



**Análisis multitemporal de coberturas afectadas por incendios en el páramo de Sumapaz  
entre los años 2018 a 2021.**

Juan Camilo Álzate Hernández  
Javier Mauricio Clavijo Pérez  
Kelly Vanessa Mejía Gómez  
Adriana María Rodas Avalos

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

Tutor: Jiber Antonio Quintero, Magíster (MSc) en Planificación Urbana y Regional

Universidad de Manizales  
Facultad de Ciencias e Ingeniería  
Especialización en Sistemas de Información Geográfica - Virtual  
Manizales, Caldas, Colombia  
2025

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Cita</b>                | (Álzate Hernández, et al., 2025)   |
| <b>Referencia</b>          | Álzate Hernández J.C, et al, (2025). <i>Análisis multitemporal de coberturas afectadas por incendios en el páramo de Sumapaz entre los años 2018 a 2021</i> . [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Manizales. RIDUM: Repositorio Institucional Universidad de Manizales. |
| <b>Estilo APA 7 (2020)</b> |  |



Especialización en Sistemas de Información Geográfica - Virtual, II

**Declaración de inteligencia artificial:** los autores de este trabajo de grado declaran que han utilizado herramientas de inteligencia artificial (IA), tales como ChatGPT, Turnitin y Gemini, de manera ética y responsable, tal como se establece en el Acuerdo UManizales 002 (julio 26 de 2023) sobre propiedad intelectual e IA. Estas herramientas son empleadas como apoyo en la redacción, revisión gramatical y generación de ideas, pero en ningún caso sustituyen el análisis crítico, la argumentación académica ni la originalidad del trabajo. Asimismo, cualquier contenido generado con asistencia de IA está citado y referenciado adecuadamente, garantizando la integridad académica y el cumplimiento de los principios éticos de la investigación.

**Biblioteca y Centro de Recursos:** <https://biblioteca.umanizales.edu.co/>

**Repositorio Institucional:** <http://ridum.umanizales.edu.co/>

**Universidad de Manizales:** [www.umanizales.edu.co](http://www.umanizales.edu.co)

**Revistas:** <http://revistasum.umanizales.edu.co/>

**Fondo Editorial:** <https://editorialum.umanizales.edu.co/>

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Manizales ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

### **Dedicatoria**

Dedicamos este trabajo a todos aquellos que comprenden la importancia del cuidado de los ecosistemas en especial de los páramos y trabajan en pro de su conservación.

A los páramos del territorio colombiano que regulan el recurso hídrico y sostienen una gran diversidad de especies endémicas haciendo único nuestro territorio.

### **Agradecimientos**

Expresamos agradecimientos a la Universidad de Manizales por crear la posibilidad, el espacio y las herramientas para llevar a cabo este proyecto.

A los docentes y asesores por brindar los conocimientos necesarios para desarrollar satisfactoriamente los objetivos, su orientación fue fundamental en la consolidación del proyecto. A nuestras familias, su apoyo incondicional y comprensión fueron uno de los grandes pilares para la continuidad del proceso.

A los compañeros de estudio, por el compartir de saberes, la motivación y compromiso en la ejecución de actividades que hicieron posible el desarrollo del proyecto.

A todas las personas que directa o indirectamente contribuyeron al cumplimiento de nuestros objetivos, gracias.

## Tabla de contenido

|  |    |
|--|----|
| Resumen .....                                | 9  |
| Abstract .....                               | 11 |
| Introducción .....                           | 12 |
| 1. Planteamiento del problema .....          | 13 |
| 1.1 Descripción del área problemática .....  | 14 |
| 1.2. Formulación del problema .....          | 17 |
| 1.3 Antecedentes .....                       | 17 |
| 2. Justificación.....                        | 27 |
| 3. Objetivos .....                           | 29 |
| 3.1 Objetivo general .....                   | 29 |
| 3.2 Objetivos específicos.....               | 29 |
| 4. Hipótesis.....                            | 30 |
| 4.1.1 Hipótesis nula.....                    | 30 |
| 4.1.1.1 Hipótesis alterna.....               | 30 |
| 5. Marco teórico .....                       | 31 |
| 5.1 Páramo.....                              | 31 |
| 5.2 Incendio forestal .....                  | 31 |
| 5.2.1 Característica de los incendios.....   | 31 |
| 5.3 Cobertura terrestre.....                 | 31 |
| 5.4 Teledetección .....                      | 32 |
| 5.5 Imágenes satelitales.....                | 32 |
| 5.6 Sistemas de información geográfico ..... | 33 |

|  |    |
|--|----|
| 5.7 Bases de datos espaciales .....  | 33 |
| 5.8 Exactitud temática .....   | 34 |
| 5.9 Procesamiento digital de imágenes .....  | 34 |
| 5.10 Metodología de Corine Land Cover.....   | 35 |
| 6. Metodología .....   | 36 |
| 6.1 Enfoque metodológico .....   | 36 |
| 6.2 Tipo de estudio .....  | 37 |
| 6.3 Procedimiento.....   | 38 |
| 6.3.1. Identificación y caracterización de la afectación en la zona de estudio ..... | 38 |
| 6.3.2 Consulta del histórico de Emergencias.....                                     | 38 |
| 6.3.3. Puntos de calor.....  | 39 |
| 6.3.4. Imágenes satelitales Landsat 8.....   | 39 |
| 6.3.4.1 Correcciones atmosféricas.....   | 41 |
| 6.3.4.2 Índice Normalizada de Área Quemada .....                                     | 43 |
| 6.3.4.3 Intersección del índice NBR con coberturas .....                             | 44 |
| 7. Resultados .....  | 45 |
| 8. Discusión.....  | 60 |
| 9. Conclusiones .....  | 62 |
| 10. Recomendaciones.....   | 64 |
| Referencias .....  | 65 |

**Lista de tablas**

**Tabla 1.** Rangos de valores Burn Severity .....43

**Tabla 2.** Consolidado de eventos zona de estudio entre los años 2018 – 2021 .....46

**Tabla 3.** Reporte de eventos de incendios en el páramo de Sumapaz entre los años 2018 – 2021.  
.....48

**Tabla 4.** Identificación de veredas por medio de escala binaria.....50

**Tabla 5.** Identificación de veredas por medio de escala binaria para las veredas Lagunitas, Las Sopas, El Dorado y Parque Sumapaz. ....52

**Tabla 6.** Coberturas de la tierra afectadas por incendio forestal en la vereda Las Sopas.....57

**Tabla 7.** Coberturas de la tierra afectadas por incendio forestal en la vereda El Dorado. ....57

**Tabla 8.** Coberturas de la tierra afectadas por incendio forestal en la vereda Parque Sumapaz. ..57

**Tabla 9.** Área afectada por la gravedad de incendios forestales en la vereda Las Sopas.....58

**Tabla 10.** Área afectada por la gravedad de incendios forestales en la vereda Parque Sumapaz .58

**Tabla 11.** Área afectada por la gravedad de incendios forestales en la vereda El Dorado.....59

### Lista de figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación del Páramo de Sumapaz .....   | 16 |
| <b>Figura 2.</b> Características Imagen Satelital LANDSAT 8. ....  | 40 |
| <b>Figura 3.</b> Imágenes satelitales 2018 – 2021 Sin corrección atmosférica .....   | 41 |
| <b>Figura 4.</b> Imágenes satelitales 2018 – 2021 Con corrección atmosférica .....   | 42 |
| <b>Figura 5.</b> Capas a interceptar diferencia de NBR y coberturas .....  | 45 |
| <b>Figura 6.</b> Eventos de incendios forestales reportados en el Páramo Cruz Verde Sumapaz entre los años 2018 - 2021 ..... | 47 |
| <b>Figura 7.</b> Identificación de veredas, coberturas y puntos de calor .....   | 54 |
| <b>Figura 8.</b> Diferencia normalizada de área quemada vs índice normalizado de área quemada.....                           | 55 |
| <b>Figura 9.</b> Coberturas afectadas en las veredas Las Sopas, El Dorado y Parque Sumapaz.....                              | 56 |

### **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

|               |   |
|---------------|---|
| <b>CAR</b>    | Corporación Autónoma Regional   |
| <b>CLC</b>    | Corine Land Cover   |
| <b>GDB</b>    | Modelo de Almacenamiento Geográfico de Datos  |
| <b>IDEAM</b>  | Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales  |
| <b>IDIGER</b> | Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático  |
| <b>IGAC</b>   | Instituto Geográfico Agustín Codazzi  |
| <b>MADS</b>   | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible  |
| <b>MODIS</b>  | Espectro radiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, sigla en inglés) |
| <b>NBR</b>    | Índice Normalizado de Área Quemada (Normalized Burn Ratio, sigla en inglés)   |
| <b>NDVI</b>   | Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index, sigla en inglés)                |
| <b>PNN</b>    | Parques Nacionales Naturales  |
| <b>SIAC</b>   | Sistema de Información Ambiental de Colombia  |
| <b>SIG</b>    | Sistemas de Información Geográfica  |
| <b>SNGRD</b>  | Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres   |
| <b>UNGRD</b>  | Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres  |
| <b>USGS</b>   | Servicio Geológico de los Estados Unidos (United States Geological Survey, sigla en inglés)                             |
| <b>WWF</b>    | Fondo Mundial para la Naturaleza (World Wildlife Fund, sigla en inglés)   |

## Resumen

En la presente investigación, se pretende realizar el análisis multitemporal para la determinación de área de afectación en la cobertura vegetal clasificada de acuerdo con la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, y que fue afectada por diferentes incendios forestales ocurridos entre los años 2018 y 2021 en el ecosistema del Parque Nacional Natural Sumapaz. Para este estudio se utilizaron imágenes satelitales Landsat 8 correspondientes con dos momentos específicos del antes y el después de los eventos, capturadas el 30 de diciembre del 2018 y el 20 de enero de 2021, respectivamente.

Se realizó la combinación RGB de imágenes satelitales relacionando la diferencia entre la imagen antes del evento de incendio y la imagen después del evento usando bandas (5, 4,3), que muestra el análisis de vegetación, representando la vegetación más saludable en colores rojos brillantes, mientras que la dispersa se muestra en tonos rojos claros, el suelo se muestra en colores marrón, las áreas urbanizadas se muestran azul claro y los cuerpos de agua se representan en tonos azules oscuros.

Sobre estas imágenes se calcularon los índices espectrales y análisis multiespectral para la identificación de características, patrones, y variables que permitieron identificar y cuantificar las áreas afectadas por eventos de incendio en ecosistemas de PNN Sumapaz. Dentro de los índices calculados se encuentra el Índice Normalizado de Área Quemada (NBR), así como la gravedad del área quemada, con esta información, se identificó la intensidad, tamaño y afectación de la cobertura vegetal dentro del polígono del incendio. Este geoprocesamiento y los cálculos respectivos se realizaron en el software ArcGIS Pro.

Se consultaron bases de datos de la Unidad de Gestión de Riesgo (UNGRD) algunos reportes de Parque Nacionales Naturales (PNN) y Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) donde se compilaron reportes entre el 30 de diciembre de 2018 y 31 de diciembre de 2021 para los cuales se encontraron 61 veredas reportadas y un total de 1.772 hectáreas con afectación sin contar con el

reporte de área de afectación para las veredas Parque Sumapaz y El Dorado. Para el año 2020 se evidenció una cantidad significativa de 41 reportes de un total de 65 reportes. Además, se calcularon los índices normalizados de área quemada NBR, la gravedad del área quemada y el área afectada por categorías de severidad del Burn severity en las siguientes vereda Las Sopas de la ciudad de Bogotá D.C. departamento de Cundinamarca, vereda Parque Sumapaz del municipio de Cubarral departamento del Meta y la vereda el Dorado del municipio de Guamal departamento del Meta, las veredas anteriormente nombradas se encuentran dentro del área de influencia del páramo de Sumapaz el análisis se realizó para el período comprendido entre los años 2018 - 2021.

*Palabras clave: Páramo, Parque Nacional Natural Sumapaz, imágenes satelitales, afectación, coberturas vegetales, incendios forestales, análisis multitemporal.*

### **Abstract**

This research conducted a multitemporal analysis to determine the affected area of vegetation cover, classified according to the Corine Land Cover methodology adapted for Colombia. The study focused on areas within the Sumapaz National Natural Park ecosystem that were impacted by various forest fires between 2018 and 2021. Landsat 8 satellite imagery corresponding to two specific dates—December 30, 2018, and January 20, 2021—was used to capture pre- and post-fire conditions.

An RGB composite was generated using band combination (5, 4, 3), highlighting differences between pre- and post-fire imagery. This combination facilitates vegetation analysis, with healthy vegetation appearing in bright red, sparse vegetation in light red, soil in brown, urbanized areas in light blue, and water bodies in dark blue.

Spectral indices and multispectral analysis were applied to identify features, patterns, and variables that allowed the detection and quantification of areas affected by wildfires within the park ecosystem. Among the indices calculated were the Normalized Burn Ratio (NBR) and burn severity. This information enabled the characterization of fire intensity, size, and impact on vegetation cover within the fire perimeters. All geoprocessing and calculations were carried out using ArcGIS Pro software.

Databases from the National Unit for Disaster Risk Management (UNGRD), reports from National Natural Parks (PNN), and the District Secretariat of Environment (SDA) were consulted. These sources compiled data between December 30, 2018, and December 31, 2021, identifying 61 rural areas ("veredas") affected, covering a total of 1,772 hectares, excluding those for which no specific affected area was reported (Parque Sumapaz and El Dorado veredas). In 2020, a particularly high number of incidents was recorded, with 41 out of 65 reports occurring that year.

In addition, the NBR index, burn severity, and affected area by burn severity categories were calculated for the following rural areas: Las Sopas (Bogotá D.C.), Parque Sumapaz (Cubarral municipality, Meta department), and El Dorado (Guamal municipality, Meta department). These areas are located within the influence zone of the Sumapaz Páramo, and the analysis covered the period from 2018 to 2021.

**Keywords:** Páramo, Sumapaz National Natural Park, satellite imagery, impact, vegetation cover, forest fires, multitemporal analysis.

## **Introducción**

Los incendios en zona de páramo representan un factor de riesgo con graves consecuencias tanto en el equilibrio ambiental como para la salud de las comunidades que habitan estos ecosistemas. Entre sus principales se encuentran la expansión de la frontera agrícola, actividades ocasionadas por las acciones del ser humano y los efectos del cambio climático. En este contexto, la presente investigación se enfoca en identificar los eventos de incendios de mayor impacto en el páramo de Sumapaz durante el periodo de 2018 a 2021, con el fin de promover medidas que mitiguen sus daños, a través de una detección oportuna y monitoreo constante.

Por consiguiente, la finalidad de la investigación es identificar y cuantificar las coberturas afectadas por los incendios en el PNN de Sumapaz entre los años 2018 a 2021 mediante un análisis multitemporal utilizando imágenes satelitales que contribuyan a la formulación de iniciativas asociadas a la gestión del riesgo, puesto que los páramos son de gran importancia en la regulación hídrica del planeta y la conservación de especies.

Teniendo en cuenta lo anterior para el desarrollo de la investigación se utilizaron imágenes satelitales Landsat 8 correspondientes con dos momentos específicos del antes y el después de los eventos, capturadas el 30 de diciembre del 2018 y el 20 de enero de 2021, respectivamente. Sobre estas imágenes se calcularon los índices espectrales y se implementó el análisis multiespectral para la identificación de características, patrones, y variables que permitieron identificar y cuantificar las áreas afectadas por eventos de incendio en el Parque Nacional Natural.

## 1. Planteamiento del problema

Los páramos son ecosistemas naturales ubicados en las latitudes tropicales con sistemas montañosos, la mayoría en altitudes superiores a los 3.000 metros sobre el nivel del mar. Debido a su ubicación en la zona ecuatorial, tienen clima frío a lo largo de todo el año y sus suelos de origen volcánico suelen ser muy fértiles (Herrera, 2013). En el mundo es posible encontrar páramos en pocas regiones como lo son: Centro América, África, Asia y Oceanía, estos ecosistemas de páramo juegan un papel muy importante en la regulación del ciclo hidrológico que sustenta el suministro del recurso hídrico para consumo humano, ya que son los encargados de generar agua dulce para millones de habitantes en todo el mundo. (Hofstede, Segarra & Mena, 2003)

Los páramos también se caracterizan por presentar una alta riqueza biótica, ya que alojan una gran diversidad de flora y fauna endémica, lo cual les permite ser el hábitat de una cantidad considerable de especies nativas de este ecosistema, otras de sus importantes funciones se relaciona con la contribución de servicios ecosistémicos como la regulación del clima a partir del almacenamiento de CO<sub>2</sub>, convirtiéndose en importantes sumideros de carbono, ya que retienen una tercera parte del dióxido de carbono en su subsuelo, razón por la que son fundamentales para contrarrestar el cambio climático (Lal, 2004; Zimmermann et al., 2010; Zúñiga-Escobar et al., 2013; Ayala et al., 2014).

