



Nombre completo del trabajo de grado

Análisis de la dinámica en la cobertura vegetal en el Páramo de Berlín causados por eventos naturales y antropogénicos mediante herramientas SIG.

Modalidad: Proyecto de investigación

Nombre completo Autor 1

Maira Alejandra Álvarez Hernández
CC 1098820374

Nombre completo autor 2

Andrés Camilo Higuera Posada
CC 1007191161

Nombre completo autor 3

Rubén Antonio Pradilla Niño
CC 1100894044

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
INGENIERÍA EN TOPOGRAFÍA
BUCARAMANGA: 06-08-2024**



Título del trabajo de grado

Análisis de la dinámica en la cobertura vegetal en el Páramo de Berlín causados por eventos naturales y antropogénicos mediante herramientas SIG.

Modalidad

Proyecto de investigación

Nombre completo Autor 1

Maira Alejandra Álvarez Hernández
CC 1098820374

Nombre completo autor 2

Andrés Camilo Higuera Posada
CC 1007191161

Nombre completo autor 3

Rubén Antonio Pradilla Niño
CC 1100894044

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingenieros en Topografía**

DIRECTOR

MSc. Clara Inés Torres Vásquez

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN MEDIO AMBIENTE Y TERRITORIO – GRIMAT

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
INGENIERÍA EN TOPOGRAFÍA
BUCARAMANGA: 06-08-2024**

Nota de Aceptación

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por
Las Unidades Tecnológicas de Santander para optar al título

Ingeniero Topógrafo

Según acta #17 del Comité de Proyectos de Grado

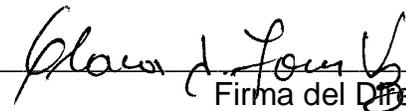
Del 06-08-2024

Docente evaluador: Ing. Héctor Alfonso Correa Rangel

Docente director: M.Sc Clara Inés Torres Vásquez



Firma del Evaluador



Firma del Director

DEDICATORIA

Maira Alejandra Álvarez Hernández Dedicó este logro a Dios, por acompañarme en mi proceso de vida y mostrarme que, con responsabilidad, perseverancia y dedicación, todo es posible. A mis padres, Yanet Zulena Hernández Rodríguez y Jhan Andrés Álvarez Casafus, por su apoyo emocional y valores inculcados. Junto con mi hermano, abuelos, tíos y primos, son mi pilar y motivación diaria. A mis amigos y compañeros de clase, por compartir sus conocimientos y experiencias, contribuyendo a mi crecimiento personal y profesional.

Andrés Camilo Higuera Posada Dedicó este logro a mi familia y amigos por su constante apoyo y comprensión durante todo este proceso. Su aliento y motivación me han ayudado a seguir adelante y completar este proyecto con éxito. Finalmente, a mis compañeros de proyecto dedico este logro por su colaboración, ideas y apoyo constante. Su trabajo en equipo y disposición para ayudar en cada etapa del proyecto han sido fundamentales.

Rubén Antonio Pradilla Niño Dedicó este trabajo de grado a Dios, por la salud, resiliencia e inteligencia que me otorgó para superar las dificultades. A mis padres, por ser mi motor y apoyo, inspirándome a alcanzar mis metas. A mis hermanos, por su constante apoyo y compañía que los quiero mucho. A mis docentes, por sus valiosas enseñanzas y generosidad en compartir conocimientos. Y a mis compañeros y amigos, por su apoyo incondicional y por hacer más llevadero este proyecto y el proceso de aprendizaje.

AGRADECIMIENTOS

A la MSc. Clara Inés Torres Vásquez, le expresamos nuestro más profundo agradecimiento por su entrega, orientación y dedicación en la elaboración de este proyecto. Su guía y conocimiento han sido fundamentales para el desarrollo y éxito de nuestro trabajo. A nuestros docentes, les extendemos nuestra gratitud por compartir con nosotros todos sus conocimientos, experiencias y consejos a lo largo de la carrera. Su apoyo y enseñanzas no solo nos han ayudado a culminar este proceso académico, sino que también nos han preparado para enfrentar los desafíos profesionales con confianza y competencia.

Además, agradecemos su paciencia y disposición para resolver nuestras dudas y motivarnos a alcanzar nuestro máximo potencial. Sin su compromiso y esfuerzo, este logro no hubiera sido posible.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	11
INTRODUCCIÓN.....	12
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.2. JUSTIFICACIÓN	15
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.4. ESTADO DEL ARTE	18
2. MARCO REFERENCIAL	22
2.1 MARCO TEÓRICO	22
2.1.1 INCENDIOS FORESTALES.....	23
2.1.2 ÍNDICES ESPECTRALES.....	24
2.1.3 TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN	27
2.1.4 IMÁGENES SATELITALES.....	30
2.1.5 RIESGOS CLIMÁTICOS Y ANTRÓPICOS.....	30
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	39
3.1 HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
3.2 ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA APLICADA..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....	41
5. RESULTADOS	59
6. CONCLUSIONES.....	80
7. RECOMENDACIONES	81
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

9.	APÉNDICES.....	84
10.	ANEXOS.....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación de cobertura vegetal	23
Figura 2. Se puede observar los componentes de la teledetección	29
Figura 3. Muestra el esquema de la metodología empleada en el proyecto	40
Figura 4. Mapa de ubicación del municipio de Tona.....	42
Figura 5. Coberturas del suelo propuesta por el Esquema de Ordenamiento territorial del municipio de Tona	43
Figura 6. Tipos de Uso/Cobertura del Suelo de Tona según EOT	44
Figura 7. Muestra la plataforma Esri donde se descargan las imágenes satelitales	47
Figura 8. Muestra la zona de estudio donde se va a descargar la imagen satelital	47
Figura 9. Muestra la interfaz en el software Qgis de la imagen 2017	48
Figura 10. Muestra la interfaz en el software Qgis de la imagen 2023.....	48
Figura 11. Extracción del área de estudio. La figura muestra el corte de las dos imágenes satelitales cargadas en el software ArcGIS PRO	49
Figura 12. Vectorización de las imágenes. La figura muestra el proceso de vectorización de cada una de las imágenes satelitales en el software ArcGIS PRO	50
Figura 13. Modificación de la tabla de atributos. La figura muestra el proceso de modificación de la tabla de atributos para enumerar los diferentes códigos gridcode	51
Figura 14. Intersección. La figura muestra el proceso de intersección dando como resultado la unión de las dos capas vectoriales en una sola denominada bitemporal. De igual manera muestra la tabla de atributos.	51
Figura 15. Unión de coberturas. La figura muestra el proceso de unión de las coberturas utilizando el algoritmo correspondiente, y allí se puede observar de manera detallada en la tabla de atributos el cambio de una cobertura a otra.	52
Figura 16. Comparación de coberturas	53
Figura 17. Muestra la unión de las dos capas vectoriales	54
Figura 18. Localización Zona del Incendio producido en enero del 2024	55
Figura 19. Script NDVI Utilizado en Google Earth Engine	58
Figura 20. Cobertura de Suelos Páramo de Berlín Año 2017	59
Figura 21. Gráfico áreas de coberturas para el año 2017.....	61
Figura 22. Cobertura de Suelos Páramo de Berlín Año 2023	62
Figura 23. Gráfico áreas de coberturas para el año 2023.....	63
Figura 24. Bitemporalidad 2017-2023	64
Figura 25. Gif animado del cambio de las coberturas.....	66
Figura 26. Muestra el gráfico circular de frecuencias de las coberturas	67

Figura 27. Recomposición de bandas True Color.....	68
Figura 28. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).....	70
Figura 29. Histograma NDVI, 18 de enero.....	71
Figura 30. Histograma NDVI, 25 de enero.....	72
Figura 31. Histograma NDVI, 12 de abril.....	73
Figura 32. Índice normalizado de áreas quemadas NBRI.....	74
Figura 33. Histograma NBRI, 18 de enero.....	75
Figura 34. Histograma NBRI, 25 de enero.....	76
Figura 35. Coberturas del suelo de la zona de estudio.....	78
Figura 36. Tipos de Investigación.....	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de Bandas de Sentinel 2	32
Tabla 2. Descripción de los tipos de Uso/Cobertura del Suelo de Tona según EOT	45
Tabla 3. Usos en Zona de páramo según EOT Tona.....	46
Tabla 4. Muestra la descripción de cada uno de los índices espectrales	56
Tabla 5. Muestra la descripción de cada una de las coberturas y sus ejemplos ..	60
Tabla 6. Muestra el área de cada una de las coberturas para el año 2017	61
Tabla 7. Muestra el área de cada una de las coberturas para el año 2023	63
Tabla 8. Muestra la tabla con los diferentes valores de las coberturas	65
Tabla 9. Muestra el área de cambio de las coberturas año 2017-2023.....	66
Tabla 10. Tabla que representa las coberturas a las que se cambiaron las del año 2017, esto quiere decir que para el 2023 varias zonas de coberturas se transformaron en las que encontramos en la tabla anteriormente presentada. Realizo con IMB SPSS.	67
Tabla 11. Tabla que representa las áreas de cada cobertura presente en el área de estudio	78
Tabla 12.	91

RESUMEN EJECUTIVO

En este informe se analizó la dinámica de la cobertura vegetal del Páramo de Berlín, ubicado en Santander, utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). El objetivo principal fue identificar los cambios en la vegetación debido a factores naturales y actividades humanas desde el año 2017 hasta 2024.

Se emplearon técnicas de teledetección y análisis bitemporal mediante imágenes satelitales y ortofotos, analizando índices espectrales para comparar dos periodos de tiempo específicos y evaluar los cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal. Las herramientas SIG facilitaron la creación de cartografía detallada de estos periodos.

El análisis reveló cambios significativos en la cobertura vegetal del páramo, principalmente debido a incendios forestales y la expansión de actividades agrícolas y pecuarias. Se observó una disminución en las áreas de vegetación natural y un aumento en las zonas de suelo desnudo y construcciones. Estos cambios tienen implicaciones importantes para la biodiversidad y la capacidad del páramo para capturar y almacenar dióxido de carbono.

El estudio subraya la importancia de implementar medidas de conservación y manejo sostenible del Páramo de Berlín. Los resultados obtenidos son cruciales para la planificación y toma de decisiones orientadas a la preservación de este ecosistema único y vital para la regulación del ciclo hidrológico y la biodiversidad regional.

PALABRAS CLAVE. Cobertura vegetal, análisis multitemporal, sistemas de información geográfica, imágenes satelitales, índices espectrales.

INTRODUCCIÓN

Los páramos son ecosistemas de alta montaña, principalmente establecidos en América del Sur, en Colombia se encuentra el 42.48% de los páramos. Estos ecosistemas se sitúan entre los 3,000 y 4,500 metros sobre el nivel del mar y se caracterizan por un clima frío y húmedo, con bajas temperaturas durante todo el año. (Santoyo, 2013)

Los páramos son ecosistemas únicos y frágiles que desempeñan roles cruciales para su región. El páramo de Berlín cuenta con múltiples funciones importantes en la regulación del ciclo hidrológico, esencial para el suministro de agua dulce para el consumo humano, la agricultura y otras actividades. Además, es rico en biodiversidad, lo que es vital para el equilibrio ecológico y la salud del ecosistema regional y global. Respecto al cambio climático, ayuda a mitigar sus efectos al capturar y almacenar dióxido de carbono de la atmósfera. También importante para las diversas actividades socioeconómicas de las comunidades locales. Sin embargo, este se puede ver afectado si no se implementan medidas de conservación y regulación de las actividades agrícolas, el uso del suelo, la extracción de los recursos naturales, la construcción de infraestructuras, la práctica de turismo no sostenible interrumpiendo este hábitat natural.

