2022). Comparative Assessment of the Changing Pattern of Land cover along the Southwestern Coast of Nigeria using GIS and Remote Sensing techniques. *Scientific African*, 17, e01286. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01286>

Opedes, H., Múcher, S., Baartman, J. E. M., Nedala, S. & Mugagga, F. (2022). Land Cover Change Detection and Subsistence Farming Dynamics in the Fringes of Mount Elgon National Park, Uganda from 1978–2020. *Remote Sensing*, 14(10), 2423. <https://doi.org/10.3390/rs14102423>

Lasanta, T. & Vicente-Serrano, S. M. (2012). Complex land cover change processes in semiarid Mediterranean regions: An approach using Landsat images in northeast Spain. *Remote Sensing of Environment*, 124, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.04.023>

Hansen, M. C., Stehman, S. V., Potapov, P. V., Loveland, T. R., Townshend, J. R. G., DeFries, R. S., Pittman, K. W., Arunarwati, B., Stolle, F., Steininger, M. K., Carroll, M. &

DiMiceli, C. (2008). Humid tropical forest clearing from 2000 to 2005 quantified by using multitemporal and multiresolution remotely sensed data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(27), 9439-9444. <https://doi.org/10.1073/pnas.0804042105>

Broich, M., Hansen, M. C., Potapov, P., Adusei, B., Lindquist, E. & Stehman, S. V. (2011). Time-series analysis of multi-resolution optical imagery for quantifying forest cover loss in Sumatra and Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(2), 277-291. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.11.004>

Marx, A., McFarlane, D. & Alzahrani, A. (2017). UAV data for multi-temporal Landsat analysis of historic reforestation: a case study in Costa Rica. *International Journal of Remote Sensing*, 38(8-10), 2331-2348. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1280637>

Santos, S. R., Flores, J. L. & Garcia-Torales, G. (2015). Intelligent image processing for vegetation classification using multispectral LANDSAT data. *SPIE Proceedings*. <https://doi.org/10.1117/12.2190019>

Aik, D. H. J. & Ismail, M. H. (2020). Detection of deforestation and analysis land conversion from high resolution satellite imageries in Bintulu District, Serawak, Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 561(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/561/1/012010>

Huillcen Baca, H. A., de Luz Palomino Valdivia, F., Ortiz Guizado, J. I., Ponce Atencio, Y. & Tadeo, F. T. (2020). Vegetation cover estimation from high-resolution satellite images based on chromatic characteristics and image processing. 2020 39th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC). <https://doi.org/10.1109/sccc51225.2020.9281247>

Objetivos de Desarrollo Sostenible | Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo. (s. f.). UNDP. Recuperado 27 de octubre de 2022, de <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>

Landsat NASA. (2021b, diciembre 17). About | Landsat Science. Landsat Science | A joint NASA/USGS Earth observation program. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/about/>

Comunicaciones, W. (s. f.). Técnicas de procesamiento digital de imágenes | Revista de Marina. Recuperado 27 de octubre de 2022, de <https://revistamarina.cl/es/articulo/tecnicas-de-procesamiento-digital-de-imagenes>

Vichada ya tiene un Distrito Regional de Manejo Integrado. (s. f.). WWF. Recuperado 27 de octubre de 2022, de <https://www.wwf.org.co/?365514/Vichada-ya-tiene-un-Distrito-Regional-de-+Manejo-Integrado>

Sánchez, Natalia. (2018). Cambios en la cobertura vegetal y en el espejo de agua asociados a la influencia antrópica en el Humedal Toqui-Toqui, Tolima, Colombia. RIDIUM

Manchabajoy Manchabajoy, Juliana Jean. (2022). Análisis multitemporal de la cobertura vegetal en el Páramo de Paja Blanca, departamento de Nariño, período 1991 –2017. RIDIUM

De la Cruz Burgos, Jenni Marcela; Muñoz García, Gustavo Adolfo. (2016). Análisis multitemporal de la cobertura vegetal y cambio de uso del suelo del área de influencia del programa de reforestación de la Federación Nacional de Cafeteros en el municipio de Popayán, Cauca. RIDIUM.

Grande Medina, Jairo David. (2015). Modelamiento morfométrico y análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal de la subcuenca del río Molino ubicada en el municipio de Popayán, departamento del Cauca, utilizando la metodología Corine Land Cover con imágenes de sensores remotos. RIDIUM.