Una de las grandes problemáticas que trae consigo el cambio climático y que afecta en su gran mayoría los páramos, es el aumento de temperaturas que en épocas de verano propicia la frecuencia de incendios forestales de consecuencias devastadoras para el medio ambiente, incluso para la salud y seguridad de las personas (Comisión Nacional, 2010; Ressler, et al., 2012). Los incendios son responsables de gran parte de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera (principalmente dióxido de carbono), lo que repercute en el calentamiento y en la alteración del sistema climático global (Vander Werf et al., 2004), además de ser causantes de la degradación del bosque tropical, con impactos múltiples en la estructura del bosque, biodiversidad y el ciclo de nutrientes presentes en el suelo (Cochrane, 2003). Países en América Latina como Bolivia, Ecuador, Perú, Brasil, Colombia, Argentina y Paraguay han sido los más afectados.

Estos ecosistemas se ven afectados por los incendios de la cobertura vegetal, que se presentan generalmente en períodos de mayor sequía; cuyas causas para el caso de Colombia están relacionadas con actividades antrópicas como la expansión de la frontera agrícola o por descuidos asociados a fogatas con fines recreativos, al desecho de los fumadores y a actividades que involucran la quema de pólvora y cacería de animales, así como la caída de redes eléctricas y al conflicto armado en zonas de importancia ambiental (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático [IDIGER], s.f.).

Los avances tecnológicos en el área de la teledetección, específicamente en los relacionado con el procesamiento de imágenes satelitales para el análisis multitemporal sistemático de afectación por incendios forestales, facilitan la evaluación de incendios forestales en ecosistemas de páramo y siguen siendo un desafío en términos de aplicabilidad, precisión y eficacia.

Teniendo en cuenta lo anterior con la presente investigación se pretende cuantificar las áreas afectadas por incendios forestales, mediante un análisis multitemporal de los eventos en el ecosistema de páramo de Sumapaz, entre los años 2018 a 2021, lo que determinará el grado de afectación producida en las coberturas vegetales, de la misma manera permitirá obtener información que aporte en la toma de decisiones para la mitigación del evento en estudio, enfocada al fortalecimiento de la prevención del riesgo de incendios forestales en la zona de páramo objeto de estudio.

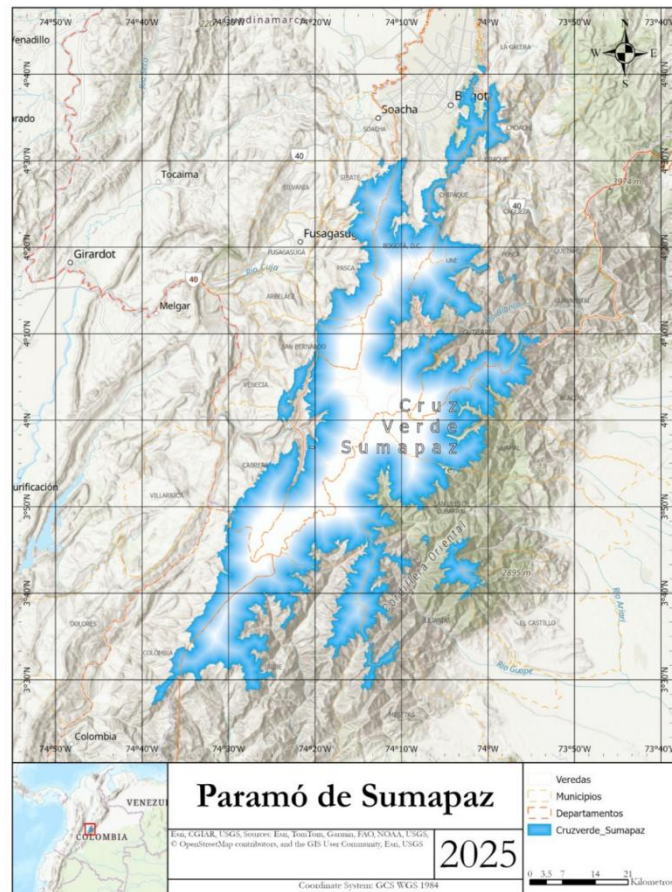
## **1.1 Descripción del área problemática**

Colombia es el país con mayor extensión de páramos en todo el mundo, contando con 2.299.000 hectáreas de páramo a lo largo de las tres cordilleras de los Andes, correspondiendo cerca al 50% de los páramos de todo el mundo, llevándola a enfrentar una serie de desafíos ambientales, desde inicios del 2023, diferentes emergencias ambientales por los graves incendios forestales que azotan dichos ecosistemas en varios departamentos, lo que ha puesto en riesgo a cientos de especies de animales y plantas, y a las comunidades que viven en estos ecosistemas (WWF Colombia, 2024). En el periodo comprendido entre noviembre de 2023 y enero de 2024 en

Colombia se presentaron 237 incendios de cobertura vegetal, que afectaron 131 municipios y aproximadamente 3.523 hectáreas de vegetación (Bárceñas y Mejía, 2024).

Para la presente investigación se tomó como objeto de estudio la zona del páramo de Sumapaz, el cual presenta temperaturas iguales o menores a 12 °C, se extiende de sur a norte por las áreas montañosas que rodean el altiplano de Bogotá D.C, altitudinalmente se encuentra por encima de los 3.000 m.s.n.m. (Alcaldía Mayor de Bogotá D. C. et al., 2004), con una extensión de 78.095 hectáreas, de suelo rural a suburbano, su extensión lo categoriza como el “páramo más grande del mundo”. En cuanto las coberturas vegetales presentan en su mayor extensión la vegetación de páramo y bosque alto andino, en este último se encuentran las franjas de vegetación de bosque alto Andino y Sub andino dando la importancia ecosistémica y de regulación hídrica de la región (Rojas 2017). El Páramo de Sumapaz, es responsable del suministro de agua a millones de personas, por lo que debe ser protegido de amenazas ambientales que comprometen su integridad. Problemáticas ambientales como los incendios forestales atentan contra la vegetación del páramo, dejando huellas irreparables en su biodiversidad.

En la Figura 1 se muestra el mapa de ubicación del complejo de paramos Cruz Verde - Sumapaz delimitado en tono azul el cual está comprendido entre los departamentos de Cundinamarca, Meta y Huila delimitados por la línea punteada de color marrón oscuro, la línea amarilla punteada delimita los municipios y en gris tenue las veredas.

**Figura 1.** Mapa de ubicación del Páramo de Sumapaz

*Nota.* Datos abiertos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2025). Elaboración propia.

Según datos de preliminares de Parques Nacionales Naturales (PNN), en cuanto a la incidencia de incendios en áreas protegidas el PNN Sumapaz encabeza la lista con 84 registros, que han afectado grandes extensiones de vegetación, dentro de los eventos más relevantes, se puede evidenciar que, en el año 2020, se presentó un incendio que afectó alrededor de 24,71 hectáreas de vegetación de páramo dominada por frailejones (Secretaría Distrital de Ambiente, 2021). Acciones ocasionadas por la intervención directa del ser humano, en su gran mayoría encaminado a la expansión de la frontera agrícola, así como también por causas naturales como estaciones secas prolongadas, se convierten en las causas más relevantes de este fenómeno.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuáles fueron los eventos de incendio de mayor impacto en el páramo de Sumapaz en el periodo de 2018 a 2021 y su afectación en las coberturas de la capa vegetal?

Luego de una revisión sistemática de la literatura se logra evidenciar la escasa disponibilidad de información de los fenómenos de incendio y su afectación en ecosistemas de páramo obtenida mediante la implementación de técnicas como el cálculo del Índice Normalizado de Área Quemada NBR, la severidad del incendio, la relación con los puntos de calor y el traslape de la cobertura Corine Land Cover, aunado a esto se identifica una carencia de portales, geovisores y salidas graficas que expongan las afectaciones de incendios en el ecosistema del páramo de Sumapaz que contribuyan a las instituciones competentes en la toma de decisiones para la mitigación y prevención de desastres.

## **1.3 Antecedentes**

De manera general se han realizado múltiples ejercicios de investigación con el fin de determinar los cambios de coberturas de la tierra y diferentes regiones o ecosistemas, para esta investigación se desarrollará específicamente en ecosistemas de páramo con alturas superiores a 3000 m.s.n.m. en el complejo de páramos de Cruz verde Sumapaz ubicado en la cordillera oriental sobre los departamentos de Cundinamarca, Huila y Meta, al sur de la capital de Colombia, Bogotá.

(Poveda et al., 2022) Realiza la evaluación de cinco métodos de clasificación supervisada con el objeto de determinar la extensión y distribución espacial de los páramos Merchán y Telecom contenidos en el complejo de páramos Iguaque del municipio de Saboya, Boyacá en la cordillera oriental de Colombia, por medio de la utilización de imágenes satelitales de Landsat 8 y la clasificación basada en algoritmos de Machine Learning, esta clasificación permitió determinar que el método más preciso fue el RF de acuerdo con el indicador Kappa que establece la exactitud y confiabilidad del método, los resultados sirven como insumo para la determinación de distancias entre páramos, como insumo para la toma de decisiones y delimitaciones de coberturas.

(Manchabajoy y Polanco., 2022) La siguiente investigación propone la identificación de los cambios en la cobertura vegetal del páramo Paja Blanca en el periodo de 1991 a 2017 este páramo se encuentra ubicado en el departamento de Nariño sobre la vertiente Andino amazónica de los municipios Pupiales, Sapuyes, Ospina, Iles, Guachucal, Contadero y Gualmatal, se realiza la clasificación jerárquica de coberturas mediante la metodología CLC Corine Land Cover adaptada para Colombia utilizando cartografía 1:25.000 y productos de sensores remotos como imágenes de satelitales de Landsat 5 y Landsat 8. Mediante procesamiento SIG se clasifican coberturas de Páramo, Sub páramo, bosque fragmentado y mosaico de pastos y cultivos para los años 1991 y 2017, respectivamente, se realiza la comparación de cada una de las coberturas y se analiza las posibles causas de los cambios en las coberturas. Este estudio concluye con la identificación del impacto generado por procesos de producción agropecuaria la cual contribuye al deterioro del de fuentes hídricas y disminución de ecosistemas de páramo.

(Zubieta et al., 2024) La investigación expone la utilidad de los focos de calor obtenidos a partir de satélites para la detección de fuegos activos en ecosistemas Andinos en la localidad de Cusco, Perú, se realiza la obtención de información desde los registros históricos de incendios reportados por el Instituto Nacional de Defensa Civil y la publicación de noticias periodísticas, estableciendo así la localización de los eventos de incendio en los períodos de julio – agosto de 2019 y 2020, los focos de calor se obtienen de sensores como MODIS y VIIRS de los satélites Terra y Aqua y SOUMI, JPSS-1 respectivamente. De igual manera se utiliza de cuatro imágenes satelitales de Sentinel 2 para las zonas de mayor ocurrencia de incendios forestales, como metodología se realiza la comparación de los focos de calor con las evidencias de cicatriz. De acuerdo al procesamiento de imágenes antes y después del evento de incendio por medio de índices espectrales de NBR que indican los píxeles de área quemada, lo cual concluye que para áreas pequeñas entre 1 y 5 hectáreas los focos de calor son poco recomendables de acuerdo con la duración del evento de pocas horas y la resolución espacial de la imagen, consecuentemente en cuanto al área entre 100 y 500 hectáreas se disminuye el error de acuerdo que su resolución espacial y la temporalidad del evento es mayor a doce horas lo cual permite la aplicabilidad de los focos de calor producto de los sensores MODIS y VIIRS.

(Capador et al., 2021) La investigación se centra en el análisis del cambio de coberturas debido a incendios forestales de diferentes causas en los años 2001, 2015 y 2016, se desarrolla alrededor de los cerros orientales de la ciudad de Bogotá Colombia, utilizando índices espectrales como el índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI, el índice normalizado de área quemada NBR y la temperatura superficial de la tierra LST. La recopilación de información se realiza a través del Servicio Geológico de Los Estados Unidos (USGS), por medio de la descarga de imágenes multiespectrales de los satélites Landsat 5, 7 y 8 antes y después del evento, la metodología realizada compara el índice NDVI el cual establece la disminución de la salud y calidad vegetal, se comparan las áreas de afectación, el número de eventos de incendio registrados y el área de afectación, presentando para el 2001 13 incendios con un área de 68 hectáreas afectadas, a su vez 13 incendios más con 31.38 hectáreas de afectación, para 2001 a 2015 se presentan 14 incendios con una afectación de 46.25 hectáreas para el 2016 se presenta un incendio que afecta 10 hectáreas.

En la discusión se presenta la comparación del índice NDVI antes y después de los eventos registrados, presentado una disminución en el índice que representa el deterioro de la vegetación frondosa y vigorosa se presenta el análisis del índice espectral concluyendo la afectación más notoria en la vegetación escasa susceptible a la combustión rápida. De igual manera se relaciona la LST durante el evento de incendio la cual aumenta significativamente sus valores alcanzando temperaturas entre 30 y 48 grados centígrados, se identifica la relación a mayor índice menor LST además de la incidencia y propagación de los incendios debido a factores de sobrecarga hídrica de acuerdo con vitalidad de la vegetación (Capador et al., 2021).

(Ávila-Vélez, E.F. 2020) La investigación se enfoca en ofrecer una herramienta metodológica que sea precisa, replicable y económica para evaluar el impacto espacial de los incendios en el territorio, este aspecto es fundamental para la gestión ambiental y la planificación territorial, ya que busca mejorar los procesos de evaluación y monitoreo de dichos eventos. Para lograrlo, se adopta una metodología basada en el procesamiento digital de imágenes del satélite Landsat TM aplicando técnicas de corrección radiométrica, cálculo de índices espectrales (con un énfasis en el NDVI) y un análisis comparativo multitemporal antes y después del incendio, esto

permite identificar cambios en la cobertura vegetal con precisión, los resultados indican que es posible determinar con exactitud las áreas quemadas logrando así una identificación clara de la magnitud del daño en diversas zonas geográficas, aunque esta propuesta ha demostrado ser eficaz de bajo costo y replicable en otras regiones, su contribución es significativa para la planificación ambiental y la toma de decisiones en la gestión del riesgo de incendios forestales.

(Jiménez et al., 2016) El propósito de esta investigación es analizar los patrones espaciales de susceptibilidad a incendios en diversas coberturas vegetales del norte de Antioquia, teniendo en cuenta tanto factores intrínsecos de la vegetación como variables climáticas y topográficas. Para lograr esto se generaron mapas de susceptibilidad bruta (SB), que se basan en las características propias de la vegetación y de susceptibilidad neta (SN) que además integran factores climáticos y topográficos, la metodología empleada incluyó un análisis espacial de estas variables para identificar áreas con distintos niveles de susceptibilidad a incendios, los resultados revelan que las áreas dominadas por pastos muestran una muy alta susceptibilidad bruta con el (27,19%) y neta del (18,38%) a incendios, mientras que los bosques tanto naturales como plantados presentan una baja susceptibilidad bruta, se encontró que los patrones espaciales de susceptibilidad a incendios están íntimamente relacionados con factores climáticos y topográficos es decir, al considerar estos factores adicionales las áreas con muy alta susceptibilidad bruta reducen su extensión, también se observó que las categorías más críticas de susceptibilidad neta se localizan en paisajes homogéneos con pequeños parches de bosque y rastrojos lo que sugiere que la estructura del paisaje juega un papel importante en la susceptibilidad a incendios.

(AIDA, 2024) El presente artículo busca crear conciencia sobre la urgente necesidad de proteger los ecosistemas de los páramos y bosques andinos en Colombia, especialmente a raíz de los recientes incendios que han arrasado estas valiosas áreas, este se fundamenta en datos proporcionados por la Unidad para la Gestión del Riesgo de Desastres y la Organización Meteorológica Mundial para ilustrar la magnitud de la destrucción y las causas que la subyacen, como el cambio climático y la proliferación de especies invasoras altamente inflamables. Según los resultados, hasta el 3 de febrero de 2024 se habían registrado 576 incendios que devoraron más de 37. 742 hectáreas impactando gravemente parques nacionales y páramos esenciales para el

suministro de agua y la biodiversidad del país, en este contexto se hace un llamado al gobierno colombiano para que implemente medidas urgentes encaminadas a prevenir futuros incendios, restaurar ecológicamente las áreas degradadas y adoptar un enfoque integral de protección de estos ecosistemas frente a actividades extractivas que agravan la crisis climática y el desabastecimiento hídrico.

(Pineda, 2021) El estudio propone llevar a cabo una investigación sobre la evolución temporal y los factores de riesgo asociados a los incendios forestales en los ecosistemas de páramos y bosques altoandinos de Colombia desde la década de 1970. Para ello, se empleará una metodología que combina el análisis cronológico de datos históricos de incendios con la evaluación de factores climáticos y geográficos que inciden en su ocurrencia. Los resultados indican que la frecuencia y extensión de los incendios han variado a lo largo del tiempo, siendo especialmente notoria esta variación en departamentos como Cundinamarca, Boyacá, Huila y Tolima. Además, se ha observado que fenómenos como El Niño incrementan la susceptibilidad de la vegetación a los incendios, el cual pone de manifiesto la urgencia de implementar estrategias de gestión del riesgo que consideren tanto las variaciones climáticas como las particularidades geográficas de cada región con el fin de mitigar el impacto de los incendios forestales en estos ecosistemas vulnerables.