Gracias a las herramientas de los SIG se puede realizar análisis multitemporales el cual permite identificar los cambios ambientales y el impacto de las actividades humanas en este ecosistema a lo largo del tiempo. Este tipo de estudio utiliza datos recopilados en diferentes momentos para evaluar las variaciones en el paisaje, la cobertura vegetal, el uso del suelo y otros factores ambientales.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los páramos son un ecosistema de alta montaña, que se encuentra entre la frontera superior del Bosque Andino y, en algunos casos, la frontera inferior de los glaciares, predominan las comunidades vegetales como pajonales, frailejones, matorrales, prados y chuascles. (Ley de Paramos, 2018). Una de las amenazas más grandes hacia estos ecosistemas es la sobreexplotación y el uso irracional de los recursos naturales debido a actividades como el crecimiento demográfico, la expansión de la frontera agrícola, la tala indiscriminada y la sobreutilización del recurso hídrico. Esto altera las coberturas vegetales, las condiciones del suelo y, por lo tanto, sus servicios ecosistémicos. (Peñalosa & Carvajal & Hernández, 2023)

La erosión es un proceso natural del suelo, pero cuando es intervenido por factores o agentes externos el cual aceleran este proceso hacen que este sea mucho más vulnerable y se presente una serie de amenazas la población que depende de los recursos presentes en el ecosistema. (IDEAM, 2001)

En Colombia se produjeron una serie de incendios que afectaron la cobertura vegetal y una de las zonas más afectadas fue el departamento de Santander, con unas 600 hectáreas de vegetación consumidas desde el 3 de noviembre del 2023 al 23 de enero del 2024, con un total de 30 incendios forestales, según la Unidad Nacional para la Gestión de Riesgos de Desastres, 2024 y dentro de ellos el incendio forestal que se produjo en el Páramo de Berlín.

El páramo fabrica el recurso hídrico que es fundamental para la vida de los seres vivos, utilizado para el consumo y para regular todas las actividades económicas en la población. A su vez, el suelo brinda servicios ambientales, entre los cuales, el

mantener enormes cantidades de carbono es de vital importancia para la vida en el planeta, dentro del contexto del calentamiento global. (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2018)

Identificar las afectaciones es importante porque estos estudios y análisis son de gran ayuda para las diferentes entidades territoriales y en este caso para el municipio de Tona debido a que se puede observar la magnitud del cambio en estas coberturas y así identificar qué tipo de evento antropogénico o natural está influyendo en el cambio del páramo y así tomar las medidas pertinentes.

En Colombia, la ausencia de una infraestructura de base de datos robusta relacionada con los incendios forestales constituye una limitación significativa en la capacidad de recopilación, análisis y gestión de información sobre este fenómeno ambiental, debió a que, encontrar cualquier información sobre reportes, informes, no existen o en casos como en el departamento de Boyacá, se encuentra incompletos. (Universidad de los Andes, 2021).

Mediante este proyecto, se identificará la afectación de la cobertura vegetal a través de Sistemas de Información Geográfica, técnicas de bitemporalidad y análisis con imágenes, fotos de los últimos 10 años, así como, históricos e índices espectrales comparando en dos o más periodos de tiempo específico.

¿Cuáles son los eventos que influyen en el cambio de cobertura vegetal en el Páramo de Berlín como resultado de los factores de variación, desde el 2017 al 2024, utilizando análisis comparativo de imágenes y técnicas de bitemporalidad en Sistemas de Información Geográfica?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Los páramos deben considerarse territorios de protección especial que combinan elementos de las ciencias humanas y naturales, así como: biología, geografía, geología e hidrografía, y aspectos sociales y culturales. Además, según el artículo 2 de la Ley 1930 de 2018 los páramos son esenciales para la obtención de agua y se consideran de gran importancia estratégica para la preservación de la biodiversidad en el país. (Ley de Paramos, 2018). En Colombia, la ausencia de una infraestructura de base de datos robusta relacionada con los incendios forestales constituye una limitación significativa en la capacidad de recopilación, análisis y gestión de información sobre este fenómeno ambiental, debió a que, encontrar cualquier información sobre reportes, informes, no existen o en casos como en el departamento de Boyacá, se encuentra incompletos. (Universidad de los Andes, 2021).

Según el EOT del Municipio de Tona, 2003, las zonas de los páramos tienen como uso principal la restauración ecológica para la conservación y protección de los recursos naturales renovables, además de esto, tiene unos usos compatibles, tales como, recreación pasiva, ecoturismo, e investigación controlada de recursos naturales renovables. Este estudio aborda los cambios en la cobertura vegetal del páramo de Berlín, teniendo en cuenta aspectos naturales como fenómeno del niño y la niña, desprendimiento de roca, flujos, deslizamientos y/o actividades antrópicas como expansión humana, actividades agrícolas y pecuarias y turismo, actividades que pueden afectar de manera negativa a los páramos como reservorios de agua dulce y productores de CO₂, atributos fundamentales para la vida tanto humana como para la flora y fauna endémicas de esta región.

Para identificar los cambios de cobertura en las zona del páramo de Berlín se deben determinar unas técnicas precisas y claras al usar información satelital, como es el

análisis bitemporal, uso de ortofotos teledetección y fotogrametría para visualizar afectaciones y cambios del uso del suelo en los últimos 7 años generando cartografía del antes y después, así como reconociendo las principales actividades que, en este momento está generando mayor cambio en la cobertura vegetal y promoviendo el cuidado y conservación de este espacio, principalmente por su función en la generación de agua pura

La presente propuesta establece un estudio de daños o afectaciones que nos atañe a todos los ciudadanos del departamento, porque los páramos son reservorios de agua dulce, productores de Co2, y dichos atributos son importantes para la vida humana, y naturalmente, para la flora y fauna especialmente única en dicho ecosistema que las especies tienen como hogar.

En cuanto a la institución es importante que los estudiantes de Ingeniería en Topografía de las Unidades Tecnológicas de Santander apliquen sus conocimientos adquiridos durante su formación, presentando así propuestas que sirvan para identificar afectaciones o cambios en el tiempo y si es posible tomar medidas profesionales frente estos escenarios. Esto también servirá de apoyo, como base y soportes para futuras investigaciones con temáticas afines, permitiendo de esta forma que se pueda llevar a más profundidad o a mayor escala el objetivo final.

Este proyecto se desarrolla dentro de las líneas de investigación de gestión del riesgo y ambiente y territorio del grupo Grimat en convenio de investigación entre el municipio de Tona y las Unidades Tecnológicas de Santander.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la dinámica de la cobertura vegetal en al Páramo de Berlín, Santander mediante el uso de herramientas de SIG brindando insumos para la toma de decisiones frente al desarrollo y ordenamiento de esta región, buscando la sostenibilidad de la misma.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Clasificar información existente sobre páramos, especialmente el páramo de Berlín en Santander, su importancia en la producción de agua, biodiversidad y cambio climático mediante la revisión de documentos técnicos para generar una base de datos al respecto.

Identificar cambios de cobertura vegetal mediante análisis bitemporal, utilizando datos de ESRI Land Cover y software GIS, comparando dos periodos de tiempo para observar los cambios que se hayan producido en cuanto a agua, bosques, pastos, construcciones, entre otros.

Comparar los cambios de cobertura vegetal según el análisis de bitemporalidad con aspectos como incendios generados a principio del año 2024 en la zona de estudio, utilizando fotos y/o imágenes satelitales determinando cambios en la topografía del terreno, así como posibles afectaciones en variaciones climáticas por aumento de gases efecto invernadero.

1.4. ESTADO DEL ARTE

Autor	Titulo	Relevancia
Edier Fernando Ávila Vélez (Vélez, 2020)	Propuesta metodológica para cuantificar áreas afectadas por incendios forestales utilizando imágenes satelitales Sentinel-2. Caso de estudio páramo del Almorzadero, Colombia	Expone un método para determinar el área afectada de un incendio forestal en el páramo del Almorzadero en el departamento de Santander, esto mismo aplicando índices radiométricos tales como AQ, NBRI, NDVI.
Adrian Silva Cardoza (Cardoza, 2022)	Evaluación y mapeo de la severidad de incendios forestales en la Sierra Madre Occidental de Durango	
Jaouadi, Wahbi; Trabelsi, Hichem; Toujani, Ahmed; Achour, Hammadi (Jaouadi, Trabelsi, Toujani, & Achour, 2022)	Evaluation and comparison of Sentinel-2 MSI, Landsat 8 OLI, and EFFIS data for forest fires mapping. Illustrations from the summer 2017 fires in Tunisia	Este estudio permite conocer la eficiencia de distintos sensores como el Sentinel 2, Landsat 8 y el sistema de información de incendios forestales que se produjeron en Tunisia para la realización de mapas forestales.
Vega, José Antonio; Fernández-Alonso, José M; Fernández, Cristina; Sobrino, José Antonio; Llorens, Rafael (Vega, Fernández-Alonso, Fernández, Sobrino, & Llorens, 2021)	A methodology to estimate forest fires burned areas and burn severity degrees using Sentinel-2 data. Application to the October 2017 fires in the Iberian Peninsula	Una metodología lo cual nos determina como buscar, y descargar la información espacial para estimar el área de afectación de un incendio forestal que sucedió entre España y Portugal usando imágenes del Sentinel-2
Jaime Moreno (Moreno, 2020)	Saturbán, historia de un páramo que define su tradición y su futuro	En el artículo se habla sobre el páramo de Saturbán, nos da una pequeña muestra de que significa para la población santandereana,

		diferentes características que nos enseña lo que es el páramo.
Michael Guillermo Peña Tapia (Tapia Peña)	Evaluación del impacto de los incendios forestales por medio de imágenes satelitales sentinel 2, durante el período de incendios estivales 2016-2017, en la comuna de Pumanque, región del libertador Bernardo O'Higgins, Chile.	En este trabajo se hizo el análisis del área quemada utilizando imágenes satelitales y la metodología aplicada fue el uso de los índices espectrales como el NBR para normalizar diferencia entre reflectancias entre una banda del infrarrojo cercano y una del infrarrojo medio.
Laura García Echeverri (García Echeverri)	Estudio multitemporal de los incendios de 2019 en Roraima (Brasil) a partir de imágenes satelitales	En este proyecto lo que se hizo fue el estudio multitemporal por medio de unas imágenes Landsat 8 para observar cómo fue la afectación a lo largo del tiempo ocasionada por los incendios.
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental (Universidad de los Andes, 2021)	Análisis cronológico y de riesgo por incendios forestales en páramos y bosques altoandinos en Colombia desde los años 70	Explica el panorama nacional y que regiones de Colombia tienen un alto riesgo a que se produzcan incendios forestales, haciendo una barrida por algunos departamentos como Cundinamarca, Boyacá entre otros.
Alix Johana González (González, 2020)	Identificación de áreas quemadas por medio de índices espectrales utilizando imágenes Sentinel 2 en el municipio de Orocué, Casanare.	En este proyecto se utilizaron imágenes satelitales Sentinel 2 y posteriormente se hizo el proceso de la corrección atmosférica y en el software ArcGIS se hizo una combinación de bandas para observar el área quemada.
Gonzalo Cabezas Martin (Cabezas Martin, 2020)	Análisis de la severidad del incendio forestal en el Parque Nacional Sierra la Macarena usando Landsat	La metodología empleada fue la aplicación del algoritmo de segmentación Generic Region Merging Procesor de la caja de

	8 y Sentinel-2 caso de estudio 2018	herramientas de SNAP para generar la cartografía de la zona afectada.
Laura Natalia Garavito Rincon (Rincón, 2015)	Los páramos en Colombia, un ecosistema en riesgo	Demuestra una visión de como los páramos en los últimos años presentan una fuerte degradación de cobertura vegetal sea una perdida parcial o total.
Carlos Chuncho Morocho Guillermo Chuncho (Chuncho Morocho & chuncho, 2019)	Paramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión	Este estudio habla de la importancia que tienen los páramos para los territorios, el cual son grandes abastecedores de agentes ecosistémicos y como influyen directamente los ámbitos sociales y culturales. A su vez, de muestran cuales son las actividades que producen las afectaciones en las que se encuentran sometidos.
Dolors Armenteras Tania Marisol González Orlando Vargas Ríos María Constanza Meza Elizalde Imma Oliveras (Universidad de Cuenca, 2020)	Incendios en ecosistemas del norte de Suramérica: avances en la ecología del fuego tropical en Colombia, Ecuador y Perú.	El articulo hace referencia a como los incendios forestales cambian de manera drástica los ecosistemas naturales y todos los efectos adversos que producen dentro de este tales como, ecológicos, económicos y sociales de manera local.
Maria jose Guerra Amán (Guerra Amán , 2019)	Estimación de la variabilidad espacial y temporal de la escorrentía en microcuencas que drenan los páramos del Ecuador	Este estudio muestra como a través de diferentes procesos de los SIG se pueden procesar modelos hidrológicos y ver el comportamiento de estos mediante temporalidad espacial.