Narváez Bravo, Germán Edmundo. (2019). Problemáticas ambientales asociadas a las actividades agropecuarias en la cuenca alta del río Mayo (Nariño - Colombia). RIDIUM

Quitiaquez Segura, Javier Eduardo. (2017). Incidencias de las actividades humanas sobre los recursos naturales y la cobertura vegetal en el Santuario de Flora y Fauna Galeras (SFFG) (Nariño). RIDIUM

Orozco Ospino, Javier Enrique; Romero Arias, Ober Adiel; Rudas Muñoz, Antonio (2017). Estrategias de manejo para áreas objeto de conservación biológica en la Serranía del Perijá, Municipio de La Jagua De Ibirico, Cesar. RIDIUM

Navia Navia, Jimmy Alexander; Rivera Morales, Luis Eduardo. (2016). Análisis multitemporal de coberturas en la subzona hidrográfica alto río Cauca utilizando imágenes satelitales Landsat. RIDIUM.

Bedoya Álvarez, Mary Luz; Portillo Moreno, Javier Flavio; Sáenz Cortes, Hans Rene. (2016). Análisis del cambio de la cobertura entre 1999 y 2015 del páramo de Chiles - Cumbal a través de la utilización de herramientas SIG. RIDIUM.

González Bustos, Nixon Eusebio; González Mahecha, Adriana Liseth. (2015). Análisis multitemporal del espejo de agua en la Laguna de Fúquene para el periodo de 1985 a 2015. RIDIUM.

Chantre Velasco, Mabel. (2017). Análisis comparativo de cambios de área en coberturas en la parte alta de la subcuenca río Palacé, a través de imágenes Landsat entre 1989 y 2016. RIDIUM.

Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de teledetección espacial, Segunda Edición. Ediciones RIALP, S.A. MADRID.

Randall B. Smith, Ph D., (2001). Introducción a la percepción remota del ambiente (PRA). MicroImages Inc.

Duque López, J. A., (2018) Generación de cartografía vectorial automática para cuerpos de agua aplicando análisis multiresolución en imágenes satelitales de alta resolución espacial en la sabana de Bogotá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, (2021). Elaboración del mapa de cobertura de la tierra escala 1:10.000 [Archivo PDF].

<http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/DOCUMENTOS%20SGI%202021/GAG/PC-GAG-07/IN-GAG-PC07-03%20Elaboracion%20del%20mapa%20de%20cobertura%20de%20la%20tierra%20escala%2010.000.pdf>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, (2021). Elaboración del mapa de cobertura de la tierra escala 1:25.000 [Archivo PDF].

<https://www.igac.gov.co/es/contenido/elaboracion-del-mapa-de-cobertura-de-la-tierra-escala-125000>

Corporación Autónoma Regional de Chivor – CORPOCHIVOR, (2018). Restauración Ecológica Activa Páramo de Rabanal. [Archivo PDF]

Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, (15 de agosto de 2023). Restauración. <https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/restauracion-2/#:~:text=La%20restauración%20activa%20es%20el,han%20sido%20alterados%20o%20destruidos.>

Monterroso Tobar, M. F., (s. f.) Guía Practica: Clasificación de imágenes satelitales.  
[Archivo PDF].

<https://tysmagazine.com/guia-practica-clasificacion-de-imagenes-satelitales/>

IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p. ISBN: 978-958-806729-2

Ospina Moreno, M., Chamorro Ruiz, S., Anaya García, C., Echeverri Ramírez, P., Atuesta, C., Zambrano, H., Abud, M., Herrera, C., Ciontescu, N., Guevara, O., Zarrate, D. y Barrero, A. (2020). Guía para la planificación del manejo en las áreas protegidas del Sinap Colombia. 159 pp. Cali - Colombia. [Archivo PDF] ISBN obra digital: 978-958-52986-1-3

Corporación Autónoma Regional de Chivor – CORPOCHIVOR, (2018). Plan de Manejo Ambiental del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Páramo Rabanal – Componente Estratégico. [Archivo PDF]

Decreto 2372 de 2010. Por el cual se reglamenta el Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y el Decreto-ley 216 de 2003, en relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y se dictan otras disposiciones. 01 de julio de 2010

Acuerdo 002 de 23 de febrero de 2018. Por el cual se adopta el Plan de Manejo Ambiental del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Páramo de Rabanal, en el municipio de Ventaquemada en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Chivor – CORPOCHIVOR.

Decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Urbanismo y Territorio S.A.S. (2021) Diagnóstico Territorial, Revisión y ajuste del EOT de Ventaquemada Boyacá 2021-2035.

**A. Anexo: Capas generadas (Clasificación de coberturas años 2019 y 2022)**