(IDECA, 2020) La presente investigación tiene como finalidad identificar y analizar las áreas del Distrito Capital que son más vulnerables a los incendios forestales, con el objetivo de fortalecer la gestión del riesgo y la planificación territorial en la ciudad, para ello se ha utilizado una metodología que combina información geoespacial y datos históricos sobre la ocurrencia de incendios lo que facilita la elaboración de mapas de susceptibilidad y la identificación de zonas críticas, en este sentido se observa que localidades como San Cristóbal, Ciudad Bolívar y Usme presentan una mayor frecuencia de eventos relacionados con incendios forestales, lo cual resalta la necesidad de implementar estrategias específicas de prevención y mitigación en estas áreas. El análisis también pone de relieve la importancia de integrar la gestión del riesgo por incendios forestales en el ordenamiento territorial de Bogotá, fomentando acciones coordinadas entre las

entidades distritales y la comunidad para reducir la vulnerabilidad y proteger los ecosistemas urbanos y periurbanos.

(RTVC Noticias.2023) El artículo de RTVC Noticias titulado Páramos, los principales afectados de los incendios forestales en los últimos días tiene como objetivo informar sobre la reciente afectación de los ecosistemas de páramo en Colombia debido a incendios forestales, para ello se basa en reportes de autoridades locales y nacionales que detallan la magnitud de los incendios y las áreas impactadas, estos resultados presentados indican que en el Páramo Las Alfombras en Boyacá se quemaron más de 2.000 hectáreas de bosque, en el Páramo Santo Domingo en Cauca 400 hectáreas fueron consumidas y el Páramo de Sumapaz entre Cundinamarca y Meta también sufrió incendios significativos, con esto se puede enfatizar en la gravedad de la pérdida de flora y fauna especialmente de frailejones y subraya la necesidad de que la comunidad preste especial atención al uso de fogatas y otras actividades que puedan desencadenar incendios en estos ecosistemas vulnerables.

(Perea-Ardila, 2024). La siguiente investigación tiene como finalidad examinar la distribución temporal y espacial de los focos de calor en el departamento del Tolima durante el período comprendido entre 2001 y 2022 así como su relación con variables como la precipitación mensual, las coberturas vegetales y la elevación del terreno, para llevar a cabo este análisis se recopilaron datos del sensor MODIS y se utilizaron sistemas de información geográfica que permitieron realizar análisis de correlación espacial y geoprocésamiento, los hallazgos del estudio indican que se detectaron un total de 7.334 focos de calor presentando patrones bimodales, siendo agosto y septiembre los meses con el mayor número de registros. Además, se observó una baja correlación entre la precipitación mensual y la incidencia de estos focos, también las áreas impactadas abarcaron tanto bosques como coberturas no forestales, localizándose principalmente por debajo de los 1.000 metros de altitud, este estudio proporciona información valiosa para comprender la dinámica de los incendios en el Tolima resaltando la necesidad de considerar aspectos espaciales y temporales en la gestión del riesgo de incendios forestales en la región.

(Sarmiento, C., y León, O. (eds.). 2015) El protocolo de estudio busca estandarizar los métodos para evaluar las características funcionales de las aves lo que facilitará la comparación de datos entre diferentes estudios y contribuirá a una mejor comprensión del funcionamiento de los ecosistemas, la metodología propuesta se centra en la identificación y selección de rasgos funcionales relevantes el cual ofrece una descripción detallada de las técnicas de medición y establece procedimientos consistentes para la recolección de datos, tanto en campo como en laboratorio, aunque los resultados específicos no se abordan en el protocolo se anticipa que su implementación generará datos comparables y de alta calidad sobre las características funcionales de las aves, la adopción de este protocolo fomentará la uniformidad en la investigación ornitológica y enriquecerá nuestro entendimiento de las interacciones ecológicas y del papel que desempeñan las aves en los ecosistemas.

(Murad et al., 2024) El siguiente estudio tiene como objetivo evaluar el impacto de las actividades humanas en la vegetación nativa de los páramos de Rabanal y Guerrero ubicados en el centro de Colombia durante un periodo de 37 años. Para ello se utilizaron imágenes multispectrales de los satélites Landsat y Sentinel con el fin de analizar los cambios en la cobertura vegetal y las alteraciones en las firmas espectrales de la vegetación autóctona, se obtuvieron muestras que desde 1984 el páramo de Rabanal ha perdido el 47,96% de su vegetación nativa, mientras que en el caso de Guerrero esta cifra alcanza el 59,96%. Esta reducción ha sido principalmente reemplazada por cultivos, pastos y bosques plantados. Además, se identificaron modificaciones en las firmas espectrales de la vegetación cercana a hornos de coquización de carbón, lo que sugiere un deterioro en la salud del ecosistema de los páramos y podría tener repercusiones negativas en los servicios ecosistémicos que estos proporcionan. Se puede decir que la actividad humana está provocando una disminución en la extensión de los páramos y en su eficacia como fuentes de agua y sumideros de carbono, lo que podría tener consecuencias severas tanto a nivel regional como global.

(Pompa et al. 2012) El propósito de este estudio es evaluar el nivel de agrupamiento de los puntos de calor en diversas ecozonas del norte de México durante el periodo de 2001 a 2010. Para llevar a cabo esta evaluación se segmentó el área de estudio en 1,343 unidades fisiográficas y se

utilizó el estadístico G de Getis-Ord para calcular el grado de agrupamiento acompañándolo de una prueba estadística que verifica su validez, los resultados obtenidos indican que los puntos de calor presentan un patrón de distribución agrupado particularmente notable en los ecosistemas de coníferas y encinas, también se plantea la necesidad de realizar análisis más profundos para investigar los mecanismos que originan dicho agrupamiento. Además, los datos históricos resultan atractivos por su simplicidad y bajo costo lo que los convierte en herramientas valiosas para ayudar a los investigadores a identificar posibles áreas de incidencia de incendios forestales.

(García, et al. 2023) El objetivo de este proyecto es crear un sistema capaz de detectar y analizar la degradación de los ecosistemas de páramo en Colombia. Para lograrlo se ha desarrollado una arquitectura de red neuronal convolucional U-Net se ha implementado una infraestructura en la nube y se ha creado una API para desplegar el modelo. Aunque el documento no presenta resultados cuantitativos se anticipa que este sistema permitirá segmentar los páramos identificando áreas degradadas y su cobertura natural, con el fin de dar la integración de estas tecnologías proporciona una herramienta robusta y confiable que apoyará los esfuerzos de conservación de los páramos en Colombia.

(Franco, 2016) El autor busca proporcionar una guía práctica y accesible para aquellos que desean identificar cambios en la cobertura del suelo mediante herramientas vectoriales en ArcGIS. Su enfoque pedagógico facilita el aprendizaje del análisis multitemporal utilizando shapefiles, para ilustrar su metodología se utiliza como estudio de caso el Santuario de Flora y Fauna igual que en Boyacá, Colombia donde se comparan datos espaciales de los años 2000 y 2005. La metodología que propone se basa en una secuencia de pasos que incluye la intersección de capas, el cálculo de áreas actualizadas, la creación de campos combinados que reflejan el tipo de cambio, la asignación de simbologías diferenciadas y la consolidación de datos a través de operaciones de Summarize. Entre los hallazgos más destacados se identifican áreas específicas donde la cobertura del suelo ha cambiado, como la transformación de vegetación herbácea a pastos mientras que otras zonas se han mantenido sin alteraciones. Se evidencia que el análisis multitemporal vectorial es no solo factible utilizando herramientas estándar de ArcGIS, sino que también puede ser automatizado y

ampliado para realizar análisis espaciales más complejos lo que lo convierte en una valiosa herramienta para estudios ambientales planificación territorial y evaluación de impacto ecológico.

(Rodríguez, et al. 2021) El documento tiene como objetivo principal evaluar el impacto de la intervención humana en la transformación del paisaje y su efecto sobre la capacidad productiva del suelo en esta área. Para llevar a cabo esta evaluación se realizó un análisis multitemporal empleando imágenes Landsat correspondientes a los años 1998, 2007 y 2020, luego se aplicó una clasificación supervisada para identificar y comparar los cambios en las coberturas terrestres a lo largo del tiempo. Esto revela que los asentamientos urbanos han causado transformaciones significativas en el paisaje evidenciado por el crecimiento de áreas urbanas, agrícolas y mineras, así como por la expansión de zonas ganaderas y la tala indiscriminada de bosques nativos, estos hallazgos destacan la urgente necesidad de implementar políticas de gestión ambiental que atenúen los efectos negativos que la actividad humana ha generado en la región.

(ARSET, 2021) La capacitación tiene como objetivo principal instruir a los participantes en el uso de datos de teledetección para detectar, monitorear y mitigar incendios forestales abarcando las condiciones antes, durante y después de estos eventos. El curso se desarrolla a través de seis sesiones de dos horas cada una donde se presentan materiales y casos de estudio centrados en las aplicaciones operativas de las observaciones de la Tierra para el monitoreo de incendios, también se utilizan datos satelitales y herramientas de teledetección para analizar aspectos como las condiciones climáticas, la caracterización del combustible, la detección de incendios y la evaluación del paisaje después de un incendio. Entre los resultados que se esperan los participantes deberán ser capaces de explicar la terminología relacionada con los distintos tipos de incendios, identificar las condiciones climáticas y biofísicas relevantes, reconocer los satélites e instrumentos utilizados en la ciencia de los incendios, así como demostrar aplicaciones de teledetección pasiva y activa para el monitoreo de incendios, esta capacitación busca fortalecer la capacidad de los profesionales en áreas como la gestión de recursos y ecosistemas, la salud y calidad del aire y la gestión del riesgo y la respuesta ante desastres, utilizando de manera efectiva las observaciones satelitales y las herramientas de teledetección en el contexto de los incendios forestales.

(González, et al., 2019) El estudio busca analizar la precisión de los datos de puntos de calor y los registros de incendios forestales en una región de Michoacán. A través de imágenes de alta resolución espacial proporcionadas por Rapid Eye se identificaron las cicatrices dejadas por los incendios las cuales se compararon con mapas de puntos de calor obtenidos de sensores como MODIS, AVHRR y GOES, procesados por CONABIO y el Servicio Meteorológico Nacional, también se revisaron los registros de incendios de la CONAFOR. Con esto se evidenció que la tasa de detección superó el 75% para incendios mayores de 50 hectáreas utilizando el sensor MODIS de CONABIO, sin embargo, se identificaron errores significativos de omisión del 85% y de comisión del 34% lo que implica tanto una subestimación como una sobreestimación considerable. Además, se observó una discrepancia espacial entre los registros de incendios de la CONAFOR y las cicatrices detectadas en las imágenes, con esto se determina que los puntos de calor son más efectivos para la detección de incendios de gran magnitud por lo que se sugiere evaluar la fiabilidad temática de estos datos al inicio de cualquier investigación relacionada.

## 2. Justificación

Los páramos y bosques tropicales son de gran importancia para la continuidad de la vida en el planeta y el ciclo del agua, estos ecosistemas cada vez son más susceptibles a incendios forestales de origen natural o antrópico puede llegar a tener, según las condiciones climáticas meteorológicas y el estado de la vegetación, una alta probabilidad de ocurrencia de incendios forestales, de graves consecuencias en la salud y en entornos ambientales como la vegetación y la atmósfera, lo cual exige que se tomen medidas que mitiguen sus daños (Ávila-Vélez, E.F.2020). El uso y apropiación de las tecnologías como herramienta para reforzar la vigilancia en la atención de emergencias causadas por incendios forestales y su aplicación en determinado entorno geográfico ha contribuido a la detección oportuna y monitoreo constante de dichas emergencias ambientales.

Con la presente investigación se pretende identificar el área de afectación por incendio forestales, mediante un análisis multitemporal utilizando imágenes satelitales de los eventos en el ecosistema del páramo de Sumapaz, entre los años 2018 a 2021, para el análisis multitemporal a nivel espacial, utilizando índices espectrales en imágenes satelitales, lo que permitirá dimensionar el nivel de afectación de los eventos más significativos en un lapso de 4 años en el páramo más importante de Colombia y el más grande del mundo, ya que en él se albergan gran diversidad de especies endémicas y es de gran importancia en la regulación del agua para varias regiones del país por lo que el cambio de sus coberturas puede alterar estas dinámicas de regulación hídrica y conservación de especies. Es así como las diferentes entidades ambientales como PNN y de gestión del riesgo como la UNGRD y las CAR que hacen parte de la jurisdicción del páramo de Sumapaz podrán utilizar los productos generados en esta investigación como base para la formulación de programas y proyectos que permitan la prevención, mitigación y control de eventos y desastres. Con esta información resultante podrán tomar decisiones sobre políticas públicas que apoyen la conservación del ecosistema del páramo de Sumapaz.

El análisis multitemporal mejora la comprensión del fenómeno relacionado con incendios forestales frente a reportes descriptivos, ya que permite una visión holística profunda y completa.

Dentro de este análisis se relacionan variables como la cantidad de incendios registrados, la ubicación de los mismo en un periodo de tiempo determinado, el área afectada, así como las principales causas de los incendios. Para este estudio se utilizaron imágenes satelitales Landsat 8 correspondientes con dos momentos específicos del antes y él después de los eventos, capturadas el 30 de diciembre del 2018 y el 20 de enero de 2021, respectivamente. Sobre estas imágenes se calcularon los índices espectrales y análisis multiespectral para la identificación de características, patrones, y variables que permitieron identificar y cuantificar las áreas afectadas por eventos de incendio en ecosistemas de páramo. Dentro de los índices calculados se encuentra el Índice Normalizado de Área Quemada NBR, así como, la gravedad del área quemada, con los cuales se identificó la intensidad, tamaño y afectación de la cobertura vegetal dentro del polígono del incendio.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Identificar y cuantificar las coberturas afectadas por los eventos de incendio en el páramo de Sumapaz entre los años 2018 a 2021 utilizando imágenes satelitales Landsat 8 y técnicas de detección mediante Sistemas de Información Geográfica.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Recolectar información de las zonas afectadas por incendios forestales en el Páramo de Sumapaz durante el período comprendido entre los años 2018 - 2021.

Identificar la información geográfica relacionada con tres (3) eventos de incendios forestales significativos en el ecosistema del páramo de Sumapaz durante el período comprendido entre los años 2018 - 2021.

Calcular los índices normalizado de área quemada NBR, la gravedad del área quemada y el área afectada por categorías del Burn severity de acuerdo con las 3 veredas identificadas del páramo de Sumapaz durante el período comprendido entre los años 2018 - 2021.

Realizar el análisis de las coberturas de la tierra afectadas por eventos de incendios forestales identificadas mediante la aplicación de técnicas de teledetección, esto mediante la metodología Corine Land Cover y cuantificar los cambios en la cobertura del suelo después de los eventos de incendio forestal en la zona de estudio.

## **4. Hipótesis**

Los incendios en el páramo de Sumapaz tienen como posible etiología el cambio climático derivado de acciones tanto naturales como humanas, que han afectado su ciclo natural, ocasionando altas temperaturas y sequías, lo que genera un entorno propicio para el aumento de incendios. Estos eventos afectan de manera significativa la capa vegetal del páramo presentes entre los años 2018 a 2021, estos datos se identifican mediante un análisis multitemporal con imágenes satelitales Landsat 8.

### **4.1 Hipótesis de trabajo**

La afectación de la cobertura vegetal por incendios forestales en el páramo de Sumapaz entre los años de 2018 al 2021, está asociado a la interacción negativa del ser humano y su contribución al cambio climático.

#### ***4.1.1 Hipótesis nula***

Los incendios forestales en el páramo de Sumapaz son ocasionados por acciones antrópicas que afectan mayormente a las coberturas conformadas por especies vegetales arbóreas que promueven la rápida propagación de los incendios dentro y alrededor de los ecosistemas de páramo

##### **4.1.1.1 Hipótesis alterna.**

Los incendios forestales en el páramo de Sumapaz son causados por acciones antrópicas que afectan a las coberturas vegetales de igual manera teniendo en cuenta que los páramos son ecosistemas más frágiles.

## **5. Marco teórico**

### **5.1 Páramo**

Los páramos son ecosistemas de alta montaña, ubicados entre la línea de bosque y la línea de nieves perpetuas, son fundamentales para el suministro de agua dulce, regulando el flujo hídrico y contribuyendo a la seguridad hídrica de las comunidades. Los páramos colombianos constituyen ecosistemas singulares y esenciales, caracterizados por su excepcional biodiversidad y ubicados a altitudes aproximadas de 3000 a 4500 metros sobre el nivel del mar. Estos entornos presentan un clima frío y húmedo, con cambios atmosféricos abruptos. A pesar de una variación anual de temperatura relativamente pequeña (de 2 a 10 °C), las fluctuaciones diarias abarcan desde el punto de congelación hasta los 30°C, generando un ciclo diario de congelación.