<p>Vanessa Gissela Atiaja Chuquitarco (Atiaja Chuquitarco, 2023)</p>	<p>Análisis multitemporal del uso del suelo (2013 – 2023) de los páramos de la parroquia isinliví provincia de cotopaxi</p>	<p>Como idea principal del presente proyecto se realizó el estudio de los cambios multitemporales a través de imágenes satelitales utilizando el método de Corine Land Cover el cual buscaba identificar los cambios presentes en la cobertura vegetal entre el año 2013-2023.</p>
--	---	--

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Análisis multitemporal

Según (Ochoa, 2023) es la técnica que se emplea para la interpretación de imágenes satelitales el cual sirven como base para estudiar los cambios en la superficie terrestre en el transcurso del tiempo. La clave de esta herramienta es buscar información de diferentes fechas para comparar y analizar los cambios en la vegetación, la urbanización, la degradación del suelo, entre otros aspectos.

El propósito de la recolección de datos es analizarlos y monitorearlos a través de una interpretación precisa, lo que permite tomar decisiones informadas sobre los recursos naturales. Esto es fundamental para la toma de decisiones en la planificación urbana y la gestión ambiental.

Existen varios softwares para realizar análisis multitemporales, algunos de ellos son:

- ArcGIS
- QGIS
- Google Earth Engine
- ERDAS imagine
- Entre otros

2.1.2. Cobertura vegetal

Definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022).

Es fundamental este concepto para el estudio de en la planificación del uso del suelo, ya que la vegetación juega un papel clave en la regulación de los ciclos hidrológicos, la conservación del suelo y la biodiversidad. Además, la monitorización de la cobertura vegetal ayuda a evaluar la salud de un ecosistema y a planificar acciones de conservación y restauración ambiental.

Figura 1. Representación de cobertura vegetal



Fuente: (Freepik, s.f.)

2.1.3. Incendios forestales

Cuando se habla de incendios forestales se debe tener en cuenta que en muchas ocasiones las personas lo confunden o pueden definirlo de diferentes maneras, pero según lo mencionado por (G. Pausas, 2012) estos son (sean de origen natural o antrópico) aquellos que ocurren en los ecosistemas terrestres, y que se propagan por la vegetación, sea del tipo que sea (bosques, sabanas, matorrales, pastizales, humedales, turberas, etc.)

De igual forma, cabe resaltar que los incendios forestales son una gran amenaza tanto para las diferentes especies presentes en el ecosistema, ya sea la fauna o la flora como para la población aledaña a estas zonas, los cuales son generados por el riesgo meteorológico de la sequía, en donde las altas temperaturas y la escasez de agua hacen que la vegetación y el suelo queden vulnerables al incendio. Estos

causan daños muy grandes y en ocasiones irreparables afectando en muchas ocasiones los nacimientos de agua.

Los incendios forestales constituyen un problema para la conservación de los bosques, causan deforestación, afectan su biodiversidad y amenazan con la extinción de especies, que no incluyen dentro de su ciclo natural la ocurrencia de incendios y mucho menos hacen parte de su estrategia para preservar su especie. (Cabezas Martin, 2020)

Al ocurrir este suceso afecta en gran medida el suelo cambiando las características y componentes del mismo acelerando el ciclo y la volatilización de los nutrientes. Y estos mismos también ayudan a la afectación de la capa de ozono.

2.1.4. Índices espectrales

Los índices espectrales de vegetación son imágenes obtenidas a partir de una serie de fórmulas algebraicas entre las diferentes bandas de la imagen satelital. Como resultado se puede observar gráficamente los pixeles relacionados con la cobertura vegetal, entre los cuales están la densidad, índice de área foliar y actividad clorofílica, por eso es de suma importancia su utilización. (Alonso, 2021).

A continuación, se podrá visualizar los diferentes índices espectrales:

2.1.4.1. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI):

El índice de Vegetación de Diferencia Normalizada es un indicador simple de biomasa fotosintéticamente activa o, en términos simples, un cálculo de la salud de la vegetación. (Toribio, 2019).

Este proceso exagera la separabilidad espectral de la vegetación y otras coberturas, haciendo más visible a la vegetación en la nueva banda, así mismo permite visualizar otros objetos. Esta altamente relacionado con la densidad del área foliar de vegetación, con el verdor de la vegetación, con la cantidad de biomasa. (Bannari & Morin, 2009).

$$\text{Fórmula: } \frac{(\text{NIR} - \text{RED})}{(\text{NIR} + \text{RED})}$$

En donde, NIR es la banda 8 y Red la banda 4.

2.1.4.2. Índice de Vegetación Mejorado (EVI):

Permite monitorear el estado de la vegetación con altas densidades de biomasa a través del cálculo por medio de las bandas rojo y azul. (Alonso, 2021)

$$\text{Fórmula: } \frac{2.5 * (\text{NIR} - \text{RED})}{((\text{NIR} + 6 * \text{RED} - 7.5 * \text{BLUE}) + 1)}$$

Es útil en áreas de tierra con grandes cantidades de clorofila.

2.1.4.3. Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI):

Este índice muestra una ligera variación con respecto al NVDI, debido a que añade a su fórmula un factor variable L. Este índice sirve en donde la vegetación es escasa y el suelo es quien refleja mayor presencia en la toma de datos.

$$\text{Fórmula: } \frac{((\text{NIR} - \text{RED}))}{(\text{NIR} + \text{RED} + \text{L})) * (1+\text{L})}$$

2.1.4.4. Índice de Vegetación Resistente a la Atmósfera (ARVI):

Este índice es fundamental para el uso en zonas donde existe la presencia de factores atmosféricos como el aerosol, zonas como con lluvia, niebla, polvo, humo, contaminación del aire. Esta fórmula fue inventada por *Kaufman* y *Tanré*, la hizo básicamente sobre el NVDI.

$$\text{Fórmula: } \frac{(\text{NIR} - (2 * \text{RED}) + \text{BLUE})}{(\text{NIR} + (2 * \text{RED}) + \text{BLUE})}$$

2.1.4.5. Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI):

Este índice se apoya en las variaciones de las radiaciones del infrarrojo cercano y la luz verde visible para de esta forma detectar las masas de agua y la cantidad de humedad en la vegetación. (Earth Observing System, 2020)

$$\text{Fórmula: } \frac{(\text{GREEN} - \text{NIR})}{(\text{GREEN} + \text{NIR})}$$

Este índice se puede utilizar en la detección de tierras agrícolas inundadas y en la distribución de humedales, entre otras.

2.1.4.6. Índice Normalizado de Calcinación (NBR):

Es índice es clave en la detección de áreas quemadas después de un incendio. Es de suma importancia su uso en el fenómeno del niño debido a que como consecuencia de este se ocasionan grandes incendios. La ecuación incluye las mediciones en longitudes de onda NIR y SWIR en donde la vegetación sana se refleja por el espectro NIR y las áreas quemadas son reflejadas por el espectro SWIR.

$$\text{Fórmula: } \frac{(\text{NIR} - \text{SWIR})}{(\text{NIR} + \text{SWIR})}$$

2.1.4.7. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Verde (GNDVI):

Este índice resalta el verdor de una planta o actividad fotosintética y sirve para determinar la captación de agua y nitrógeno en el dosel del cultivo. Los valores oscilan entre -1 y 1, en donde de -1 y 0 representa suelo desnudo y su principal uso es en la etapa media y final del cultivo. (Calo, 2018)

$$\text{Fórmula: } \frac{(\text{NIR} - \text{GREEN})}{(\text{NIR} + \text{GREEN})}$$

2.1.4.8. Índice de Clorofila (GCI):

Este índice se centra básicamente en las masas vegetales para calcular el contenido total de clorofila y utiliza las bandas del verde visible y el infrarrojo o Red Edge para tener mayor visibilidad. En el caso de Sentinel 2 se puede recurrir a una combinación específica de bandas dentro del Red Edge. Se puede obtener un índice específico de clorofila jugando con la relación de bandas 7 y 5:

$$\text{Fórmula: Clorofila Red-Edge} = \frac{\text{Vegetation Red EdgeB7}}{\text{Vegetation Red EdgeB5}} - 1$$

Este índice es interesante para analizar las masas vegetales desde un punto de vista fenológico. La presencia de clorofila en la estructura vegetal varía con las estaciones del año o el estrés al que esté sometida.

2.1.2.9 Índice Diferencia Normalizada de Borde Rojo (NDRE):

Este índice espectral es similar al de clorofila porque su objetivo es determinar la cantidad de esta en las plantas y para ello utiliza las bandas de infrarrojo cercano (NIR) y una banda que utiliza un estrecho rango espectral entre el Rojo visible. Es más preciso que el NDVI porque se centra en plantas con gran cantidad de clorofila.

$$\text{Fórmula: NDRE} = \frac{(\text{NIR} - \text{RedEdge})}{(\text{NIR} + \text{RedEdge})}$$

2.1.3. Técnicas de teledetección

Al hacer mención de la teledetección se puede decir que es el conjunto de instrumentos que permite obtener información de un objeto sin estar en contacto con él, simplemente escaneándolo a distancia. Los usos y aplicaciones que tiene la teledetección espacial son cada vez más y más numerosos y abarcando cada vez más campos, desde agricultura hasta oceanografía, pasando por labores humanitarias o en las fuerzas armadas. Podemos distinguir entre teledetección

activa y pasiva en función de cómo trabaja el instrumento. (EOS DATA ANALYTICS, 2021).

Es una técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor, genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra. Por tanto, es muy importante porque facilita el estudio de diferentes problemáticas y fenómenos ahorrando tiempo y dinero. Cabe resaltar que esta técnica no funciona por sí sola, para ello necesita una serie de componentes.

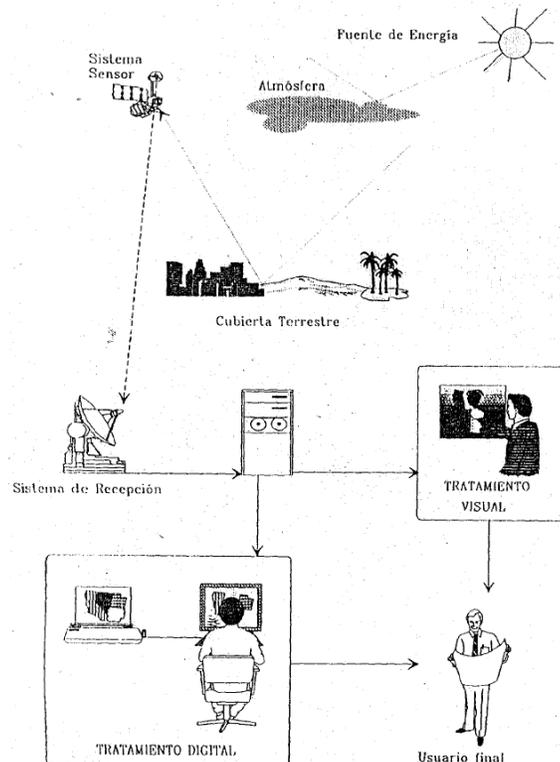
2.1.3.1. Componentes principales de la teledetección

Los componentes de la teledetección son importantes porque aquí se muestra el proceso para llegar a lo que se desea, entre los cuales se tienen: (Chuvienco, 1995)

- **Fuente de energía**, es el origen de la radiación electromagnética que detecta el sensor, cuando proviene de una fuente externa a este se denomina teledetección pasiva, si el haz de luz es emitido por el sensor, entonces se denomina teledetección activa.
- **Cubierta terrestre**, está conformada por todas las distintas coberturas vegetales, suelos, construcciones humanas y cuerpos de agua, que reciben la energía y la reflejan según sus características físicas.
- **Sistema sensor**, lo conforman el sensor propiamente dicho y la plataforma que lo contiene. Tiene como misión capturar la energía que proviene de las cubiertas terrestres, codificarlas y grabarlas o enviarlas directamente al sistema de recepción

- **Sistema de recepción**, es aquí donde se recibe la información transmitida por la plataforma, se graba en el formato indicado, se realizan las correcciones necesarias y se distribuye a los usuarios
- **Intérprete**, es el responsable de transformar esos datos en información temática en su área de interés, en forma visual o digitalmente con miras a dar respuesta a un problema determinado.
- **Usuario final**, es el encargado de analizar el resultado producto de la interpretación, así como de las aplicaciones que dé él se deriven. (Cabezas Martin, 2020)

Figura 2. Se puede observar los componentes de la teledetección



Fuente: (Chuvienco, 1995)

2.1.4. Imágenes satelitales

Una imagen satelital es una fotografía de la superficie de la Tierra tomada desde el espacio por un satélite artificial. Estas imágenes son útiles para estudiar el clima, la vegetación, la contaminación, la geología, la topografía y la planificación urbana, entre otros. (GEOSOLUTIONS CONSULTING, 2023). Estas imágenes se pueden obtener tanto de sensores activos como pasivos, los primeros ofrecen imágenes de radar y los otros ofrecen imágenes ópticas.