### **5.2 Incendio forestal**

Se caracterizan por el fuego sin control que se va propagando y va consumiendo la biomasa vegetal, en muchas zonas estos incendios son ocasionados con fines agrícolas y constituyen la segunda fuente de emisiones de gases de efecto invernadero que puede causar daños materiales, pérdidas humanas y afectar el medio ambiente.

#### ***5.2.1 Característica de los incendios***

- Se puede presentar de forma súbita, gradual o instantánea.
- Se produce por la combustión de materiales combustibles.
- Desprende luz y calor, y genera gases y humos.
- Para controlarlo y eliminarlo se utilizan hidrantes, mangueras y extintores de carretilla.

### **5.3 Cobertura terrestre**

La "Cobertura" de la tierra, es la cobertura (bio) física que se observa sobre la superficie de la tierra en un término amplio no solamente describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la tierra, sino que también describen otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua.

## **5.4 Teledetección**

La teledetección es la técnica que permite obtener información a distancia de objetos sin que exista un contacto material. Para que ello sea posible es necesario que, aunque sin contacto material, exista algún tipo de interacción entre los objetos observados; situados sobre la superficie terrestre, marina o en la atmósfera; y un sensor situado en una plataforma (satélite, avión, etc.).

Un sistema de teledetección espacial incluye los siguientes elementos:

- Fuente de energía, que supone el flujo energético detectado por el sensor, la fuente de energía más importante es por supuesto la energía solar.
- Cubierta terrestre, formada por distintas masas de vegetación, suelos, agua o construcciones humanas que reciben la señal energética procedente de la fuente de energía.
- Sistema sensor, compuesto por el sensor y la plataforma que lo sustenta, el cual tiene como propósito captar la energía procedente de las cubiertas terrestres, codificarla y grabarla o enviarla directamente al sistema de recepción.
- Sistema de recepción- comercialización, en donde se recibe la información transmitida por la plataforma, se graba en un formato y se distribuye a los intérpretes.
- Intérprete, que analiza esa información- normalmente en forma de imágenes analógicas o digitales.
- Usuario final, encargado de analizar el documento fruto de la interpretación, así como de dictaminar sobre las consecuencias que de él se deriven.

Por tanto, este es un método muy importante para la detección de diferentes coberturas de uso del suelo esto para identificar plenamente características de la vegetación en diferentes firmas espectrales y su comportamiento.

## **5.5 Imágenes satelitales**

Una imagen satelital es el producto obtenido por un sensor instalado a bordo de un satélite artificial mediante la captación de la radiación electromagnética emitida o reflejada por un cuerpo

celeste, producto que posteriormente se transmite a estaciones terrenas para su visualización, procesamiento y análisis. Existen diferentes tipos de imágenes satelitales, dependiendo del tipo de sensor y de la finalidad de captación con la que fue construido. Desde las primeras cámaras fotográficas instaladas en satélites en la década de los '60 hasta los más sofisticados y sensibles sensores hiperspectrales del día de hoy.

Existe una muy amplia gama de imágenes satelitales que hoy se utilizan en las más diversas áreas, dependiendo de su resolución espacial, así como de la información espectral que poseen; desde el espionaje militar, el monitoreo del cambio climático, monitoreo de incendios e inundaciones, seguimiento de huracanes y tifones, evaluaciones multiespectrales de vegetación.

## **5.6 Sistemas de información geográfico**

“Es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión”. El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital.

De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía. La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

## **5.7 Bases de datos espaciales**

Según Gutiérrez (2006), una base de datos espacial permite describir los objetos espaciales mediante el análisis de tres características fundamentales: atributos, localización y topología. Los atributos dan muestra de las características de los elementos de la base de datos; la localización, nos da la ubicación geográfica; y la topología permite interpretar lógicamente cada uno de los elementos relacionados.

### **5.8 Exactitud temática**

Según el IGAC (2023), se define como la exactitud de los atributos según los siguientes tres elementos, y normalmente se evalúa junto con el elemento compleción:

- Corrección de la clasificación (comparación de las clases asignadas a los objetos geográficos o sus atributos, frente a un universo de discurso, es decir, frente al conjunto de datos perfecto que se corresponde con las especificaciones de producto).
- Corrección de atributos no cuantitativos (medida de si un atributo cuantitativo es correcto o incorrecto).
- Exactitud de atributos cuantitativos (proximidad del valor de un atributo cuantitativo al valor verdadero o al aceptado como tal).

### **5.9 Procesamiento digital de imágenes**

Es el área de la ingeniería que se encarga de la extracción de mediciones, datos o información contenida en una imagen. Incluye aquellas técnicas cuyo principal objetivo es facilitar la búsqueda e interpretación de la información contenida en ellas. Un sistema de análisis de imágenes se distingue debido a que tiene como parámetro de entrada una imagen, y cuyo resultado es comúnmente una salida numérica, en lugar de otra imagen. Esta salida es la información referente al contenido de la imagen de entrada.

El conjunto de métodos de procesamiento de imágenes está dividido en tres grandes grupos:

- Algoritmos en el dominio espacial. Se refiere a métodos que procesan una imagen píxel por píxel, o también tomando en cuenta un conjunto de píxeles vecinos.

- Algoritmos en el dominio de la frecuencia. Frecuentemente, estos métodos son aplicados sobre los coeficientes resultantes de la Transformada de Fourier de una imagen.
- Algoritmos de extracción de características. A diferencia de los dos grupos anteriores, los algoritmos de extracción de características están enfocados al análisis de imágenes para la extracción de atributos y regiones de interés, separación de objetos del fondo, detección de bordes o formas, entre otros.

### **5.10 Metodología de Corine Land Cover**

La metodología Corine Land Cover (CLC), “Coordinación de información de medio ambiente”, nació en Europa el 27 de junio de 1985, es una metodología francesa adaptada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para Colombia; consiste en la evaluación de coberturas de la tierra mediante el uso de imágenes satelitales tipo Landsat.

Tiene la finalidad fundamental de recolectar datos de tipo numérico y geográfico para crear una base a escala 1:100.000 sobre el tipo de vegetación o cobertura a través de la interpretación de imágenes. Esta metodología tiene como propósito la realización del inventario homogéneo de la cubierta biofísica (cobertura) de la superficie de la tierra a partir de la interpretación visual de imágenes de satélite asistida por computador y la generación de una base de datos geográfica.

## **6. Metodología**

En el presente capítulo se definirán los parámetros metodológicos de la investigación para el análisis multitemporal de coberturas afectadas por incendios en el páramo de Sumapaz entre los años 2018 a 2021, el tipo de estudio, además de identificar los instrumentos de recopilación, los procesos y técnicas que llevarán a buen término la aplicación de metodologías de procesamiento digital de imágenes y su interpretación.

### **6.1 Enfoque metodológico**

El estudio para el análisis de coberturas afectadas por incendios en el páramo de Sumapaz entre los años 2018 a 2021, adopta un enfoque metodológico mixto, al integrar diferentes tipos de datos provenientes de múltiples fuentes como bases de datos oficiales, reportes, noticias, cartografía, informes gubernamentales, imágenes satelitales de diferentes sensores. Esta diversidad de fuentes ha generado un espacio para debates sobre el tema y la obtención de información relevante, de acuerdo con lo planteado por Creswell (2009), los métodos mixtos combinan de manera simultánea la información cualitativa y cuantitativa con el propósito de fortalecer el proceso de investigación y mejorar la comprensión sobre el objeto de estudio.

En este estudio, se exploran diversas fuentes de datos que representan interpretación de los datos de diferentes formas por esta razón se recurre a realizar metodologías procedimentales de autoridades ambientales o del gobierno con el fin de realizar una estandarización de la información recopilada y analizada por medio de la aplicación de la metodología Corine Land Cover adaptada

para Colombia (IDEAM, 2010) y la utilización de índices espectrales para la identificación de características y patrones incluidos en diferentes investigaciones mediante procesos de interpretación y procesamiento de imágenes digitales.

Creswell (2009) sugiere que los investigadores que aplican metodologías mixtas deben combinar datos de naturaleza cuantitativa y cualitativa a través de los procedimientos de sus estudios de caso y documentar tantos pasos de los procedimientos como sea posible. Por tanto, en el desarrollo se plantea describir los hallazgos ocurridos durante el procesamiento digital de imágenes, el análisis de manera estadística la descripción de la situación encontrada, la determinación de variables de áreas afectadas y su clasificación de coberturas para así determinar los objetivos de identificación y cuantificación propuestos.

## **6.2 Tipo de estudio**

La investigación tiene un alcance descriptivo el cual busca medir las variables de área afectadas en el páramo de Sumapaz, utilizando la metodología Corine Land Cover y procedimiento digital de imágenes que permitan el análisis y que garanticen la confiabilidad de la información resultante, como menciona (Sampieri Hernández, 2014). Desde el punto de vista científico, describir es medir.

De esta manera se determinan áreas afectadas por incendios en el páramo de Sumapaz en el periodo de 2018 a 2021, profundizando en los eventos con mayor importancia. Para este caso, se emplean reportes de la Unidad de Gestión de Riesgo de Desastres y diferentes medios de noticias, las fechas y magnitud del evento de incendio para el cual se desarrollara el análisis detallado, se resalta que para la temática de incendios de coberturas vegetales en ecosistemas de páramos ya cuenta con información explicativa, descriptiva y correlacional, la cual permite desarrollar el alcance descriptivo de este estudio tomando información relevante y metodológica de dichos estudios.

El diseño de la investigación se desarrolló de manera no experimental, puesto que no se manipularon datos, al obtener imágenes desde la plataforma satelital Landsat 8. El análisis se realizó por medio de la interpretación de los índices espectrales asociados a la identificación de áreas afectadas por incendios en el ecosistema del Páramo de Sumapaz; se establece la forma longitudinal, que tiene como característica la temporalidad del evento dentro de un período de tiempo mediante análisis de coberturas del antes y el después del evento de incendio, durante los años 2018 a 2021, respectivamente.

### **6.3 Procedimiento**

#### ***6.3.1. Identificación y caracterización de la afectación en la zona de estudio***

En el proceso de identificación de las fuentes cartográficas a utilizar, se obtuvo en el proceso de búsqueda de información secundaria archivos en formato Shapefile (.shp) para la delimitación del Páramo de Sumapaz y para las coberturas de la tierra con la metodología Corine Land Cover. Además, se obtuvo la cartografía oficial de las veredas de Colombia en formato shapefile (.shp), de este archivo se seleccionaron las veredas que hacen parte de la delimitación del Páramo de Sumapaz. Esta información, se encuentra Colombia en Mapas, un repositorio de datos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

#### ***6.3.2 Consulta del histórico de Emergencias***

Para la recopilación del histórico de emergencias relacionadas con incendios forestales, se llevó a cabo la descarga, búsqueda y depuración de la base de datos del Consolidado de Atención a Emergencias de la Unidad Nacional de Gestión de Riesgo de Desastre (UNGRD), disponible en el portal web oficial: <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/paginas/consolidado-atencion-de-emergencias.aspx>. El período de consulta comprendió desde el 30 de diciembre de 2018 hasta el 7 de marzo de 2021.

La depuración de las bases de datos (en formato Excel) se realizó aplicando los siguientes filtros:

- Tipo de evento: Incendio forestal
- Departamento: Cundinamarca, Huila y Meta
- Municipio: Bogotá, Une, Pasca, Gutiérrez, San Bernardo, Cabrera, Chipaque, Soacha, Ubaque, Sibaté, Choachí, Arbeláez, Fosca, La Calera, Cáqueza, Colombia, Guamal, Cubarral, Lejanías, Venecia, Acacías, Uribe, El Castillo, Mesetas, Guayabetal

Después de la depuración, se construyó una base de datos con la información de los eventos de incendios ocurridos en el rango de tiempo del análisis, con el propósito de representar la información de manera espacial de las bases de datos a información cartográfica, se unió la información recopilada con la capa de veredas.

### **6.3.3. Puntos de calor**

La información de los puntos de calor se obtuvo del portal FIRMS (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>) de la Agencia Espacial Civil del gobierno de los Estados Unidos (NASA, por sus siglas en inglés). Los puntos de calor proporcionan información geográfica de los lugares que presentan anomalías térmicas en relación con su entorno y que puede hacer referencia a la ocurrencia de incendios. Para incluir este análisis se tuvieron en cuenta los datos registrados en el período estudiado.

### **6.3.4. Imágenes satelitales Landsat 8**

La descarga de las imágenes satelitales se realizó en la plataforma Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) del Servicio Geológico de Estados Unidos, de las fechas 30 de diciembre de 2018 y 7 de marzo 2021. Para la selección de las imágenes satelitales se incluyeron imágenes previas y posteriores a los eventos de incendios forestales registrados en el Páramo de Sumapaz. Además, se tuvieron en cuenta las imágenes con menor cobertura nubosa, en este caso inferior al 30%, se seleccionaron las siguientes:

- LC08\_L2SP\_008057\_20180317\_20200901\_02\_T1

- LC08\_L2SP\_008057\_20210120\_20210307\_02\_T1

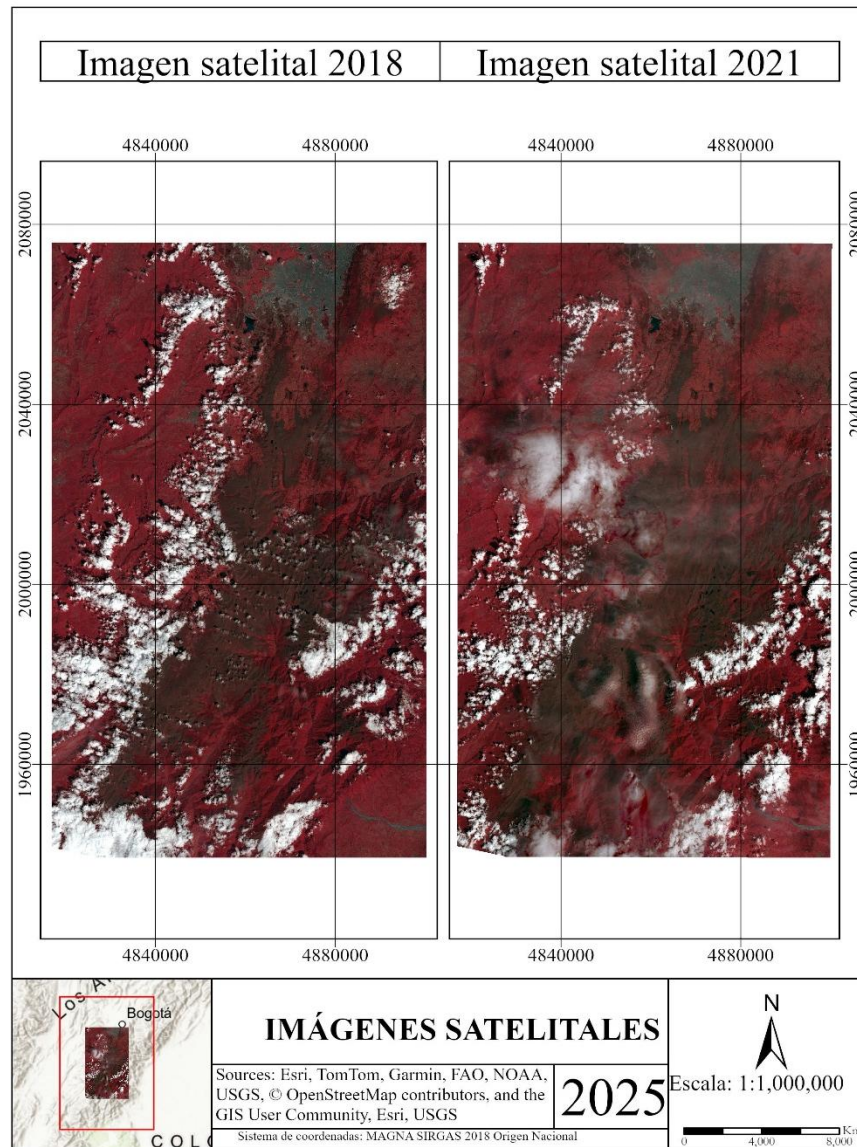
Las imágenes Landsat 8 contienen 11 bandas espectrales y cuentan con las siguientes características (Ver Figura 2):

**Figura 2.** Características Imagen Satelital LANDSAT 8.

| Bandas                                  | longitud de onda (micrómetros) | Resolución (metros) |
|---|--------------------------------|---------------------|
| Banda 1 - Aerosol costero               | 0.43 - 0.45                    | 30                  |
| Banda 2 - Azul                          | 0.45 - 0.51                    | 30                  |
| Banda 3 - Verde                         | 0.53 - 0.59                    | 30                  |
| Banda 4 - Rojo                          | 0.64 - 0.67                    | 30                  |
| Banda 5 – Infrarrojo cercano (NIR)      | 0.85 - 0.88                    | 30                  |
| Banda 6 - SWIR 1                        | 1.57 - 1.65                    | 30                  |
| Banda 7 - SWIR 2                        | 2.11 - 2.29                    | 30                  |
| Banda 8 - Pancromático                  | 0.50 - 0.68                    | 15                  |
| Banda 9 - Cirrus                        | 1.36 - 1.38                    | 30                  |
| *Banda 10 – Infrarrojo térmico (TIRS) 1 | 10.60 - 11.19                  | 100                 |
| *Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2 | 11.50 - 12.51                  | 100                 |

*Nota.* Tomado de *Imagen satelital LANDSAT 8* [Imagen], ZoneGis (2016), [https://zonegis.es/wp-content/uploads/2016/08/Imagen\\_2-3.png](https://zonegis.es/wp-content/uploads/2016/08/Imagen_2-3.png).