Entre los principales satélites que ofrecen estas imágenes está:

- Sentinel
- Landsat
- Modis
- Aster
- Entre otros

2.1.5 Metodología corine Land Cover

La metodología CORINE Land Cover (CLC) es parte del programa europeo CORINE (Coordinación de Información sobre el Medio Ambiente), que fue iniciado en 1990 por la Comisión Europea. La finalidad de este programa es proporcionar información coherente y comparable relacionada con el medio ambiente a nivel europeo. El CLC es uno de los proyectos más conocidos y utilizados dentro de este programa y se centra específicamente en el seguimiento del uso y la cobertura del suelo.

El objetivo principal de CORINE Land Cover es proporcionar datos de uso y cobertura del suelo que sean consistentes y comparables a lo largo del tiempo y entre los diferentes países europeos. Esto es vital para la planificación ambiental, la

gestión de recursos naturales, el seguimiento del cambio climático y el desarrollo urbano.

La base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a escala 1:100.000. Como principal resultado el país cuenta con la “Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra Metodología CORINE LAND COVER adaptada para Colombia” (Universidad Tecnológica de Pereira , 2018)

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Páramos

Los páramos son un ecosistema de alta montaña donde predominan las comunidades vegetales como pajonales, frailejones, matorrales, prados y chuscales. Se encuentran entre la frontera superior del Bosque Andino y, en algunos casos, la frontera inferior de los glaciares.

2.2.2 Sistema de Información Geográfica

Los sistemas de información geográfica (SIG) son herramientas poderosas para analizar datos espaciales, pero tienen limitaciones en cuanto a análisis complejos y dinámicos. Por otro lado, los modelos de simulación son efectivos para situaciones complejas y cambiantes, pero carecen de las capacidades visuales y de análisis espacial intuitivas que ofrecen los SIG. Al integrar SIG y modelos de simulación en una interfaz gráfica interactiva común, se crean sistemas de información para la planificación y análisis más completos, fáciles de usar y comprender. (Sweeney, 2013)

2.2.3 Sentinel 2 data

La misión Sentinel-2, compuesta por los satélites Sentinel-2^a y Sentinel-2B, es una iniciativa europea diseñada para monitorear vegetación, cobertura terrestre y el medio ambiente. Cada satélite lleva un instrumento multiespectral (MSI) que captura 13 bandas espectrales desde el visible hasta el infrarrojo cercano a lo largo de una franja orbital de 290 km de ancho. La Agencia Espacial Europea (ESA) proporciona acceso gratuito a los productos de nivel 1C (L1C) de Sentinel-2. Estos productos L1C están compuestos por mosaicos de 100 km por 100 km con correcciones radiométricas, geométricas y ortorrectificación aplicadas, y proporcionan datos de reflectancia en la parte superior de la atmósfera (TOA) para los usuarios. (Chen, Yang, Yang, Cermak, & Chen, 2021).

Tabla 1. Tabla de Bandas de Sentinel 2

Sentinel-2 Bands	Central Wavelength [micrometers]	Resolution [meters]
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

Nota: Tabla tomada de (ESA, 2015; Luca Congedo, s.f.)

2.2.4 Imágenes multiespectrales

Una imagen multiespectral consiste en una matriz de datos numéricos organizados en columnas y filas, que representa la intensidad de la energía electromagnética emitida o reflejada por los objetos en la superficie terrestre. (Sánchez & Hernández, 2018)

(Citar abajo, Favoritos)

2.2.5 Coberturas del Suelo

La cobertura suelo principalmente se refiere a observaciones directas de los ecosistemas terrestres, los recursos naturales y los hábitats en la superficie de la Tierra, como ejemplos de cobertura terrestre pueden incluir bosques, humedales, áreas construidas, agua y pastizales, entre otros. (Zhang & Li, 2022)

2.2.6 Clasificación Supervisada

La clasificación semiautomática, también llamada clasificación supervisada, es un método en el procesamiento de imágenes que facilita la identificación de materiales presentes en una imagen basándose en sus firmas espectrales. Aunque hay diferentes algoritmos para llevar a cabo esta clasificación, su objetivo principal es generar un mapa temático que represente la cobertura del terreno (Luca Congedo, s.f.).

2.2.7 Composición de Colores

A menudo, se crea una combinación de tres imágenes monocromáticas individuales, en las que a cada una se le asigna un color específico; esto se denomina compuesto de color y es útil para la interpretación de fotos. Los compuestos de color suelen expresarse como:

“R G B = Br Bg Bb”

Donde: R representa Rojo; G representa Verde; B representa Azul; Br es el número de banda asociado al color Rojo; Bg es el número de banda asociado al color Verde; Bb es el número de banda asociado al color Azul. (Luca Congedo, s.f.)

2.2.8 Mapeo de Cobertura de Suelo

La cobertura terrestre se considera una variable central para comprender el entorno físico y sus interacciones con la actividad antropogénica. El mapeo del uso del suelo y la cobertura terrestre es obligatorio para una amplia gama de propósitos, siendo utilizado como entrada en varios campos científicos y propósitos políticos, que van desde extensiones locales hasta globales. (Fonte, y otros, 2024)

2.2.9 Esri Land Cover

Es un mapa de uso y cobertura del suelo mapeando 10 clases que categoriza 9 tipos de coberturas del suelo para el año 2023, utilizando imágenes del Sentinel-2 con una resolución espacial de 10 metros. Para validar este mapa, se comparó con 409 mosaicos de validación que abarcan áreas de muestra de 5 km × 5 km en todo el mundo, construidos por tres anotadores. Se informó de una precisión general del 86% para el mapa global, y también se proporcionan métricas de precisión para varios países. Este mapa está disponible para su descarga gratuita y se presenta en el sistema de coordenadas UTM. Además, existen versiones desde el 2017 al 2022. (Fonte, y otros, 2024)

2.2.10 Procesamiento de Imágenes

Las imágenes de teledetección pueden ser procesadas de diversas maneras para obtener clasificaciones, índices u otra información derivada que puede ser útil para la caracterización de la cobertura terrestre. Esto incluye técnicas como la

clasificación supervisada o no supervisada, la generación de índices espectrales como el NDVI, y la detección de cambios a lo largo del tiempo mediante la comparación de imágenes de diferentes fechas. (Luca Congedo, s.f.)

2.2.11 Combinación de Bandas

La combinación de bandas permite visualizar elementos específicos en la superficie de la tierra teniendo en cuenta su espectro de emisión. Gracias a la composición de colores las bandas se organizan y nos permitirán interpretar algunos aspectos de la superficie como la vegetación, masas de agua, entre otros. (Caceres, 2021)

2.2.12 Índice de Diferencia de Vegetación Normalizado-NDVI

Es una medida que evalúa la diferencia normalizada entre la reflectancia en el espectro rojo y la reflectancia en el infrarrojo cercano. Este índice proporciona una evaluación de la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación, así como su vigor, especialmente en áreas extensas. (Morales, 2017)

2.2.13 Índice Normalizado de Áreas Quemadas – NBRI

El Índice Normalizado de Áreas Quemadas (NBRI) es una métrica utilizada para estimar la gravedad de los incendios forestales, especialmente en áreas boscosas. Se basa en el análisis de las ondas de infrarrojos y corta las bandas espectrales del infrarrojo cercano, que son sensibles a los cambios en la vegetación. El NBRI se emplea para detectar áreas quemadas y monitorear la recuperación del ecosistema afectado por incendios forestales. (Morales, 2017)

2.2.14 Índice de Diferencia Normalizada de Agua-NDWI

El Índice de Diferencia Normalizada Agua (NDWI) es una métrica numérica derivada de imágenes satelitales ópticas que utiliza las ondas de infrarrojo cercano y corta las bandas espectrales del infrarrojo. La banda espectral del infrarrojo cercano está estrechamente relacionada con cambios en el contenido de agua de la vegetación y la estructura del mesófilo esponjoso en las cubiertas vegetales. La respuesta de esta banda espectral se correlaciona con la estructura interna de la hoja y la materia seca de la hoja, excluyendo el contenido de agua.

El NDWI se utiliza en diversas aplicaciones de teledetección, como la vigilancia de la salud de los cultivos, la cartografía de la tierra y del agua, y la discriminación del agua dentro de cuerpos de agua tanto interiores como marítimos. (Morales, 2017)

2.2.15 Ordenamiento Territorial

El ordenamiento territorial es una herramienta para la planificación y gestión de las entidades territoriales y un proceso de construcción colectiva de país que se lleva a cabo de manera progresiva, gradual y flexible, con responsabilidad fiscal, con el objetivo de lograr una organización política y administrativa adecuada del Estado en el territorio. La concertación de políticas públicas entre la nación y las entidades territoriales se facilitará mediante el ordenamiento territorial, reconociendo la diversidad geográfica, histórica, económica, ambiental, étnica y cultural, así como la identidad regional y nacional. (CongresoCol, 2011)

2.2.16 Esquema Ordenamiento Territorial

EOT facilitará la concertación de políticas públicas entre el país y las entidades territoriales al reconocer la diversidad geográfica, histórica, económica, ambiental, étnica y cultural, así como la identidad regional y nacional. Los municipios con

menos de 30.000 habitantes y con dinámicas significativas de crecimiento urbano podrán implementar Planes Básicos de Ordenamiento Territorial como herramienta para desarrollar el proceso de ordenamiento territorial. (El congreso de Colombia, 1997)

2.3. MARCO LEGAL

Con el propósito de respaldar y regular la investigación sobre el “Land Cover” del páramo de Berlín en Santander, se consideran las siguientes disposiciones legales:

LEY 1930 DE 2018

Esta ley tiene como objetivo principal la protección, conservación y manejo sostenible de los páramos en Colombia, reconociéndolos como ecosistemas estratégicos para la regulación hídrica, la biodiversidad y el bienestar humano.

LEY 1523 DE 2012

Esta ley establece el marco normativo para la gestión del riesgo en el país, promoviendo la prevención, preparación, respuesta y recuperación frente a eventos naturales y antrópicos que puedan poner en peligro la vida, la salud, el ambiente y los bienes de la población.

LEY 99 DE 1993

Esta ley define los principios y criterios para la gestión ambiental en Colombia, con el fin de garantizar el desarrollo sostenible, la protección del medio ambiente, la conservación de la biodiversidad y el uso adecuado de los recursos naturales.

DECRETO 2811 DE 1974

Este decreto establece las normas y directrices para la gestión integral de los páramos en Colombia, incluyendo medidas para la conservación de la flora, la fauna

y los recursos hídricos, así como para la regulación de actividades humanas que puedan afectar estos ecosistemas.

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En esta sección se pueden detallar las herramientas utilizadas para analizar la dinámica de la cobertura vegetal en el Páramo de Berlín, lo cual para ello se utilizó una serie de imágenes satelitales para su posterior procesamiento y post procesamiento.

- Plataforma Esri Land Cover
- Plataforma Data Space Copernicus
- Software Qgis
- Software ArcGIS Pro

3.2. ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA APLICADA

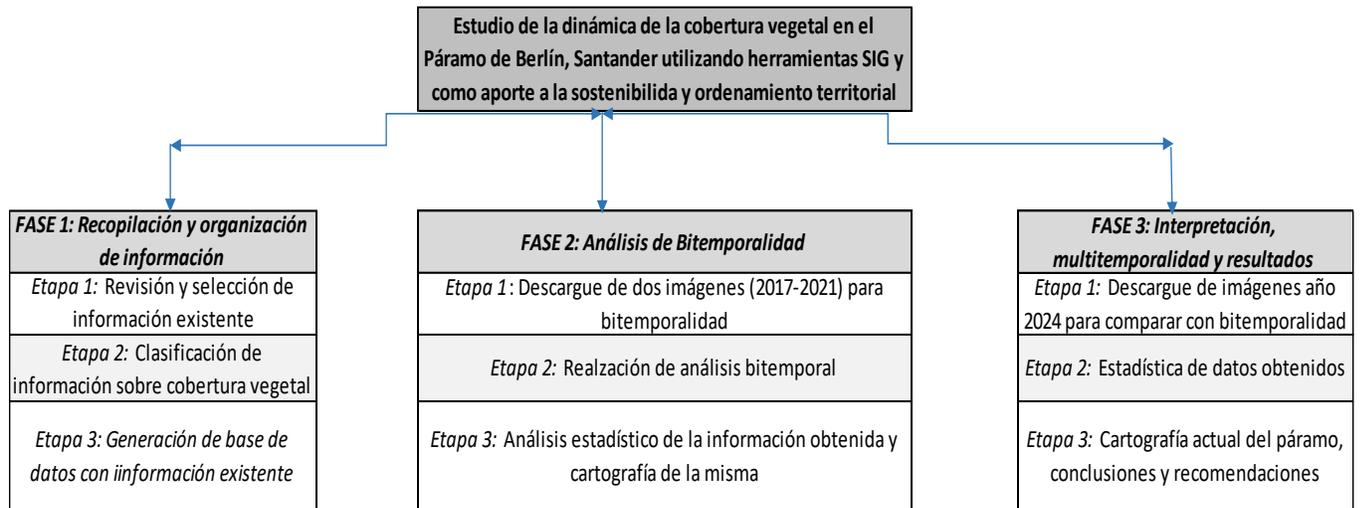
Para desarrollar el proyecto de investigación se tuvieron en cuenta las siguientes fases:

Fase 1: En esta primera fase se hace una recopilación y clasificación de la información para generar una base de datos al respecto e iniciar el análisis de la cobertura vegetal en zonas de páramo como Berlín Santander.

Fase 2: Se realiza un descargue de imágenes satelitales de los años 2017 y 2023 Corine Land Cover para bitemporalidad. Esto se compara con bandas de Sentinel 2 debidamente pre procesadas y donde se analiza el NDVI, NDWI y el NBR para analizar los factores que están provocando el cambio en la cobertura y sus posibles efectos.

Fase 3: Se hace la interpretación de lo anterior y la entrega de resultados, cartografías, recomendaciones y conclusiones respectivas.

Figura 3. Muestra el esquema de la metodología empleada en el proyecto



Fuente: Elaboración propia

En esta sección se pueden detallar las herramientas utilizadas para la estimación de las afectaciones causadas por el incendio forestal, en donde se utilizó una serie de imágenes satelitales para su posterior procesamiento y post procesamiento.

- Plataforma ARCGIS
- Software Qgis
- Software ArcGIS Pro

Se descarga el ráster y se pasa a vectorial.

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

4.1. ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

El municipio de Tona está localizado en la región oriental del departamento de Santander, Colombia. Esta área se caracteriza por su topografía montañosa y su clima frío, condiciones que son representativas de los ecosistemas de páramo. La altitud en Tona varía entre los 2,200 y los 3,600 metros sobre el nivel del mar, abarcando el Páramo de Berlín, una zona ecológicamente significativa y fuente crucial de recursos hídricos para las comunidades circundantes.

El acceso a Tona se facilita a través de la carretera que conecta Bucaramanga con el corregimiento de Berlín. El clima frío de la región, con temperaturas entre 4°C y 16°C y alta humedad, favorece la biodiversidad del páramo. Además, la economía local depende en gran medida de la agricultura y la ganadería, con cultivos predominantes de papa y cebolla.

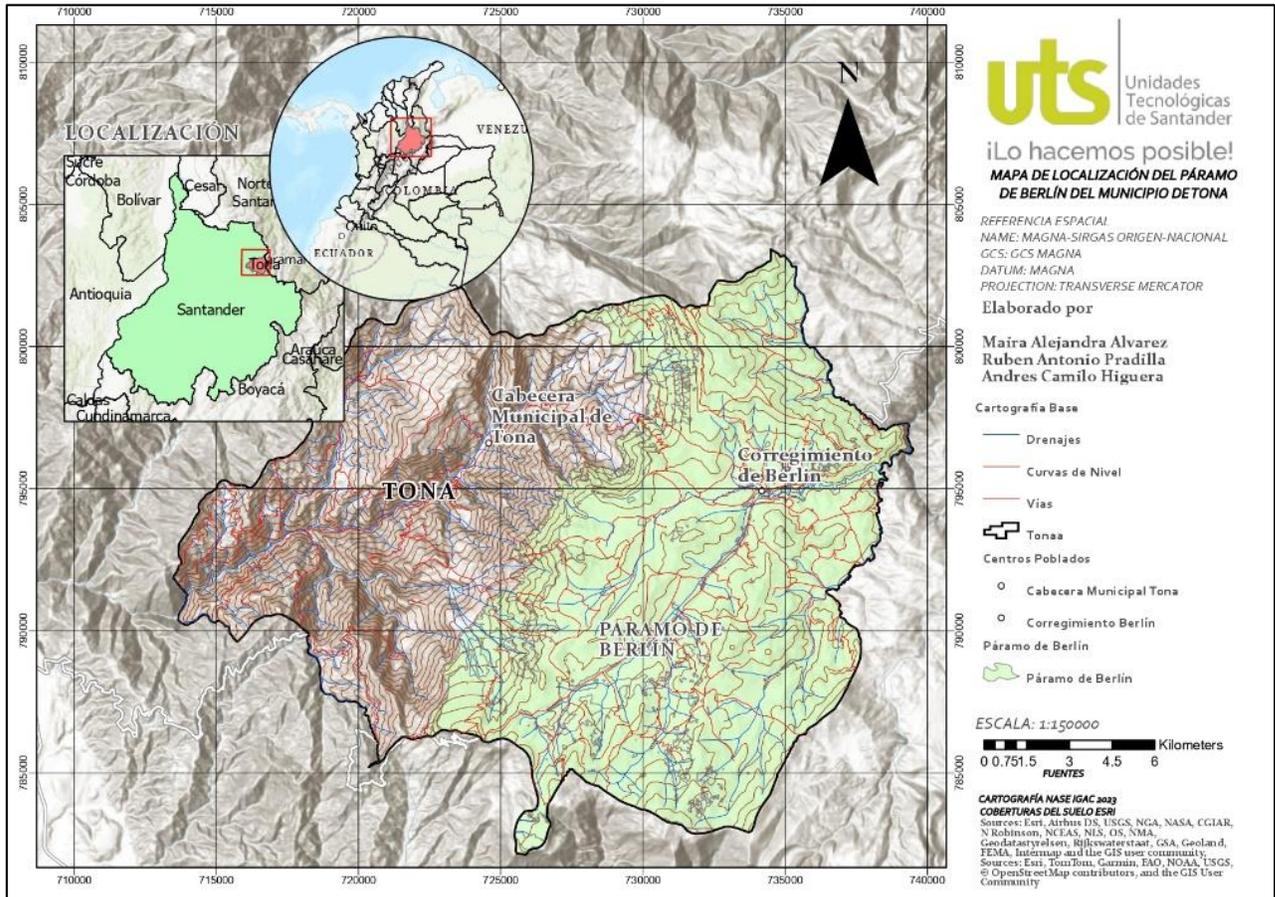
4.1.1 Área de estudio

Para el desarrollo del presente proyecto se tuvo en cuenta toda el área del páramo de Berlín que corresponde al departamento de Santander, donde cubre una extensión significativa en la región, abarcando alrededor de 20,000 hectáreas solo en Santander el cual limita de la siguiente manera:

- ✓ **Al norte:** Limita con los municipios de Vetas y Charta.
- ✓ **Al sur:** Se extiende hacia el municipio de Tona.
- ✓ **Al este:** Se conecta con los municipios de Suratá y Matanza.
- ✓ **Al oeste:** Limita con áreas montañosas que conectan con otros ecosistemas de páramo y bosque altoandino.

A continuación, mapa de localización de la zona de estudio

Figura 4. Mapa de ubicación del municipio de Tona.



Fuente: Elaboración propia.

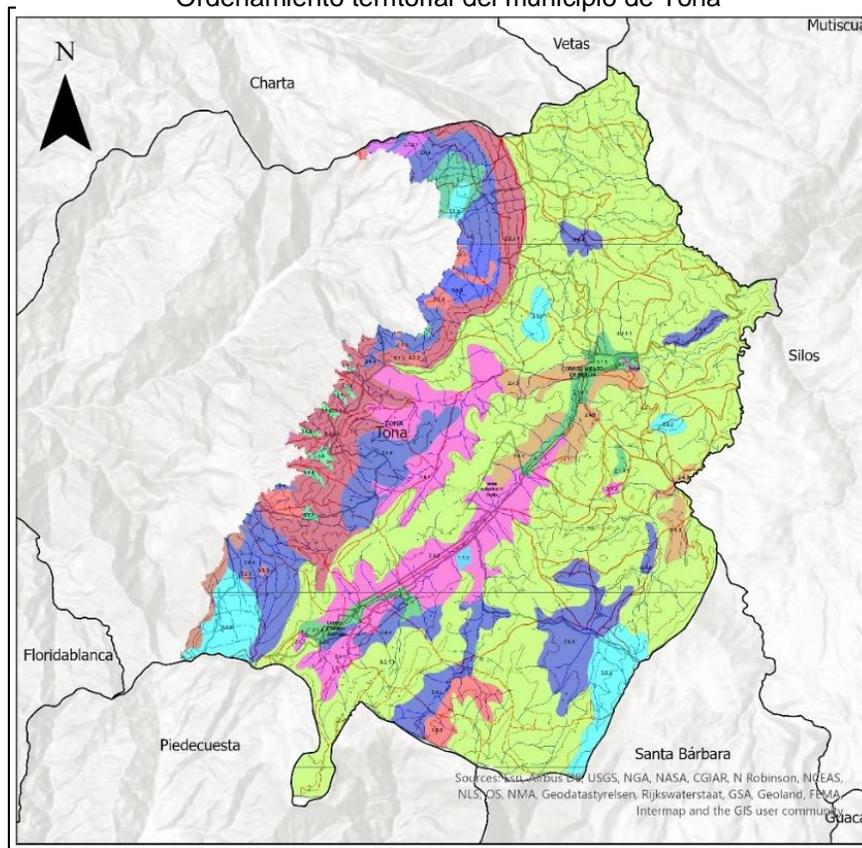
Para realizar el análisis de la dinámica en la cobertura vegetal en el Páramo de Berlín usando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) implica una serie de pasos que van desde la adquisición de datos hasta la interpretación de resultados. A continuación, se detalla el procedimiento paso a paso.

4.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE

Se recopiló y se revisó información previa sobre el uso del suelo de la zona de estudio, como documentos de las instituciones o entidades relevantes, para este caso el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Tona y los datos de Land Use/Land Cover (LULC) de Esri.

A continuación, se observa el mapa que representa gráficamente la distribución y tipo de vegetación y el uso del suelo para esta determinada área

Figura 5. Coberturas del suelo propuesta por el Esquema de Ordenamiento territorial del municipio de Tona



Fuente: Tomado de la cartografía del Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Tona

Según el Esquema del ordenamiento territorial de Tona se encuentran siete coberturas del suelo y son las recomendadas por la metodología Corine Land Cover, descritos a continuación:

Figura 6. Tipos de Uso/Cobertura del Suelo de Tona según EOT

LEYENDA - USO ACTUAL Y COBERTURA		
SIMBOLO	USO PRINCIPAL	T. DE COBERTURA
1.1.1	ZONAS URBANIZADAS	TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS
1.1.2	TEJIDO URBANO DISCONTINUO	
1.2.1	ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES	
2.1.1	CULTIVOS TRANSITORIOS	AGROPECUARIA
2.1.4.1		
2.2.1	CULTIVOS PERMANENTES	
2.3.1	PASTOS LIMPIOS	
2.3.2	PASTOS ARBOLADOS	
2.3.3	PASTOS ENMALEZADOS	
2.4.2	MOSAICO DE PASTOS Y CULTIVOS	
2.4.3	MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES	
2.4.4	MOSAICO DE PASTOS Y ESPACIOS NATURALES	BOSQUES
3.1.1		
3.1.1.1	BOSQUE DENSO ALTO	
3.1.2.1	BOSQUE ABIERTO ALTO	
3.1.4	BOSQUE DE GALERIA O RIPARIO	
3.1.5	PLANTACION FORESTAL	AREAS CON VEGETACION HERBACEA O ARBUSTIVA
3.2.1.1	HERBAZAL DENSO	
3.2.2.1	ARBUSTAL DENSO	AREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACION
3.2.3		
3.3.2	AFLORAMIENTO ROCOSO	
5.1.4	CUERPOS DE AGUA ARTIFICIALIZADOS	SUPERFICIES DE AGUA
ZU	ZONA URBANA	ZONA URBANA

Fuente: Tomado de la cartografía del Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Tona

Como bien se puede identificar en la anterior tabla, se encuentran diferentes tipos de coberturas el cual para la zona comprendida del páramo se identifican 4 tipos principales a las cual tiene por siguiente característica:

Tabla 2. Descripción de los tipos de Uso/Cobertura del Suelo de Tona según EOT

TIPO DE COBERTURAS	
<i>Territorios Artificializados</i>	Estas refieren a lo construido de forma antropogénica, se determinan distintas clases teniendo en cuenta algunas como tejido Urbano, Unidades Industriales.
<i>Agropecuaria</i>	En lo agropecuario según el Eot se encuentran todas las clases que la metodología Corine establece, Cultivo Transitorio y permanentes, pastizales y por último áreas agrícolas heterogéneas.
<i>Bosques y áreas seminaturales</i>	En el Municipio de Tona se encuentra con clases que refieren a la presente cobertura como, los bosques, áreas de vegetación herbácea o Arbustiva, y área con poca o sin vegetación.
<i>Superficies de Agua</i>	Esta refiere a los cuerpos de agua que se encuentran, en el caso de la zona de estudio, tenemos aguas continentales, teniendo en cuentas los cuerpos de agua natural y artificial de agua dulce.