A continuación se visualiza las imágenes LANDSAT 8 de los años 2018 y 2021 sin corrección atmosférica las cuales se caracterizan por presentar tonos oscuros debido a los errores de radiación de trayectoria y tonos blancos debido a la neblina, a continuación (ver Figura 3).

**Figura 3.** Imágenes satelitales 2018 – 2021 Sin corrección atmosférica

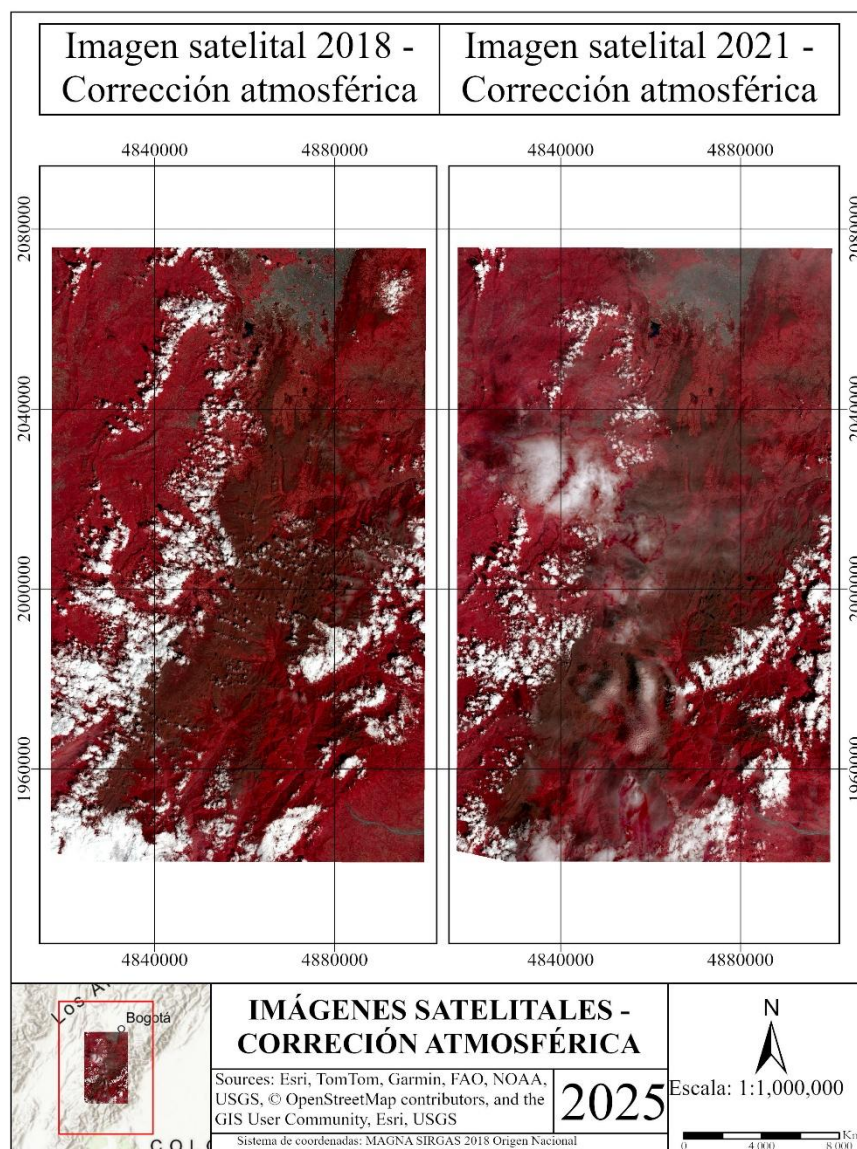
#### 6.3.4.1 Correcciones atmosféricas

Las imágenes satelitales requirieron de un preprocesamiento de corrección atmosférica, con el fin de eliminar las distorsiones que la atmósfera introduce en los valores de radiancia registrados por el sensor (SIGMUR, 2005). La corrección atmosférica se implementó en el Software QGIS mediante el complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), el cual emplea el método de sustracción de objetos oscuros (DOS), para disminuir la dispersión atmosférica causada por la

radiación de la trayectoria y la neblina (Zhang et al., 2010, como se cita en Sudhakar, Reddy, & Rani, 2022).

La Figura 4 muestra el procedimiento anteriormente mencionado donde se resalta la disminución de los objetos oscuros y define con mayor precisión los píxeles para el procesamiento posterior.

**Figura 4.** *Imágenes satelitales 2018 – 2021 Con corrección atmosférica*



### 6.3.4.2 Índice Normalizada de Área Quemada

Para identificar las áreas quemadas en el Páramo de Sumapaz, se empleó el Índice Normalizado de Área Quemada, conocido como NBR por sus siglas en inglés (*Normalized Burn Ratio*). Este índice se calcula a partir de la operación entre las bandas del infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR), correspondientes respectivamente a la banda 5 y la banda 7 de las imágenes satelitales Landsat 8. La ecuación empleada se presenta a continuación (ver Ecuación 1).

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \text{ (Ecuación 1)}$$

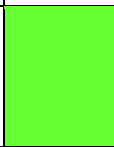





Posteriormente, se calculó la diferencia del índice NBR. Esta diferencia permite delimitar de una manera confiable las superficies quemadas de las no quemadas y brinda una escala de los niveles de afectación del fuego (Key & Benson, 2006).

$$dNBR = NBR_{antes} - NBR_{después} \text{ (Ecuación 2)}$$

Seguidamente, se reclasificó la diferencia del índice con el propósito de determinar el grado de afectación de los eventos de incendios. Esta reclasificación se ejecutó de acuerdo con los rangos definidos por Key y Benson (2006) que se muestran a continuación en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Rangos de valores Burn Severity

| NOMBRE DE LA CLASE   | RANGO        | COLOR |
|--|--------------|-------|
| Enhanced Regrowth, high (post-fire) -<br>Regeneración alta | -7 to -0,251 |       |

| NOMBRE DE LA CLASE                                     | RANGO            | COLOR   |
|--|------------------|---|
| Enhanced Regrowth, low (post-fire) - Regeneración baja | -0,251 to -0,101 |  |
| Unburned - Área no quemada                             | -0,101 to 0,099  |  |
| Low Severity - Baja severidad                          | 0,099 to 0,269   |  |
| Moderate-low Severity - Severidad moderadamente baja   | 0,269 to 0,439   |  |
| Moderate-high Severity - Severidad moderadamente alta  | 0,439 to 0,659   |  |
| High Severity - Severidad alta                         | 0,659 to 7       |  |

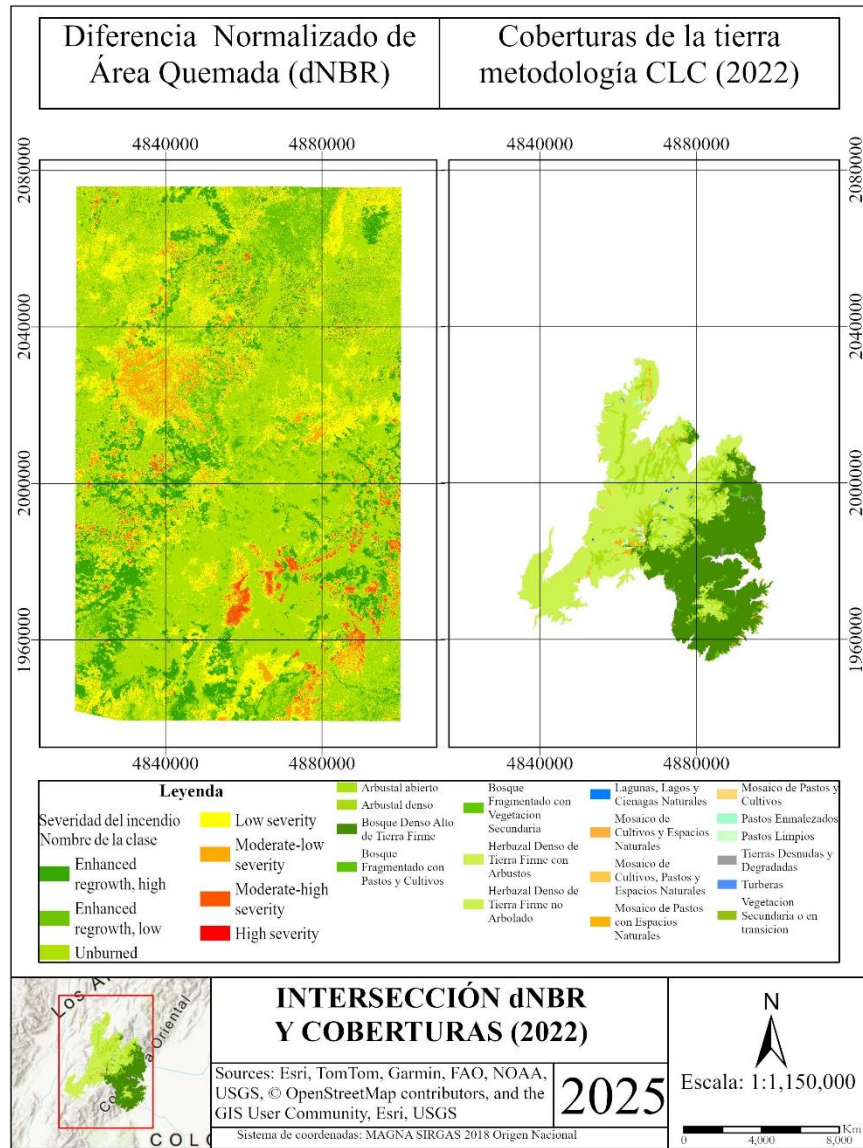
*Nota.* Adaptado de Key y Benson (2006).

#### **6.3.4.3 Intersección del índice NBR con coberturas**

Después de identificar las áreas quemadas identificadas mediante el NBR, se delimito el polígono correspondiente a la cicatriz del fuego a través de la digitalización de los contornos detectados por el índice, con el fin de calcular el área afectada.

La Figura 5 presenta la determinación de la severidad total del incendio y el calculo por medio de análisis espacial para la perturbación ocasionada a la vegetación, se intercepto la capa de diferencia del índice NBR (dNBR) con la capa de coberturas de la tierra del Parque Nacional Natural Sumpaz para el año 2022. Esta capa se descargó del geoportal de Parques Nacionales Naturales. Este proceso se realizó mediante el software ArcGIS Pro y se utilizaron las funciones Explode, Dissolve e Intersect de la caja de herramientas.

**Figura 5.** Capas a interceptar diferencia de NBR y coberturas



## 7. Resultados

Se consultaron bases de datos de la Unidad de Gestión de Riesgo (UNGRD) (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD], s.f.), así como reportes de Parque Nacionales Naturales (PNN) (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2023) y Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) (Oficina de Ambiente de Bogotá, s.f.) donde se compilaron reportes entre el 30 de diciembre de 2018 y 31 de diciembre de 2021, para los cuales se encontraron 61

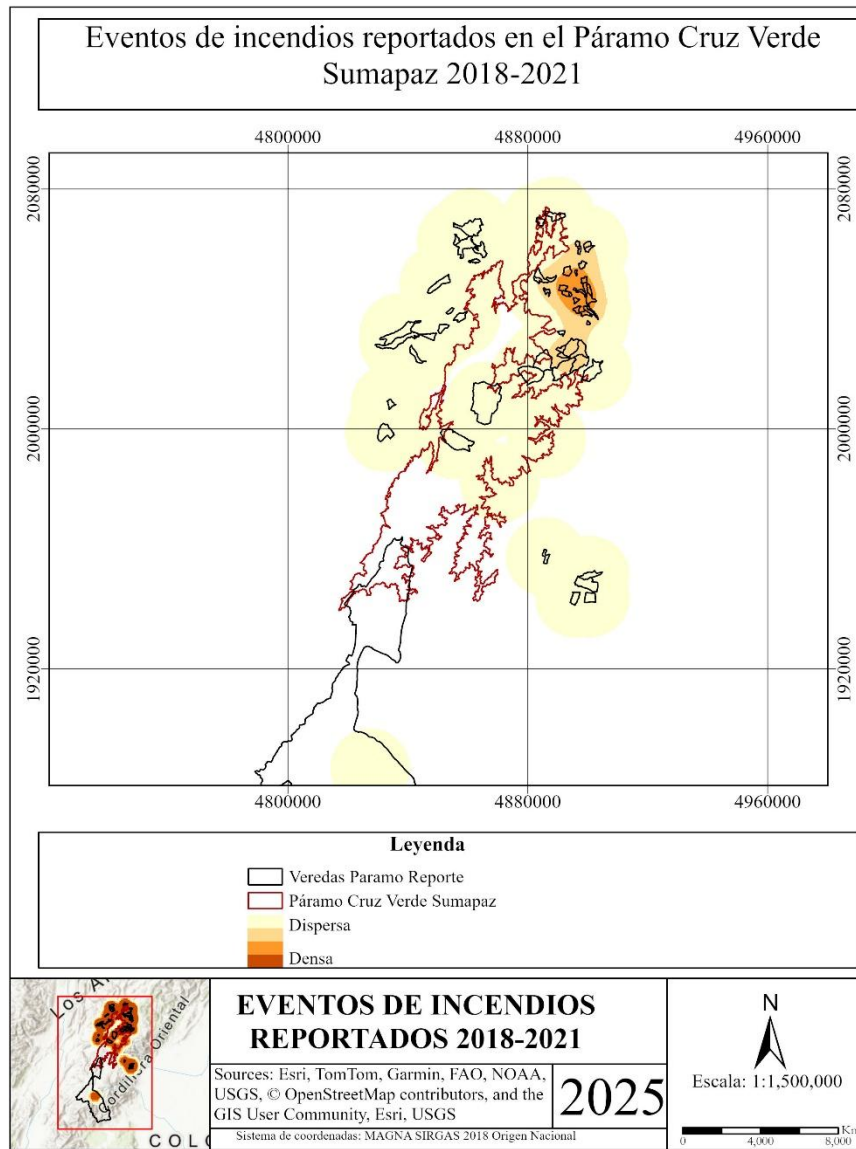
veredas reportadas y un total de 1.772 hectáreas con afectación sin contar con el reporte de área de afectación para las veredas Parque Sumapaz y El Dorado. Para el año 2020 se evidenció una cantidad significativa de 41 reportes de un total de 65 reportes para el rango de tiempo mencionado a continuación (ver Tabla 2).

**Tabla 2.** *Consolidado de eventos zona de estudio entre los años 2018 – 2021*

| <b>REPORTE DE EVENTOS PARA LOS AÑOS 2018-2021</b> |                               |
|---|-------------------------------|
| <b>AÑO</b>  | <b>NÚMERO DE REPORTES/AÑO</b> |
| 2018  | 2                             |
| 2019  | 11                            |
| 2020  | 41                            |
| 2021  | 11                            |
| <b>Total general</b>                              | <b>65</b>                     |

Los reportes encontrados en la página oficial de la UNGRD fueron depurados de acuerdo con el departamento, municipio y vereda que se encuentran dentro de la delimitación del Páramo de Sumapaz. Dentro de la información depurada se encuentra el área de afectación del incendio forestal en hectáreas (Ha). Algunos de los reportes encontrados no cuentan con información relacionada al área de afectación y ninguno tiene coordenadas, con las que se pueda precisar la ubicación exacta del incendio forestal.

**Figura 6.** *Eventos de incendios forestales reportados en el Páramo Cruz Verde Sumapaz entre los años 2018 - 2021*



En la Figura 6 se puede determinar las zonas de mayor densidad de eventos por medio de la herramienta puntos de calor de ArcGIS PRO, la cual realiza una relación de datos por proximidad de ubicación geográfica y los resalta por medio de tonos mas oscuros permitiendo la interpretación donde se presentan mayores datos de incendios forestales en el paramo de Cruz Verde Sumapaz.

Por medio de las bases de datos de reportes de eventos de la UNGRD se consolida la información de acuerdo con el evento de incendios forestales en el cual se logra establecer datos geográficos, fechas y cantidad de área de afectación reportada por las entidades del orden nacional, datos relevantes para el estudio representado en la siguiente información a continuación (ver Tabla 3).