Fuente: Tomado de la cartografía del Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Tona

De las políticas

De acuerdo a las normas que cobijan este EOT del municipio de Tona se establecen algunas políticas para las zonas de paramo, citando textualmente: “Impulsar acciones de protección y conservación del páramo de Santurbán, como Parque de Reserva Natural, para promover el potencial turístico del municipio.”

Además, establecen esta zona de paramo como “*Ecosistema Estratégico*”, por ultimo las según el artículo 58. Estas zonas son consideradas de protección e importancia ambiental, y establecen una reglamentación en el uso del suelo de estas coberturas. (Alcaldía Municipal Tona , 2003)

Usos para la zona de paramos

Las zonas de paramos son de suma importancia a su gran variedad de ecosistemas lo cual tiene gran significado ambiental por su fragilidad y función ecosistémica que

representa no solo para la región, sino que también para todo el departamento, es por esto que se estipula según las normas la reglamentación de sus usos, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 3. Usos en Zona de páramo según EOT Tona

Reglamentación de uso:

Uso Principal	Restauración ecológica para la conservación y protección de los recursos naturales renovables.
Usos Compatibles	Recreación pasiva. Ecoturismo Investigación controlada de los recursos naturales renovables.
Usos Condicionados	Agropecuario tradicional, Ecoturismo y la recreación activa Minería con licencia ambiental actual o en trámite. Aprovechamiento productos no-maderables del bosque natural y de la vegetación de páramo sin cortar los árboles o arbustos. Aprovechamiento productos maderables de bosques plantados con especies introducidas. Vías de comunicación, Captaciones de agua.
Usos Prohibidos	Agropecuario intensivo, caza de fauna silvestre. Forestal productor, Industriales. Urbanos y loteo de parcelaciones. Nuevos desarrollos en minería.

Fuente: Tomado de la cartografía del Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Tona

4.3. RECOLECCIÓN DE DATOS ESPACIALES

Para la búsqueda de imágenes satelitales que se adapten a la investigación se tuvo en cuenta imágenes de sentinel-2 el cual nos proporciona la información respecto a la observación de la vegetación y análisis de la cobertura del suelo para los años 2017 y 2023 la cual se realiza su debido procesamiento en el servidor web [Esri | Sentinel-2 Land Cover Explorer \(arcgis.com\)](https://arcgis.com)

4.3.1 Descarga de imágenes de sentinel-2

En la plataforma Esri | Sentinel-2 Land Cover Explorer se ubica la zona de interés y se tiene en cuenta los años que se desean comparar, como podemos observar en la imagen también se visualiza las capas según las clases del uso del suelo el cual nos proporciona este servidor web para trabajar las diferentes bandas de sentinel

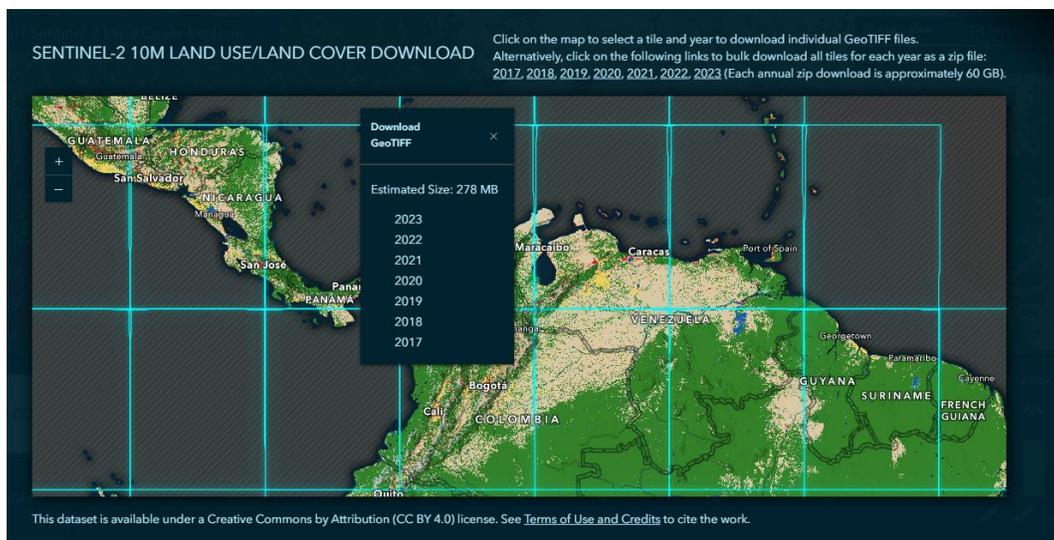
Figura 7. Muestra la plataforma Esri donde se descargan las imágenes satelitales



Fuente: Tomado de la plataforma Esri Sentinel 2 Land Cover

Para descargar las imágenes satelitales se tiene en cuenta en que área de cada mosaico está comprendida la zona, una vez identificada, se procede a descargar para los años 2017 y 2023 en este caso el cual es de nuestro interés, las imágenes se descargan en tipo Geotiff, es decir, tipo ráster.

Figura 8. Muestra la zona de estudio donde se va a descargar la imagen satelital



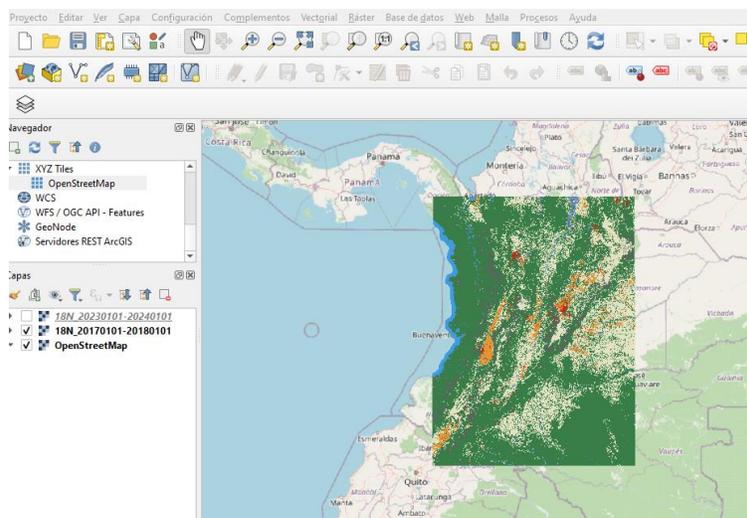
Fuente: Tomado de la plataforma Esri Sentinel 2 Land Cover

4.3.2 Corte del área de estudio y conversión a vectorial

Para el procesamiento y recorte de las imágenes ráster descargadas se visualizan en el software Qgis como se muestran a continuación:

Imagen del 2017

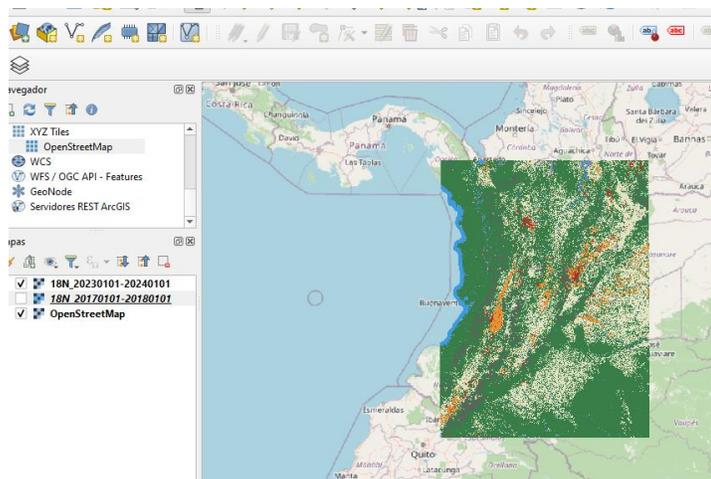
Figura 9. Muestra la interfaz en el software Qgis de la imagen 2017



Fuente: Elaboración propia

Imagen 2023

Figura 10. Muestra la interfaz en el software Qgis de la imagen 2023



Fuente: Elaboración propia

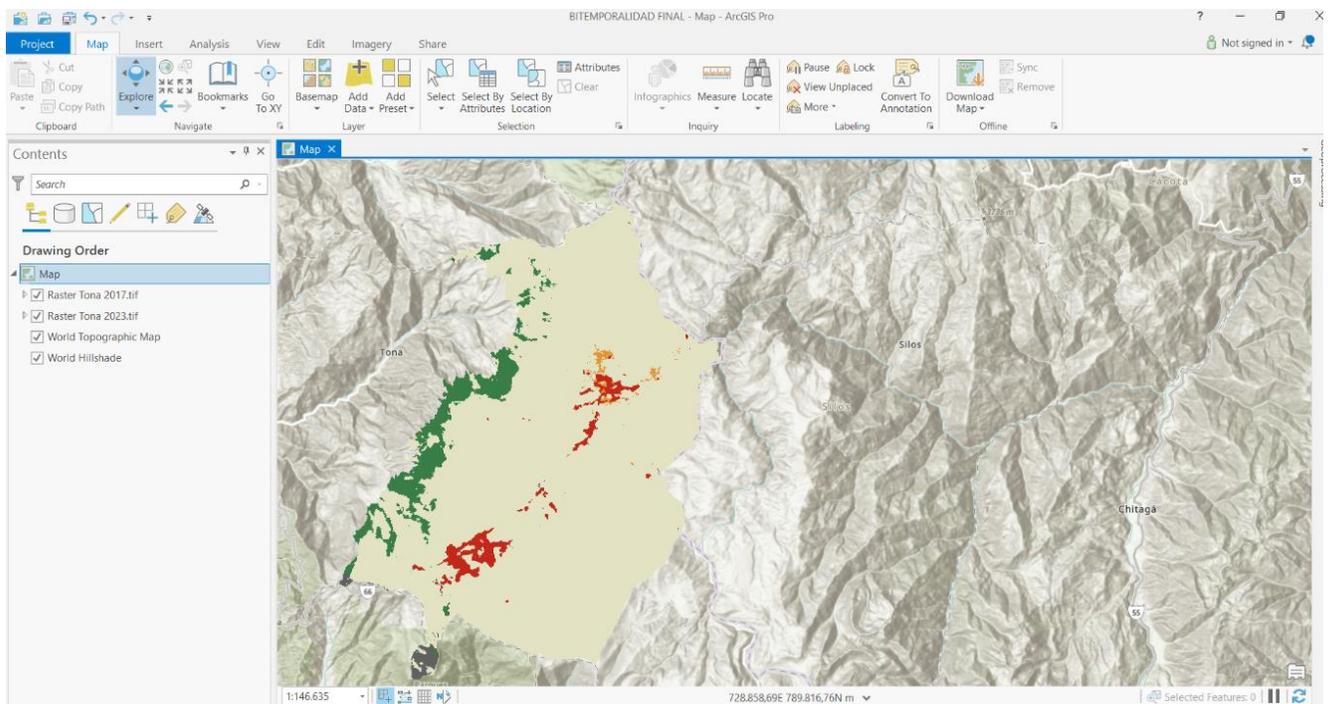
4.4. BITEMPORALIDAD

Para realizar la bitemporalidad se procedió a realizar el proceso en el software ArcGIS PRO teniendo como insumo las dos imágenes ráster del año 2017 y 2023, pero también el Shapefile del páramo de Berlín perteneciente sólo al Departamento de Santander, ubicado en el municipio de Tona.