**Tabla 3.** *Reporte de eventos de incendios en el páramo de Sumapaz entre los años 2018 – 2021.*

| REPORTE DE EVENTOS DE INCENDIOS EN EL PÁRAMO DE SUMAPAZ |              |              |                     |            |
|---|--------------|--------------|---------------------|------------|
| FECHA   | DEPARTAMENTO | MUNICIPIO    | VEREDA              | ÁREA (ha)  |
| 6/02/2020   | CUNDINAMARCA | BOGOTA, D.C. | LAGUNITAS           | 300        |
| 4/03/2020   | CUNDINAMARCA | BOGOTA, D.C. | LAS SOPAS           | 20         |
| 15/08/2020  | CUNDINAMARCA | BOGOTA, D.C. | SIBERIA             | 500        |
| 14/03/2019  | META         | EL CASTILLO  | SAN LUIS DE YAMANES | 50         |
| 8/01/2020   | META         | EL CASTILLO  | BRISAS DE YAMANES   | 35         |
| 5/01/2019   | META         | URIBE        | ZONA DE RESERVA     | 8          |
| 20/01/2019  | META         | LEJANIAS     | EL BRILLANTE        | 4          |
| 3/02/2019   | META         | LEJANIAS     | LA 24               | 2          |
| 12/02/2019  | META         | LEJANIAS     | AGUA LINDA          | 11         |
| 18/09/2021  | CUNDINAMARCA | UNE          | PUENTE TIERRA       | 2          |
| 6/01/2020   | CUNDINAMARCA | UBAQUE       | GANCO               | 2          |
| 25/04/2021  | CUNDINAMARCA | UBAQUE       | LUCIGA              | 12         |
| 23/10/2020  | CUNDINAMARCA | UBAQUE       | PUENTE AMARILLO     | 30         |
| 30/01/2021  | CUNDINAMARCA | UBAQUE       | ROMERO BAJO         | 8          |
| 19/02/2020  | CUNDINAMARCA | SOACHA       | SAN FRANCISCO       | 4          |
| 29/06/2020  | CUNDINAMARCA | SOACHA       | AL DE LA CRUZ       | 3          |
| 26/04/2020  | CUNDINAMARCA | SOACHA       | BOSATAMA            | 1.5        |
| 19/04/2021  | CUNDINAMARCA | SOACHA       | LA CHACUA           | 1          |
| 15/01/2020  | CUNDINAMARCA | SILVANIA     | VICTORIA ALTA       | 1          |
| 11/10/2020  | CUNDINAMARCA | SIBATE       | SAN BENITO          | 1          |
| 6/03/2020   | CUNDINAMARCA | QUETAME      | HOYA VARGAS         | 70         |
| 21/08/2019  | CUNDINAMARCA | PASCA        | SAN PABLO           | 10         |
| 26/01/2019  | CUNDINAMARCA | PASCA        | SABANETA            | 4          |
| 21/08/2019  | CUNDINAMARCA | PASCA        | SAN JOAQUIN         | 4          |
| 15/01/2020  | CUNDINAMARCA | VENECIA      | SAN CRISTOBAL       | 1          |
| 15/10/2020  | CUNDINAMARCA | LA CALERA    | EL HATO             | 2          |
| 6/01/2020   | CUNDINAMARCA | GUTIERREZ    | LOS MEDIOS          | 12         |
| 8/01/2020   | CUNDINAMARCA | GUTIERREZ    | RIO BLANCO          | NO REPORTA |
| 12/01/2020  | CUNDINAMARCA | GUTIERREZ    | RIO CHIQUITO        | 20         |
| 11/02/2020  | CUNDINAMARCA | GUTIERREZ    | SAN ANTONIO         | 50         |

| REPORTE DE EVENTOS DE INCENDIOS EN EL PÁRAMO DE SUMAPAZ |              |            |                      |            |
|---|--------------|------------|----------------------|------------|
| FECHA   | DEPARTAMENTO | MUNICIPIO  | VEREDA               | ÁREA (ha)  |
| 29/01/2020  | CUNDINAMARCA | GUTIERREZ  | POTRERITOS           | 3          |
| 15/10/2021  | CUNDINAMARCA | GUTIERREZ  | CARMEN ABAJO         | 11         |
| 17/03/2020  | CUNDINAMARCA | GUTIERREZ  | TRAPICHE             | 3          |
| 6/03/2019   | CUNDINAMARCA | GUTIERREZ  | CERINZA              | 2          |
| 11/09/2019  | CUNDINAMARCA | ARBELAEZ   | SAN LUIS             | 0.5        |
| 9/09/2019   | CUNDINAMARCA | ARBELAEZ   | SAN ROQUE            | 0.2        |
| 23/05/2021  | CUNDINAMARCA | CABRERA    | ALTO ARIARI          | 3          |
| 15/01/2021  | CUNDINAMARCA | CAQUEZA    | LA ESTRELLA          | 1          |
| 8/01/2020   | CUNDINAMARCA | QUETAME    | ORO PERDIDO          | 20         |
| 25/03/2020  | CUNDINAMARCA | CAQUEZA    | UBATOQUE             | 1.5        |
| 24/04/2021  | CUNDINAMARCA | CAQUEZA    | RIO NEGRO NORTE      | 1          |
| 30/12/2018  | CUNDINAMARCA | CAQUEZA    | MONRUTA              | 1.5        |
| 17/04/2020  | CUNDINAMARCA | CAQUEZA    | LOS PINOS            | 2.5        |
| 7/02/2020   | CUNDINAMARCA | CAQUEZA    | EL CARMEN            | 150        |
| 20/04/2020  | CUNDINAMARCA | CAQUEZA    | EL VOLADOR           | 1          |
| 16/02/2020  | CUNDINAMARCA | CAQUEZA    | ALTO DE CRUZ         | 40         |
| 22/03/2020  | CUNDINAMARCA | CAQUEZA    | PONTA                | 20         |
| 13/01/2021  | CUNDINAMARCA | CHIPAQUE   | ALTO DEL RAMO        | 1          |
| 17/02/2021  | CUNDINAMARCA | CHIPAQUE   | MUNAR                | 2          |
| 31/12/2018  | CUNDINAMARCA | CHIPAQUE   | MONGUE               | 5          |
| 19/04/2020  | CUNDINAMARCA | CHOACHI    | RESGUARDO PARTE ALTA | 3          |
| 24/12/2021  | CUNDINAMARCA | CHOACHI    | BARRONEGRO           | 2          |
| 11/01/2020  | CUNDINAMARCA | CHOACHI    | FERRALARADA          | 1          |
| 15/02/2020  | CUNDINAMARCA | CHOACHI    | EL PULPITO           | 15         |
| 22/03/2020  | CUNDINAMARCA | CAQUEZA    | PONTA                | 20         |
| 13/03/2020  | CUNDINAMARCA | FOSCA      | CALIFORNIA           | 0.5        |
| 7/02/2020   | CUNDINAMARCA | FOSCA      | SANAME               | 100        |
| 16/12/2020  | CUNDINAMARCA | FOSCA      | POTRERO ALTO         | 5          |
| 12/02/2020  | CUNDINAMARCA | FUSAGASUGA | EL GUAPIO            | 16         |
| 12/08/2020  | CUNDINAMARCA | FUSAGASUGA | LA PUERTA            | 60         |
| 6/02/2020   | CUNDINAMARCA | GUAYABETAL | EL LAUREL            | 120        |
| 5/02/2020-07/02/2020                                    | META         | CUBARRAL   | PARQUE SUMAPAZ       | NO REPORTA |
| 5/02/2020- 07/02/2020                                   | META         | GUAMAL     | EL DORADO            | NO REPORTA |
| 11/02/12020-13/02/2020                                  | META         | CUBARRAL   | PARQUE SUMAPAZ       | NO REPORTA |
| 11/02/12020-13/02/2020                                  | META         | GUAMAL     | EL DORADO            | NO REPORTA |

En consecuencia, con el objetivo específico numero dos (2) se realiza la identificación geográfica de tres (3) eventos de incendios forestales en el ecosistema del páramo de Sumapaz

período años 2018 a 2021, por medio de una escala binaria de cumplimiento de acuerdo con las siguientes variables y condiciones

1. Localización: El evento de incendio se encuentra dentro del área de influencia del páramo de Sumapaz
2. Índice Normalizado de Área Quemada NBR: El procesamiento de las imágenes de 2018 y 2021 muestra una afectación en la vereda.
3. Severidad de la quemadura (Burn Severity): Resultado de la operación aritmética de resta de imágenes celda por celda se considera si se presenta resultados de afectación severa en las veredas del área de influencia.
4. Puntos de Calor VIIRS: Relación de puntos de calor de acuerdo con la fecha del evento de incendio o máximo un día después de acuerdo con el reporte de medios, además de la relación geográfica dentro de la vereda.
5. Información de Medios: El evento se encuentra reportado por medios de comunicación, bases de datos de UNGRD, Bomberos, Artículos, u otras publicaciones donde se relacione la vereda.
6. Coberturas Corine Land Cover: la vereda del evento se interseca con la capa de coberturas Corine Land Cover obtenida para la cuantificación del área afectada.

**Tabla 4.** *Identificación de veredas por medio de escala binaria*

| IDENTIFICACIÓN DE VEREDAS POR MEDIO DE ESCALA BINARIA |              |        |               |                       |                       |            |       |
|---|--------------|--------|---------------|-----------------------|-----------------------|------------|-------|
| VEREDA  | LOCALIZACIÓN | NBR    | BURN SEVERITY | PUNTOS DE CALOR VIIRS | INFORMACIÓN DE MEDIOS | COBERTURAS | TOTAL |
| LAGUNITAS   | CUMPLE       | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | CUMPLE     | 5     |
| LAS SOPAS   | CUMPLE       | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | CUMPLE     | 5     |
| SIBERIA   | CUMPLE       | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 4     |
| SAN LUIS DE YAMANES                                   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| BRISAS DE YAMANES                                     | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| ZONA DE RESERVA                                       | CUMPLE       | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 4     |
| EL BRILLANTE  | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| LA 24   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| AGUA LINDA  | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | CUMPLE     | 4     |
| PUENTE TIERRA   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| GANCO   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| LUCIGA  | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |

| IDENTIFICACIÓN DE VEREDAS POR MEDIO DE ESCALA BINARIA |              |        |               |                       |                       |            |       |
|---|--------------|--------|---------------|-----------------------|-----------------------|------------|-------|
| VEREDA  | LOCALIZACIÓN | NBR    | BURN SEVERITY | PUNTOS DE CALOR VIIRS | INFORMACIÓN DE MEDIOS | COBERTURAS | TOTAL |
| PUENTE AMARILLO                                       | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| ROMERO BAJO   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| SAN FRANCISCO   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| AL DE LA CRUZ   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| BOSATAMA  | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| LA CHACUA   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| VICTORIA ALTA   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| SAN BENITO  | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| HOYA VARGAS   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| SAN PABLO   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| SABANETA  | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| SAN JOAQUIN   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| SAN CRISTOBAL   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| EL HATO   | CUMPLE       | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 4     |
| LOS MEDIOS  | CUMPLE       | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 4     |
| RIO BLANCO  | CUMPLE       | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 4     |
| RIO CHIQUITO  | CUMPLE       | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 4     |
| SAN ANTONIO   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| POTRERITOS  | CUMPLE       | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 4     |
| CARMEN ABAJO  | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| TRAPICHE  | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| CERINZA   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| SAN LUIS  | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| SAN ROQUE   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| ALTO ARIARI   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| LA ESTRELLA   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| ORO PERDIDO   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| UBATOQUE  | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| RIO NEGRO NORTE                                       | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| MONRUTA   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| LOS PINOS   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| EL CARMEN   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| EL VOLADOR  | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| ALTO DE CRUZ  | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| PONTA   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| ALTO DEL RAMO   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |
| MUNAR   | NO CUMPLE    | CUMPLE | CUMPLE        | NO CUMPLE             | CUMPLE                | NO CUMPLE  | 3     |

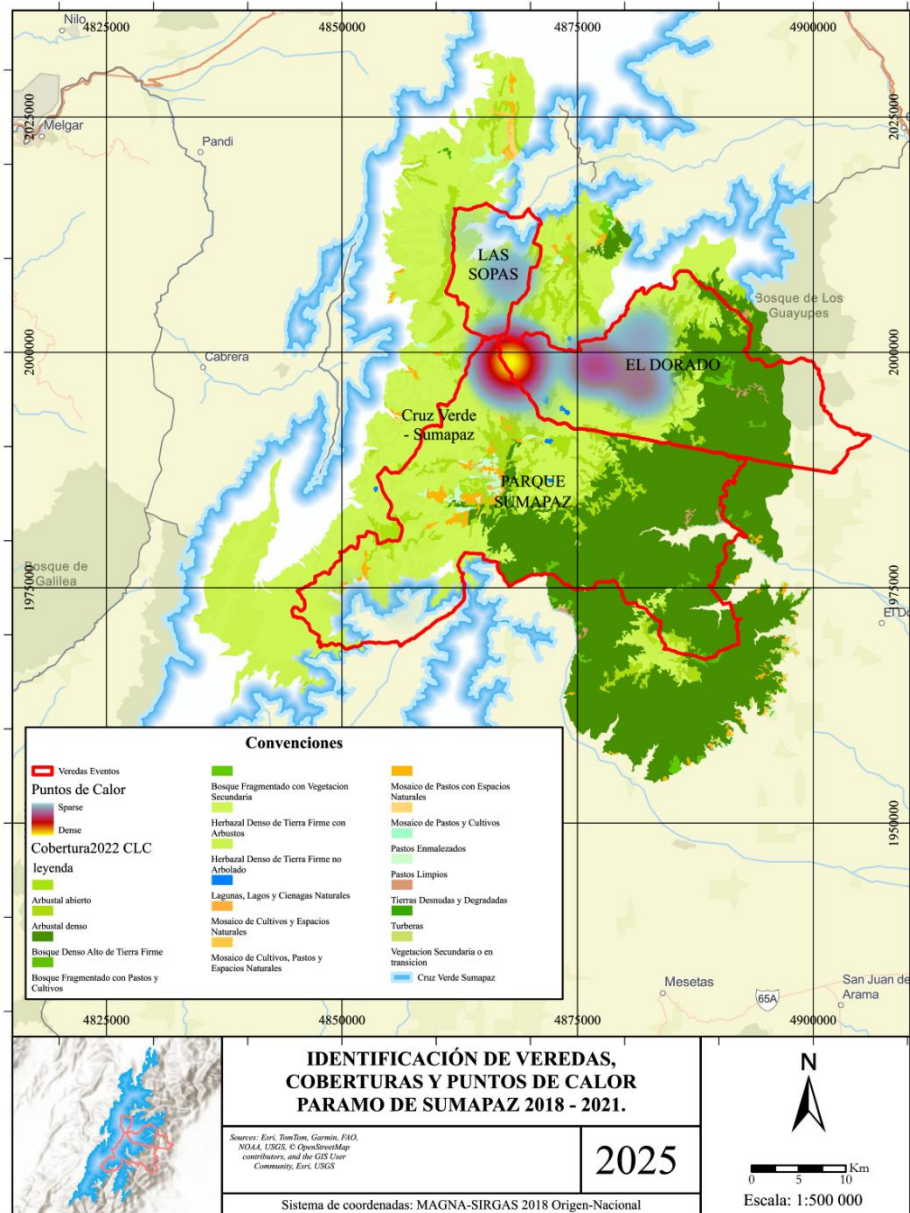


|                |        |        |        |        |        |        |   |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| PARQUE SUMAPAZ | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | 6 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|

De acuerdo con la anterior Tabla 5 se realiza un análisis de los puntos de calor VIIRS para las veredas Lagunitas y Las Sopas concluyendo que la vereda Las Sopas tiene localización de puntos de calor, pero no coinciden con las fechas del reporte de medios, mientras que la vereda Lagunitas no presenta puntos de calor relacionados geográficamente ni con fechas de reportes, por lo tanto, la vereda Lagunitas se descarta del análisis final (ver Tabla 5).