4.4.1 Corte o extracción del área de estudio

Para realizar la bitemporalidad se descargan los dos ráster del año 2017 y 2023, cuando se obtienen, el siguiente proceso es la extracción o corte de los archivos ráster teniendo en cuenta el archivo shapefile del páramo de Berlín. Para realizar este proceso se hizo en el software Qgis y posteriormente estos ráster cortados se cargan al software ArcGIS PRO, como resultado se puede observar en la siguiente imagen.

Figura 11. Extracción del área de estudio. La figura muestra el corte de las dos imágenes satelitales cargadas en el software ArcGIS PRO

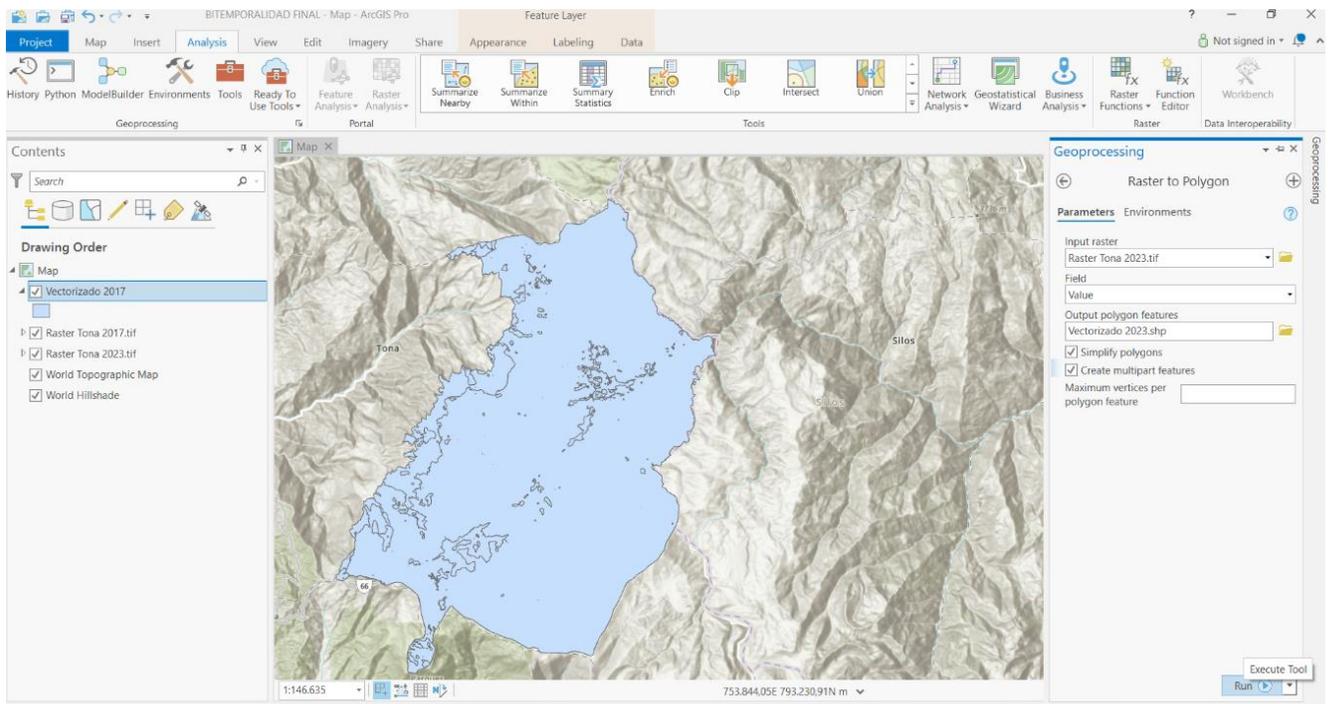


Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Vectorización de las imágenes

Este proceso se realiza con la herramienta Ráster To Polygon de la caja de herramientas de ArcGIS PRO, en donde el objetivo es vectorizar la imagen satelital para posteriormente hacer la intercepción de los dos años.

Figura 12. Vectorización de las imágenes. La figura muestra el proceso de vectorización de cada una de las imágenes satelitales en el software ArcGIS PRO



Fuente: Elaboración propia

4.4.3 Modificación de la tabla de atributos

Aquí lo que se realiza es la modificación de la tabla de atributos para darle nombre a los códigos de gridcode, para poder identificar cada cobertura. Se añade un nuevo campo a la tabla con el nombre de Coberturas y a cada código gridcode se le da su respectivo nombre de cobertura al cual pertenece.

Figura 13. Modificación de la tabla de atributos. La figura muestra el proceso de modificación de la tabla de atributos para enumerar los diferentes códigos gridcode

FID	Shape	Id	gridcode	Coberturas
0	Polygon	1	1	Agua
1	Polygon	2	2	Arboles
2	Polygon	3	5	Cultivos
3	Polygon	4	7	Area construida
4	Polygon	5	8	Suelo desnudo
5	Polygon	6	10	Nubes
6	Polygon	7	11	Pastizales

Fuente: Elaboración propia

4.4.4 Proceso de intersección

Con la herramienta Intersect de análisis de ArcGIS PRO se procede a interceptar o unir las dos capas vectoriales para obtener como resultado el archivo de la bitemporalidad.

Figura 14. Intersección. La figura muestra el proceso de intersección dando como resultado la unión de las dos capas vectoriales en una sola denominada bitemporal. De igual manera muestra la tabla de atributos.

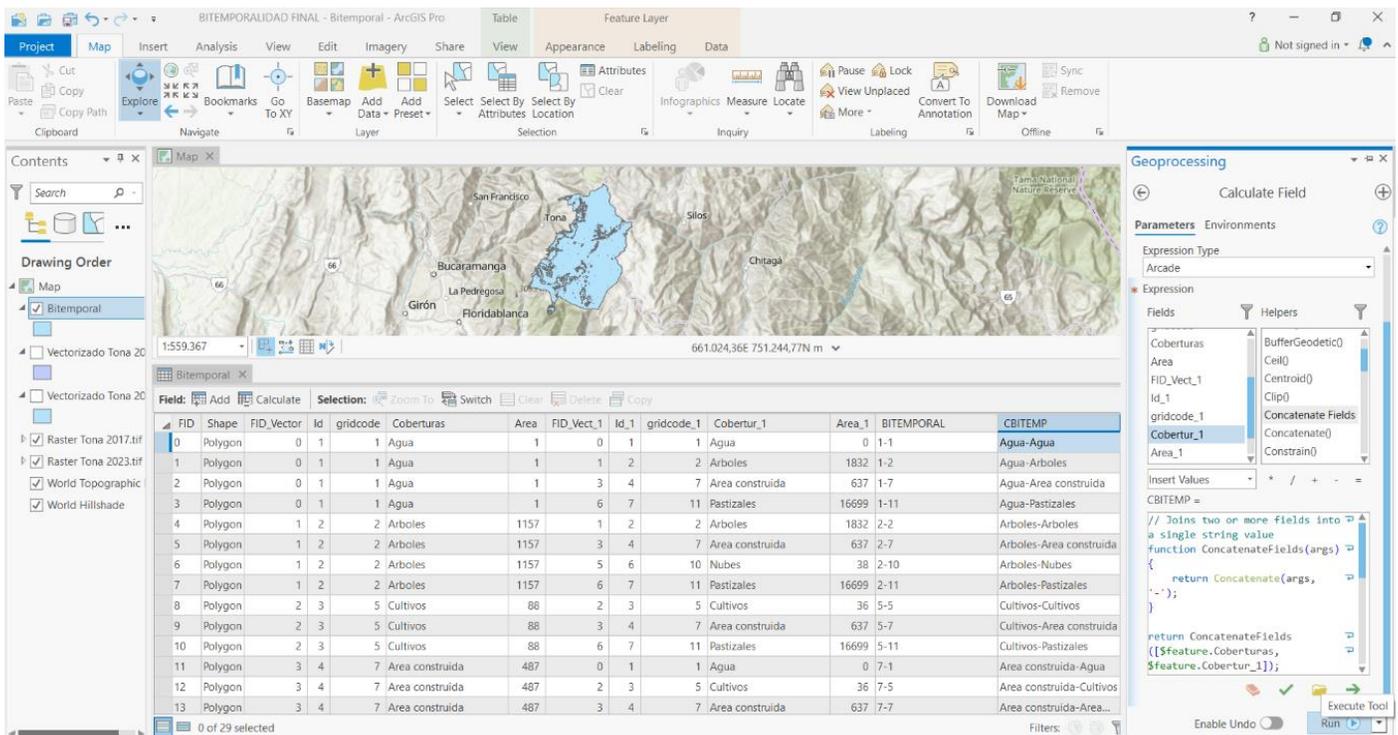
FID	Shape	FID_Vector	Id	gridcode	Coberturas	Area	FID_Vect_1	Id_1	gridcode_1	Cobertur_1	Area_1
0	Polygon	0	1	1	Agua	1	0	1	1	Agua	0
1	Polygon	0	1	1	Agua	1	1	2	2	Arboles	1832
2	Polygon	0	1	1	Agua	1	3	4	7	Area construida	637
3	Polygon	0	1	1	Agua	1	6	7	11	Pastizales	16099
4	Polygon	1	2	2	Arboles	1157	1	2	2	Arboles	1832
5	Polygon	1	2	2	Arboles	3157	3	4	7	Area construida	637
6	Polygon	1	2	2	Arboles	3157	5	6	10	Nubes	36
7	Polygon	1	2	2	Arboles	1157	6	7	11	Pastizales	16099
8	Polygon	2	3	5	Cultivos	88	2	3	5	Cultivos	36
9	Polygon	2	3	5	Cultivos	88	3	4	7	Area construida	637
10	Polygon	2	3	5	Cultivos	88	6	7	11	Pastizales	16099
11	Polygon	3	4	7	Area construida	487	0	1	1	Agua	0
12	Polygon	3	4	7	Area construida	487	2	3	5	Cultivos	36
13	Polygon	3	4	7	Area construida	487	3	4	7	Area construida	637

Fuente: Elaboración propia

4.4.5 Unión de coberturas

Se procede a añadir un nuevo campo en la tabla de atributos de la capa Bitemporal denominada BITEMPORAL, para poder así unir las dos coberturas. Para ello, se unen los campos correspondientes a las coberturas, es decir, se concatenan utilizando el código y algoritmo adecuado.

Figura 15. Unión de coberturas. La figura muestra el proceso de unión de las coberturas utilizando el algoritmo correspondiente, y allí se puede observar de manera detallada en la tabla de atributos el cambio de una cobertura a otra.