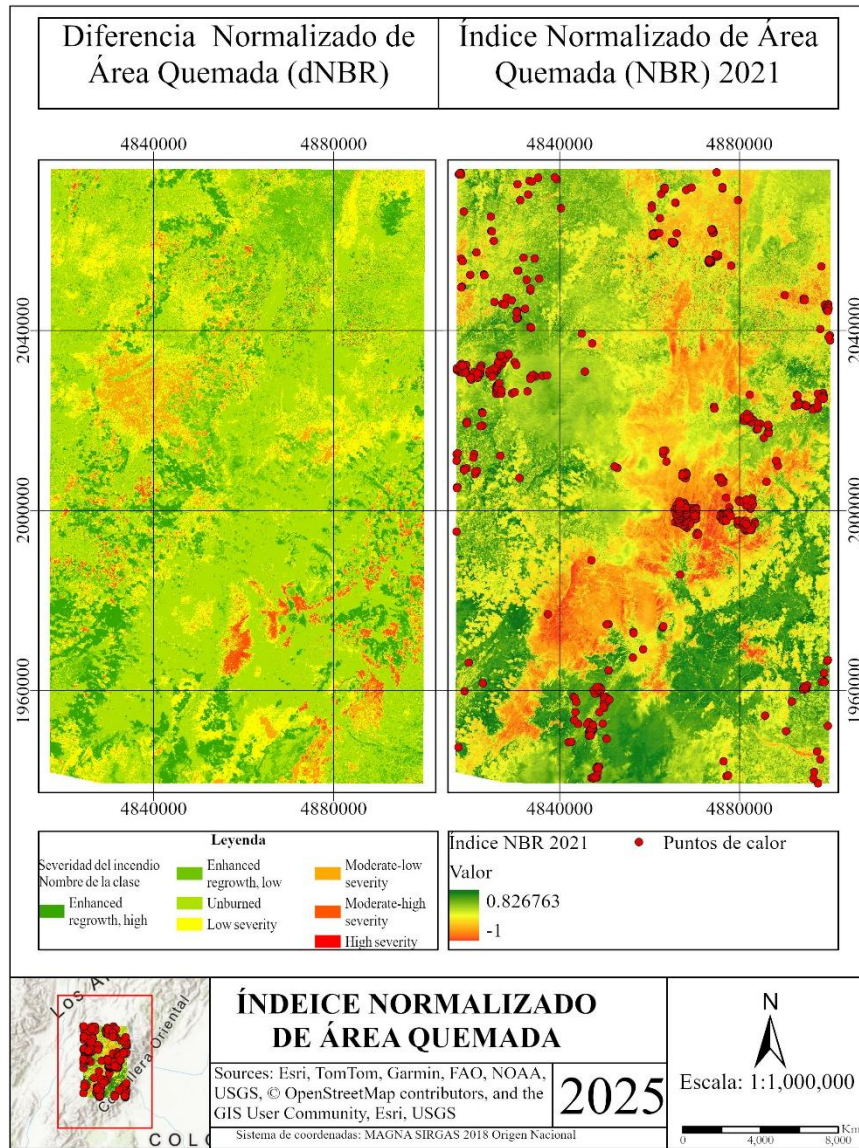
La **Figura 1** Figura 7 resume gráficamente la relación de la Tabla 5 la cual se consolida por medio de la integración de datos alfa numéricos y geográficos del software ArcGIS Pro donde se puede visualizar la información geográfica de veredas, con los datos densificados de puntos de calor y las intersección grafica de las coberturas Corine Land Cover para su posterior análisis estadístico a continuación (ver Figura 7).

**Figura 7. Identificación de veredas, coberturas y puntos de calor**



Posteriormente, se calculó la diferencia del índice normalizado de área quemada para el año 2018 y 2021, para identificar las áreas quemadas y determinar su afectación en las tres veredas seleccionadas anteriormente (ver Figura 8).

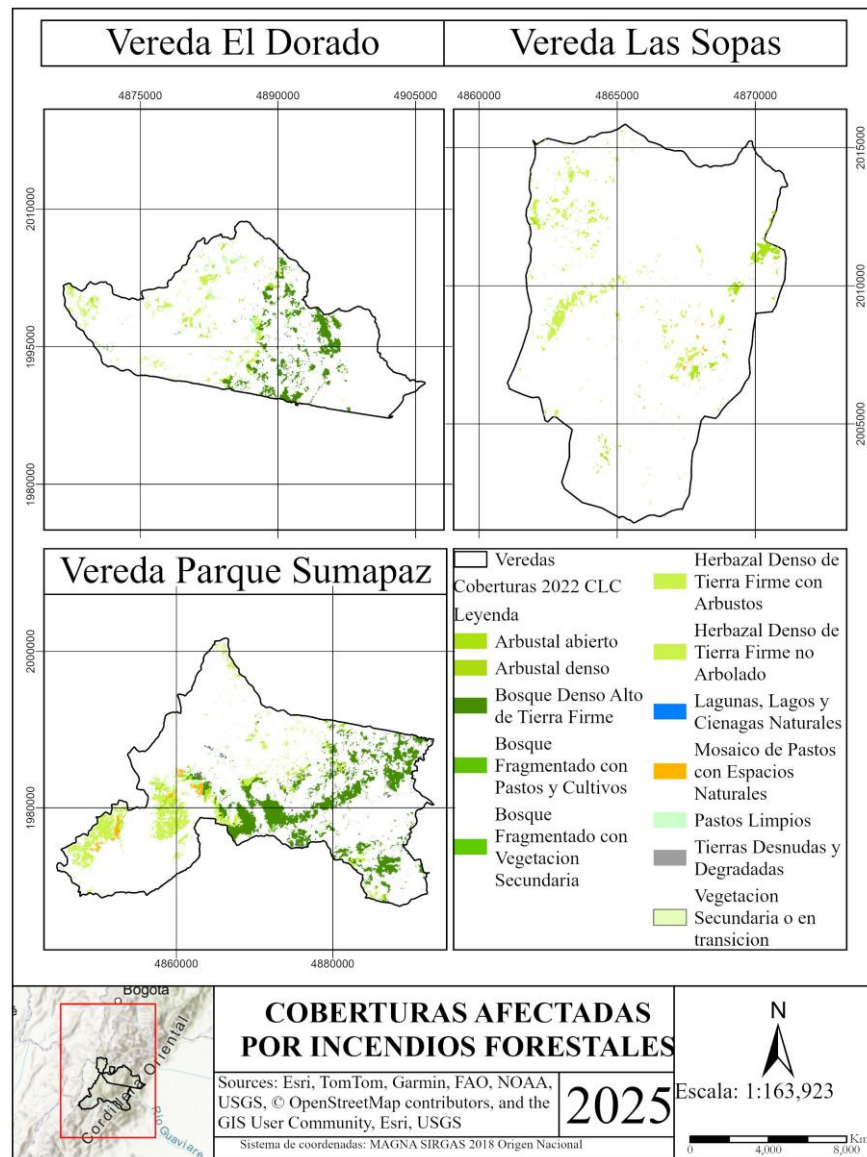
**Figura 8.** Diferencia normalizada de área quemada vs índice normalizado de área quemada



Para la vereda Las Sopas, se encontró que la cobertura más afectada es la de Herbazal denso de tierra firme con arbustos con un área afectada de 246,92 Ha, es decir, el 64,99%, y la menos afectada es la de arbustal denso con 4,80 Ha afectadas, es decir, el 1,26%; para la vereda El Dorado, la cobertura más afectada fue la de bosque denso alto de tierra firme con 2.633,3 Ha afectadas, es decir, el 56,35% y la menos afectada fue la de pastos limpios con 2,98 Ha afectadas, es decir, el 0,06%; y para la vereda Parque Sumapaz, la cobertura más afectada fue la de Bosque denso alto de

tierra firme con 8.926,42 Ha, es decir, el 56,06% y la menos afectada fue la de lagunas, lagos y ciénagas naturales con 1,33 Ha, es decir, el 0,01%. a continuación (ver Figura 9).

**Figura 9.** Coberturas afectadas en las veredas Las Sopas, El Dorado y Parque Sumapaz



Se realizó la cuantificación de la afectación de las coberturas clasificadas por la metodología Corine Land Cover en las cuales se exponen por medio de el área de afectación y su

porcentaje para las tres zonas de estudio veredas Las Sopas en la Ciudad de Bogotá, Cundinamarca, vereda El Dorado del municipio de Guamal, Meta y la vereda Parque Sumapaz municipio de Cubarral, Meta respectivamente (Ver Tabla 6, Tabla 7 y

Tabla 8).

**Tabla 6.** Coberturas de la tierra afectadas por incendio forestal en la vereda Las Sopas.

| COBERTURA CORINE LAND COVER                 | ÁREA (HA)     | PORCENTAJE    |
|---|---------------|---------------|
| HERBAZAL DENSO DE TIERRA FIRME CON ARBUSTOS | 246,92        | 64,99         |
| ARBUSTAL ABIERTO                            | 94,69         | 24,92         |
| HERBAZAL DENSO DE TIERRA FIRME NO ARBOLADO  | 27,33         | 7,19          |
| MOSAICO DE PASTOS CON ESPACIOS NATURALES    | 6,23          | 1,64          |
| ARBUSTAL DENSO                              | 4,80          | 1,26          |
| <b>TOTAL</b>                                | <b>379,97</b> | <b>100,00</b> |

**Tabla 7.** Coberturas de la tierra afectadas por incendio forestal en la vereda El Dorado.

| COBERTURA CORINE LAND COVER                  | ÁREA (HA) | PORCENTAJE |
|--|-----------|------------|
| BOSQUE DENSO ALTO DE TIERRA FIRME            | 2633,30   | 56,35      |
| HERBAZAL DENSO DE TIERRA FIRME CON ARBUSTOS  | 1293,48   | 27,68      |
| ARBUSTAL ABIERTO                             | 324,21    | 6,94       |
| ARBUSTAL DENSO                               | 216,16    | 4,63       |
| HERBAZAL DENSO DE TIERRA FIRME NO ARBOLADO   | 77,19     | 1,65       |
| BOSQUE FRAGMENTADO CON VEGETACION SECUNDARIA | 52,39     | 1,12       |
| TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS                | 44,50     | 0,95       |
| LAGUNAS, LAGOS Y CIENAGAS NATURALES          | 12,26     | 0,26       |
| BOSQUE FRAGMENTADO CON PASTOS Y CULTIVOS     | 10,57     | 0,23       |
| MOSAICO DE PASTOS CON ESPACIOS NATURALES     | 5,80      | 0,12       |
| PASTOS LIMPIOS                               | 2,98      | 0,06       |

**Tabla 8.** Coberturas de la tierra afectadas por incendio forestal en la vereda Parque Sumapaz.

| COBERTURA CORINE LAND COVER                 | ÁREA (HA) | PORCENTAJE |
|---|-----------|------------|
| BOSQUE DENSO ALTO DE TIERRA FIRME           | 8926,42   | 56,06      |
| HERBAZAL DENSO DE TIERRA FIRME CON ARBUSTOS | 3165,97   | 19,88      |
| HERBAZAL DENSO DE TIERRA FIRME NO ARBOLADO  | 1829,78   | 11,49      |
| ARBUSTAL ABIERTO                            | 756,60    | 4,75       |
| MOSAICO DE PASTOS CON ESPACIOS NATURALES    | 465,65    | 2,92       |
| ARBUSTAL DENSO                              | 404,06    | 2,54       |

| COBERTURA CORINE LAND COVER                  | ÁREA (HA)       | PORCENTAJE    |
|--|-----------------|---------------|
| PASTOS LIMPIOS                               | 220,06          | 1,38          |
| BOSQUE FRAGMENTADO CON VEGETACION SECUNDARIA | 53,60           | 0,34          |
| VEGETACION SECUNDARIA O EN TRANSICION        | 53,05           | 0,33          |
| TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS                | 36,29           | 0,23          |
| BOSQUE FRAGMENTADO CON PASTOS Y CULTIVOS     | 11,01           | 0,07          |
| LAGUNAS, LAGOS Y CIENAGAS NATURALES          | 1,33            | 0,01          |
| <b>TOTAL</b>                                 | <b>15923,82</b> | <b>100,00</b> |

En relación con el objetivo tres (3) se calcularon los índices normalizados de área quemada NBR, la gravedad del área quemada y el área afectada por categorías de severidad del Burn severity en las siguientes veredas Las Sopas de la ciudad de Bogotá D.C., vereda Parque Sumapaz del municipio de Cubarral departamento del Meta y la vereda el Dorado del municipio de Guamal departamento del Meta, las veredas anteriormente nombradas se encuentran dentro del área de influencia del páramo de Sumapaz el análisis se realizó para el período comprendido entre los años 2018 – 2021. (Ver Tabla 9,

Tabla **10** y

Tabla II).

**Tabla 9.** Área afectada por la gravedad de incendios forestales en la vereda Las Sopas

| ÁREA DE AFECTACIÓN BURN SEVERITY VEREDA LAS SOPAS |                    |            |                           |
|---|--------------------|------------|---------------------------|
| ÁREA VEREDA (Ha)                                  | ÁREA AFECTADA (Ha) | PORCENTAJE | CATEGORIA                 |
| 9971.160  | 1458.745           | 14.63%     | Baja Severidad            |
|   | 196.604            | 1.97%      | Baja a Moderada Severidad |
|   | 0.062              | 0.00%      | Media a Alta Severidad    |
| <b>Total</b>                                      | 1655.411           | 16.60%     |                           |

**Tabla 10.** Área afectada por la gravedad de incendios forestales en la vereda Parque Sumapaz

| ÁREA DE AFECTACIÓN BURN SEVERITY VEREDA PARQUE SUMAPAZ |                    |            |                           |
|--|--------------------|------------|---------------------------|
| ÁREA VEREDA (Ha)                                       | ÁREA AFECTADA (Ha) | PORCENTAJE | CATEGORIA                 |
| 79419.280  | 10510.106          | 13.23%     | Baja Severidad            |
|  | 4706.199           | 5.93%      | Baja a Moderada Severidad |
|  | 4169.982           | 5.25%      | Media a Alta Severidad    |
|  | 50.321             | 0.06%      | Alta Severidad            |
| <b>Total</b>   | 19436.608          | 24.47%     |                           |

**Tabla 11.** Área afectada por la gravedad de incendios forestales en la vereda El Dorado

| ÁREA DE AFECTACIÓN BURN SEVERITY VEREDA EL DORADO |                    |            |                           |
|---|--------------------|------------|---------------------------|
| ÁREA VEREDA (Ha)                                  | ÁREA AFECTADA (Ha) | PORCENTAJE | CATEGORIA                 |
| 42561.579   | 3436.0119          | 8.07%      | Baja Severidad5           |
|   | 1404.631152        | 3.30%      | Baja a Moderada Severidad |
|   | 808.302823         | 1.90%      | Media a Alta Severidad    |
|   | 5.893824           | 0.01%      | Alta Severidad            |
| <b>Total</b>                                      | 5654.840           | 13.28%     |                           |

## 8. Discusión

Una de las grandes problemáticas que trae consigo el cambio climático y que afecta en su gran mayoría los páramos, es el aumento de temperaturas que, en épocas de verano propicia la frecuencia de incendios forestales de consecuencias devastadoras para el medio ambiente, incluso para la salud y seguridad de las personas (Comisión Nacional, 2010; Ressler, et al., 2012). Los incendios son responsables de gran parte de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera (principalmente dióxido de carbono), lo que repercute en el calentamiento de la atmósfera y en la alteración del sistema climático global (Vander Werf et al., 2004), además de ser causantes de la degradación del bosque tropical, con impactos múltiples en la estructura del bosque, biodiversidad y el ciclo de nutrientes presentes en el suelo (Cochrane, 2003). En este sentido, los Sistemas de Información Geográfica y el desarrollo de herramientas como ArcGIS PRO aportan en la posibilidad de representar espacialmente el fenómeno y de combinar variables que permitan entender el impacto.

Los incendios forestales en el área de estudio representan uno de los principales factores de degradación del ecosistema de Páramo. Entre el año 2018 y 2021 se encontraron 65 reportes relacionados con incendios forestales, los cuales afectaron 61 veredas que se encuentran en el área de influencia del Páramo de Sumapaz. Los reportes oficiales de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo UNGR, no se encuentran detallados y no se encuentran especializados, es decir, no tienen coordenadas que permitan ubicarlos, además, la descripción algunas veredas enunciadas en los reportes oficiales no coinciden con la cartografía oficial de veredas que se encuentra en la plataforma Colombia en Mapas.

A partir del estudio realizado de forma detallada para las veredas El Dorado, Las Sopas y Parque Sumapaz se encontró que la gravedad del área afectada asciende a 23.746,86 Ha, en el período comprendido entre los años 2018 y 2021, en un periodo de 4 años. Con base en los resultados obtenidos en la investigación, se relaciona una correlación directa entre los puntos de calor obtenidos de FIRMS y el índice NBR obtenido, frente al cual se observa que donde se

presentan áreas quemadas, se encuentran puntos de calor relacionados. Este análisis se contrasta y se extiende con las coberturas de la tierra obtenidas de PNN, las cuales se encuentran descritas con la metodología Corine Land Cover, dentro de los resultados se detallaron las coberturas afectadas por la gravedad del incendio en cada una de las veredas estudiadas. Para la vereda Las Sopas, se encontró que la cobertura más afectada es la de Herbazal denso de tierra firme con arbustos y la menos afectada es la de arbustal denso; para la vereda El Dorado, la cobertura más afectada fue la de bosque denso alto de tierra firme y la menos afectada fue la de pastos limpios; y para la vereda Parque Sumapaz, la cobertura más afectada fue la de Bosque denso alto de tierra firme y la menos afectada fue la de lagunas, lagos y ciénagas naturales.

## 9. Conclusiones

Dentro de los registros encontrados en la UNGRD de incendios forestales en el Páramo de Sumapaz se encontraron 65 registros entre el año 2018 y el año 2021, los cuales se priorizaron y analizaron, encontrando que estos reportes presentan errores que dificultan la ubicación exacta de los incendios forestales y el cruce de la información con fuentes oficiales como el IGAC, ya que algunos de los nombres de las veredas encontradas en el reporte no coincidían con los nombres oficiales de las veredas.

La presente investigación ha cuantificado la gravedad de la severidad de los incendios forestales presentados en las veredas Las Sopas, El Dorado y Parque de Sumapaz y ha delimitado las coberturas del suelo, mediante el uso de imágenes satelitales de los años 2018 y 2021, aplicando técnicas y herramientas de procesamiento digital de imágenes. Las imágenes satelitales utilizadas fueron Landsat 8, estas presentan inconvenientes relacionados con la resolución temporal, principalmente por errores relacionados con la distorsión atmosférica por la gran presencia de nubosidad, es por esto por lo que a las imágenes utilizadas se les aplicó corrección atmosférica para mejorar la calidad del dato. La corrección atmosférica se implementó en el Software QGIS mediante el complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), el cual emplea el método de sustracción de objetos oscuros (DOS), para disminuir la dispersión atmosférica causada por la radiación de la trayectoria y la neblina (Zhang et al., 2010, como se cita en Sudhakar, Reddy, & Rani, 2022).

Para identificar las áreas quemadas en el Páramo de Sumapaz, se empleó el Índice Normalizado de Área Quemada, conocido como NBR por sus siglas en inglés (Normalized Burn Ratio). Este se realizó en las veredas Las Sopas, El Dorado y Parque Sumapaz y se analizaron las categorías de severidad baja, baja a moderada, media a alta y alta severidad. Para la vereda Las Sopas el área afectada fue de 1.655,41Ha, lo que representa el 16,6% del área total de la vereda; para la vereda El Dorado, el área afectada fue de 19.436,61Ha, lo que representa el 24,47% del área total de la vereda y para la vereda Parque Sumapaz, el área afectada fue de 5654,84Ha, lo que representa el 13,29% del área total de la vereda.

En este trabajo, se obtuvieron resultados relacionados con las afectaciones en las coberturas de la tierra en las veredas Las Sopas, El Dorado y Parque Sumapaz durante el periodo comprendido entre los años 2018 y 2021 debido a incendios forestales presentados. Para la vereda Las Sopas, se encontró que la cobertura más afectada es la de Herbazal denso de tierra firme con arbustos y la menos afectada es la de arbustal denso; para la vereda El Dorado, la cobertura más afectada fue la de bosque denso alto de tierra firme y la menos afectada fue la de pastos limpios; y para la vereda Parque Sumapaz, la cobertura más afectada fue la de Bosque denso alto de tierra firme y la menos afectada fue la de lagunas, lagos y ciénagas naturales.

## 10. Recomendaciones

La investigación expuesta desarrolla una técnica particular para la determinación de áreas quemadas mediante los recursos que aporta los sensores remotos como lo son imágenes satelitales multiespectrales de órbita continua y datos recopilados en la plataforma FIRMS de la NASA por el sensor VIIRS / Suomi NPP, su relación con los medios de comunicación locales y nacionales es una técnica no experimental que permite a partir de un modelo determinar cambios, insumo válido para la cuantificación temprana de eventos de incendio en zonas de difícil acceso como el páramo de Sumapaz para lo cual se recomienda.

Desarrollar formatos estandarizados de reporte incluyendo información importante como georreferenciación del sitio, datos oficiales de Veredas, Municipio y Departamento, módulo de seguimiento para la cuantificación y monitoreo.

Identificar zonas con eventos de incendio forestal histórico por medio de la frecuencia de ocurrencia.


Implementar acciones de monitoreo por medio de la integración de satélites, sensores, drones y datos climáticos.

Realizar articulación entre los procesos de monitorización local y la tecnología satelital, la cual realiza reportes diarios de datos por medio de la plataforma FIRMS de la NASA y los sensores VIIRS / Suomi y MODIS / Terra – Aqua / Sentinel.

Desarrollar estrategias de capacitaciones para todos los actores, mediante la identificación de factores de ignición de incendios, temporalidad de épocas de verano donde las ocurrencias de eventos son mayores, el uso adecuado del suelo en ecosistemas de páramo, adecuado tratamiento de residuos, sistemas de reporte y atención inmediato ante la ocurrencia de eventos.

Elaborar estudios de manera experimental por medio de actividades de campo con herramientas adecuadas que permitan realizar la comparación y mejorar la precisión de la información resultante.

## Referencias

- Alcaldía Mayor de Bogotá D. C., Secretaría de Hacienda, & Departamento Administrativo de Planeación Distrital. (2004). *Recorriendo Sumapaz: Diagnóstico físico y socioeconómico de las localidades de Bogotá, D. C.* [Informe técnico]. [https://oab.ambientebogota.gov.co/wp-content/uploads/dlm\\_uploads/2018/11/DiagnosticoSumapaz.pdf](https://oab.ambientebogota.gov.co/wp-content/uploads/dlm_uploads/2018/11/DiagnosticoSumapaz.pdf)
- Álvarez, V., J. A. (2024). *Desarrollo de un sistema de monitoreo de páramos en Colombia utilizando técnicas de machine learning*. [Tesis de maestría]. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
- Ávila-Vélez, E. (2020). Propuesta metodológica para cuantificar áreas afectadas por incendios forestales utilizando imágenes satelitales Sentinel-2. Caso de estudio páramo del Almorzadero, Colombia. *UD y Geomática*, 15(15), 25–32. <https://doi.org/10.14483/23448407.15260>
- Ayala, J., Vásquez, R., & Pérez, D. (2014). Evaluación del contenido de carbono en ecosistemas andinos. *Revista Latinoamericana de Ciencias Ambientales*, 8(2), 112–124.
- Bárcenas, L., & Mejía, C. (2024). *Reporte sobre incendios de cobertura vegetal en Colombia: noviembre 2023 - enero 2024*. Instituto Nacional de Gestión del Riesgo.
- Capador Aguilar, Y. E. ., González Angarita, G. P., & Suarez Daza, P. A. (2021). Análisis de la cobertura vegetal en incendios forestales mediante índices espectrales: caso de estudio Cerros Orientales (Bogotá, Colombia): español. *Avances Investigación En Ingeniería*, 18(1 (enero-junio)). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.6931>
- Cochrane, M. A. (2003). *Fire science for rainforests*. *Nature*, 421(6926), 913–919. <https://doi.org/10.1038/nature01437>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2010). *Capital natural de México, volumen II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO. <https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/libros/CapitalNaturalMexico/VolumenII.html>
- CONABIO. (2010). *Capital natural de México. Volumen III: Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad*. México D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
-  <https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/libros/capitalNatMex.html> Análisis de la cobertura vegetal en incendios forestales mediante índices espectrales: caso de estudio Cerros Orientales (Bogotá, Colombia). *Avances Investigación en Ingeniería*, 18(1), 1–17. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.6931>
- Creswell, J. W. (2009). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (3rd ed.). SAGE Publications.

- Escolano, S. (2015). *Sistemas de información geográfica. Una introducción para estudiantes de Geografía*. España, Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza. Recuperado de: <https://www-digitaliublishing-com.biblioproxy.umanizales.edu.co/a/59256>
- Franco, R. (2016, 7 de julio). *Análisis Multitemporal Vectorial en ARCGIS*. Rodolfo Franco Web. <https://rodolfofrancoweb.com/2016/07/07/analisis-multitemporal-vectorial-en-arccgis/>
- Franco, R. (2024). Geo data incendios enlaces a geovisores y otros recursos por Rodolfo Franco, [https://rodolfofrancoweb.com/georecursos/geodata\\_mundial/geodata-riesgos-y-desastres/geodata-incendios/](https://rodolfofrancoweb.com/georecursos/geodata_mundial/geodata-riesgos-y-desastres/geodata-incendios/)
- González-Gutiérrez, I., Mas-Caussel, J. F., Morales-Manilla, L. M., & Ocegüera-Salazar, K. A. (2019). Thematic accuracy of hotspots and wildfires in Michoacán, Mexico. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 26(1), 17–35. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.01.011>
- Gutiérrez, M. (2006). El rol de las bases de datos espaciales en una infraestructura de datos. *GSDI9 Conference Proceedings*, pp. 6–10.
- Herrera, H. (04 de marzo de 2013). Páramos = agua = vida. <https://aidaamericas.org/es/blog/p%C3%A1ramosaguavida#:~:text=Los%20p%C3%A1ramos%20son%20ecosistemas%20de,volc%C3%A1nico%20suelen%20ser%20muy%20f%C3%A9rtiles.>
- ICDE. (2024). Geo visor ICDE, <https://www.icde.gov.co/geovisor/>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2023). Lineamientos para la evaluación de la exactitud temática en coberturas del suelo [Informe técnico]. <https://www.igac.gov.co>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2024). Colombia en mapas, <https://www.colombiaenmapas.gov.co/>
- Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, & Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2021). *Proyecto actualización del componente de gestión del riesgo para la revisión ordinaria y actualización del plan de ordenamiento territorial anexo técnico no. 4 estudios básicos amenaza por incendios forestales Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático-IDIGER subdirección de análisis de riesgos y efectos del cambio climático Grupo de Trabajo Temático Incendios Forestales Bogotá D. C. abril de 2021. 4, 63–1.* <https://www.sdp.gov.co/micrositios/pot/documentos>
- Interamerican Association for Environmental Defense (AIDA). (8 de febrero de 2024). *Un llamado para proteger el bosque andino y los páramos tras los incendios en Colombia*. AIDA. <https://aida-americas.org/es/prensa/un-llamado-para-proteger-el-bosque-andino-y-los-p%C3%A1ramos-tras-los-incendios-en-colombia>

- Jiménez G, A. M., Urrego G, L. E., & Toro R, L. J. (2016). Evaluación del comportamiento de incendios de la vegetación en el norte de Antioquia (Colombia): Análisis del paisaje. *Colombia Forestal*, 19(2), 161–180.
- Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). Landscape assessment (LA) sampling and analysis methods. In D. C. Lutes, R. E. Keane, J. F. Caratti, C. H. Key, N. C. Benson, S. Sutherland, & L. J. Gangi (Eds.), *FireMon: Fire effects monitoring and inventory system* (pp. LA-1–LA-51). USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. [https://www.fs.usda.gov/rm/pubs/rmrs\\_gtr164.pdf](https://www.fs.usda.gov/rm/pubs/rmrs_gtr164.pdf)
- Kumar, M., Phukon, S. N., & Singh, H. (2021). The role of communities in sustainable land and forest management. *Forest resources resilience and conflicts* (pp. 305-318). Elsevier.
- Lal, R. (2004). *Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security*. *Science*, 304(5677), 1623–1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>
- León, O. A. (2016). Transición bosque-páramo. Bases conceptuales y métodos para su identificación en los Andes colombianos. En *Transición bosque-páramo. Bases conceptuales y métodos para su identificación en los Andes colombianos*. <https://doi.org/10.21068/b16529>
- Manchabajoy Manchabajoy, J. J. (2022). Análisis multitemporal de la cobertura vegetal en el Páramo de Paja Blanca, departamento de Nariño, período 1991 –2017. xx. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/6029>
- Meza, M. C. & Armenteras, D. (2023). *La paradoja del fuego: del contexto internacional al caso de Colombia*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/369034083> La paradoja del fuego del contexto internacional al caso de Colombia.
- Murad, C. A., Pearse, J., & Huguet, C. (2024). Multitemporal monitoring of páramos as critical water sources in Central Colombia. *Scientific Reports*, 14(1), 1–21. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67563-z>
- NASA. (2021). Observaciones de Satélites y Herramientas para el Riesgo, Detección y Análisis de Incendios. 1–66. <https://appliedsciences.nasa.gov/get-involved/training/spanish/arset-observaciones-de-satelites-y-herramientas-para-el-riesgo>
- Oficina de Ambiente de Bogotá. (s.f.). Informe de valoración IF Sopas – Sumapaz. <https://oab2.ambientebogota.gov.co/documents/10184/2347295/Informe%2Bde%2BValoraci%C3%B3n%2BIF%2BSopas%2B-%2BSumapaz.pdf>
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2023, agosto 24). *Se realizan acciones para controlar y extinguir incendio forestal presentado en el Parque Nacional Natural Sumapaz*. <https://old.parquesnacionales.gov.co/portal/es/se-realizan-acciones-para-controlar-y-extinguir-incendio-forestal-presentado-en-el-parque-nacional-natural-sumapaz>

- Perea-Ardila, M. A., Leal Villamil, J., & Alvarado, S. T. (2024). *Análisis de focos de calor para el departamento del Tolima (Colombia): Una aproximación empleando MODIS* (Preprint). LatArXiv. <https://doi.org/10.62059/LatArXiv.preprints.131.v2>
- Pérez Pineda, L. M. (2021). Análisis cronológico y de riesgo por incendios forestales en páramos y bosques altoandinos en Colombia desde los años 70. <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/07b2d38e-6f54-4ae9-833a-6f4f18b19c78>
- Pompa García, Marín, & Hernández González, Paulino. (2012). Determination of spatial trends of hotspots as a strategy for forest fires monitoring in Durango, México. *Bosque (Valdivia)*, 33(1), 63-68. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002012000100007>
- Poveda-Sotelo, Y., Bermúdez-Cella, M. A., & Gil-Leguizamón, P. (2022). Evaluación de métodos de clasificación supervisada para la estimación de cambios espacio-temporales de cobertura en los páramos de Merchán y Telecom, *Cordillera Oriental de Colombia*. *Boletín de Geología*, 44(2), 51–72. <https://doi.org/10.18273/revbol.v44n2-2022002>
- Ramírez, J. C. (2022). Metodología para evaluar la vulnerabilidad ambiental en los ecosistemas de páramo asociada a los usos del suelo: Caso de estudio complejo de páramos Pisba (Boyacá, Colombia). <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81889>
- Ressl, R., Ortega, A., & Salinas, F. (2012). *Los ecosistemas de alta montaña de México: Conservación y manejo sustentable*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).  
[https://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/587\\_ecosis\\_altamont.pdf](https://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/587_ecosis_altamont.pdf)
- Rodríguez, L. (2021). Análisis multitemporal utilizando imágenes landsat para la determinación de la pérdida de la capacidad productiva en la cuenca media del río magdalena. <http://hdl.handle.net/10654/38983>
- Rojas Castillo, I. J. (2017). *Gestión de riesgo en incendios forestales, localidad Sumapaz, Bogotá D.C. — Análisis para la construcción de estrategias de participación-acción* (Tesis de Maestría). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11349/13165>
- RTVC. (2023). Páramos, los principales afectados de los incendios forestales en los últimos días <https://www.rtvcnoticias.com/paramos-los-principales-afectados-de-los-incendios-forestales-en-los-ultimos-dias>
- Sarmiento, C., & León, O. (Eds.). (2015). *Transición bosque-páramo: Bases conceptuales y métodos para su identificación en los Andes colombianos*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 156 pp.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. P. B. (2022). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (7.ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Secretaría Distrital de Ambiente, Dirección de Gestión Ambiental, Grupo Gestión del Riesgo por Incendio Forestal. (2021, agosto). *Informe de valoración IF Sopas – Sumapaz* [Informe

técnico].

<https://oab2.ambientebogota.gov.co/documents/10184/2347295/Informe+de+Valoraci%C3%B3n+IF+Sopas+-+Sumapaz.pdf/bff9278d-d344-419e-8439-7bd98faba00b>

SINCHI. (2022). *Geoportal del SIAT-AC*, <https://sinchi.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=fce93bf885804deab507afae8e301699>

Sudhakar, V.C., Reddy, U.G., & Rani, U. N. (2022). Delineation and evaluation of the captive limestone mining area change and its influence on the environment using multispectral satellite images for industrial long-term sustainability. *Cleaner Engineering and Technology*, 10(100551), 100551. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100551>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (s.f.). Consolidado de atención de emergencias. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/paginas/consolidado-atencion-de-emergencias.aspx>

Van der Werf, G. R., Randerson, J. T., Giglio, L., Collatz, G. J., Kasibhatla, P. S., & Arellano Jr., A. F. (2004). *Continental-scale partitioning of fire emissions during the 1997 to 2001 El Niño/La Niña period*. *Science*, 303(5654), 73–76. <https://doi.org/10.1126/science.1090753>

WWF Colombia. (2024, febrero 2). *Emergencia ambiental por incendios forestales afecta los páramos en Colombia*. <https://www.wwf.org.co/?392790/emergencia-incendios-paramos>

Zimmermann, M., Leifeld, J., Schmidt, M. W. I., Smith, P., & Fuhrer, J. (2010). Measuring soil organic carbon stocks in forests: Simple questions, difficult answers. *Forest Ecology and Management*, 260(3), 275–284. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.03.009>

Zubieta, R. (2024). Focos de calor obtenidos a partir de satélite y su utilidad para la detección de fuegos activos en ecosistemas andinos del Cusco. *Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú*, 11(4), 4–10. <https://repositorio.igp.gob.pe/items/a085e3ae-6f39-4116-9e0c-f0d204981586>

Zúñiga-Escobar, C., Bautista, F., & Zinck, J. A. (2013). Carbono orgánico en suelos de México: Retención, pérdida y potencial de almacenamiento. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(1), 61–78. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.08.061>