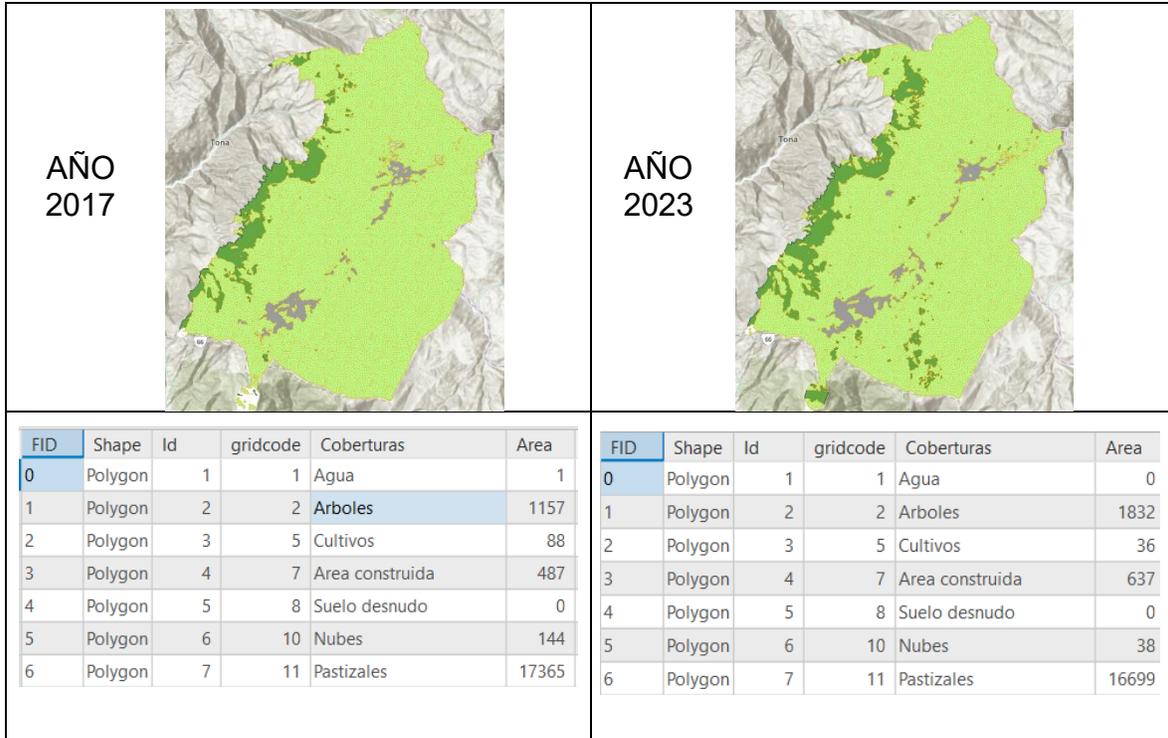
Fuente: Elaboración propia

4.4.6 Comparación año 2017 y 2023

Teniendo generada la cartografía del año 2017 y 2023 por medio de la bitemporalidad se puede verificar cuales fueron los diferentes cambios de un año al

otro y así deducir que factores han ocasionado estas variaciones, ya sea por eventos naturales o antrópicos teniendo en cuenta la comparación de los años de estudio como se muestra a continuación:

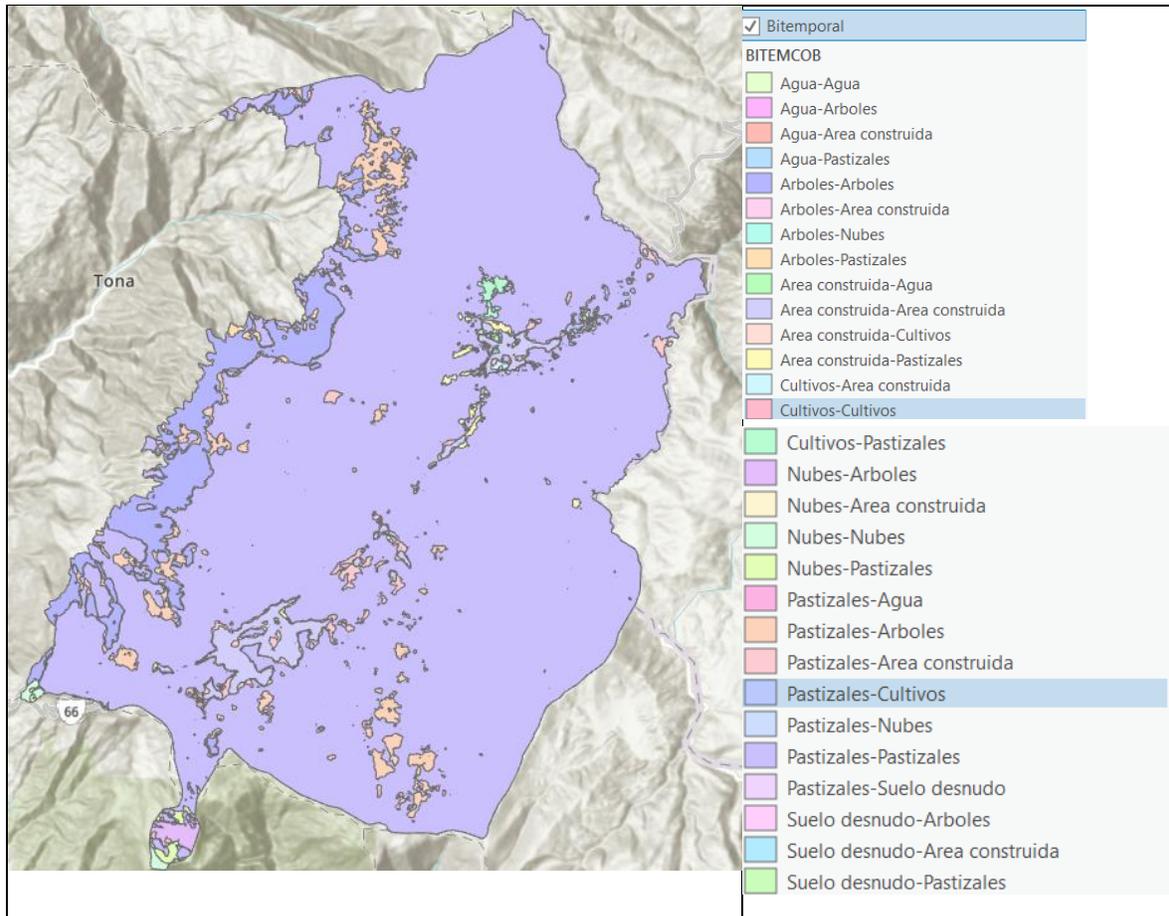
Figura 16. Comparación de coberturas



Fuente: Elaboración propia

4.4.7 Unión de capas

Figura 17. Muestra la unión de las dos capas



Fuente: Elaboración propia

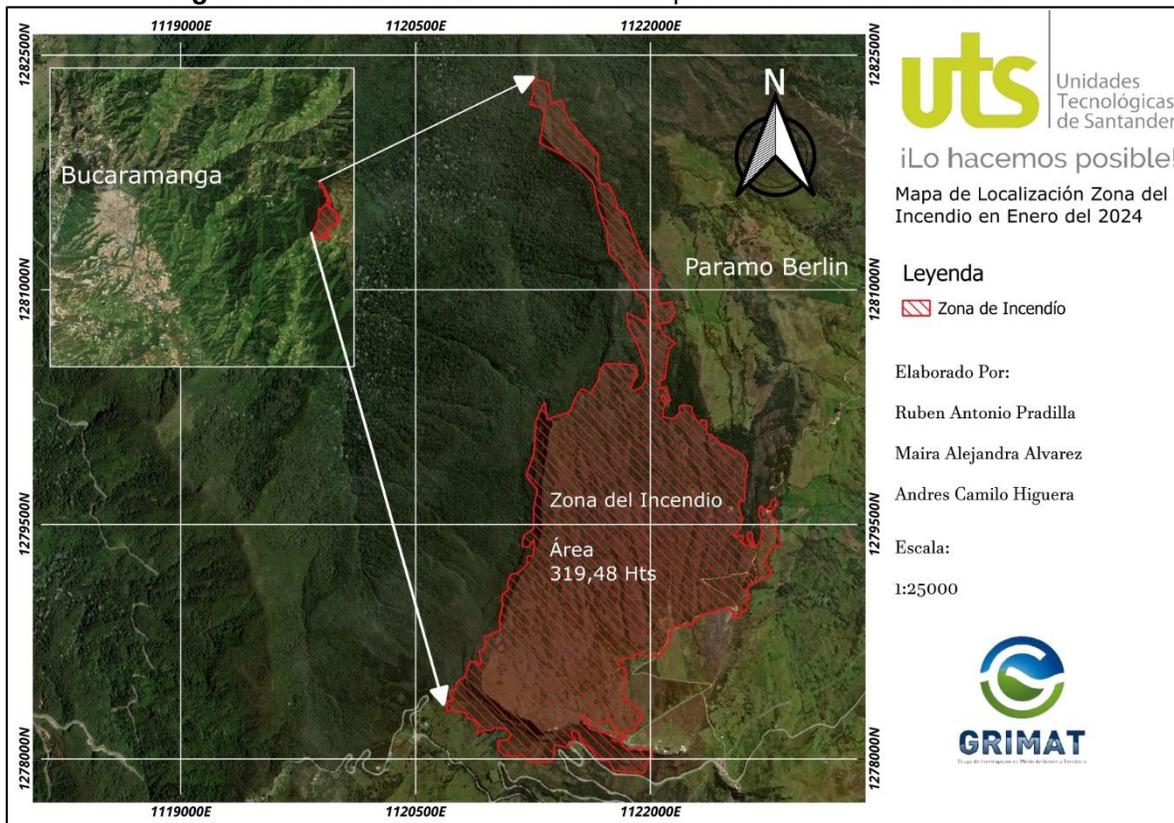
4.5 BITEMPORALIDAD DE INCENDIO FORESTAR EN EL PÁRAMO DE BERLÍN

En cuanto al descargue de información sobre el incendio ocurrido en el páramo de Berlín a principios de este año, se usó la plataforma de Google Earth Engine, así mismo, los índices requeridos para así realizar una comparación en su cobertura del suelo.

4.5.1 Localización del incendio

La zona de estudio se encuentra en el departamento de Santander, Colombia, específicamente en el páramo de Berlín, situada al este de Bucaramanga, aproximadamente a 35-40 km de distancia. Esta área se localiza al este de la Ruta 66, que conecta Bucaramanga con el páramo, en torno a las coordenadas 7.3000 N y -72.8000 W. La región es montañosa y forma parte de los ecosistemas de páramo, conocidos por su alta biodiversidad y su importancia como fuentes de agua, y está adyacente al Parque Naturales Regionales Cerro La Judía, que es una referencia importante dentro del páramo, como se puede observar en la siguiente imagen.

Figura 18. Localización Zona del Incendio producido en enero del 2024



Fuente: Elaboración Propia

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder proceso Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

4.5.2 Cambios en la cobertura vegetal

Una vez definida la ubicación y la zona de estudio, es necesario analizar los cambios en la cobertura vegetal utilizando los correspondientes índices de vegetación. Estos índices se obtienen de la plataforma en línea de Google Earth Engine, empleando datos de la colección Sentinel. Para ello, se seleccionaron tres fechas clave: el 18 de enero de 2024, cinco días antes del incidente, el 25 de enero de 2024, durante el evento y finalmente el 12 de abril después del Evento.

4.5.3 Scripts utilizados

Para llevar a cabo este análisis, es fundamental considerar los scripts utilizados para cada índice que se va a emplear. En esta investigación se analizarán tres índices principales: el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI), el Índice Normalizado de Zonas Quemadas (NBRI) y el Índice de Diferencia Normalizado de Agua (NDWI), como se observa a continuación:

Tabla 4. Muestra la descripción de cada uno de los índices espectrales

Categoría	Descripción	Valores/Reemplazos
Colección de Datos	Colección de imágenes Sentinel-2	"COPERNICUS/S2_SR"
Fechas	Rango de fechas para la colección de imágenes	Reemplazar con las fechas deseadas ('YYYY-MM-DD')
Filtro de Nubes	Filtrado por porcentaje de nubes	Reemplazar con el porcentaje máximo permitido
Cálculo Media	Media de las imágenes seleccionadas	ColecciónSentinel.mean()
Expresión Índice	Expresión matemática para calcular el índice	$(BX - BY) / (BY - BX)$
Banda BX	Banda seleccionada para la operación	Reemplazar 'XX' por la banda correspondiente (e.g., 'B4')

Banda BY	Banda seleccionada para la operación	Reemplazar 'XX' por la banda correspondiente (e.g., 'B3')
Simbología	Configuración de la visualización del índice	{min: -1, max: 1, palette: [paleta de colores]}
Paleta de Colores	Colores para la visualización del índice	#0000ff, DF923D, F1B555, FCD163, 99B718, 74A901, etc.
Capa en Mapa	Adición de la capa de índice al mapa	Map.addLayer(NDVI, Simbologia, 'NDVI')
Centro del Mapa	Ajuste de la vista del mapa a la región de interés	Reemplazar LONGITUDE, LATITUDE y ZOOM_LEVEL según interés

Fuente: Elaboración propia

4.5.4 Detalle por índice

Para diferentes índices, se deben reemplazar las bandas (BX, BY) y la paleta de colores según las características del índice específico.

- **NDVI (Índice de Vegetación Normalizado)**

Bandas: B4 (rojo) y B8 (infrarrojo cercano)

Expresión: $(B8 - B4) / (B8 + B4)$

Paleta de Colores: ['#0000ff', 'DF923D', 'F1B555', 'FCD163', '99B718', '74A901', '66A000', '529400', '3E8601', '207401', '056201', '004C00', '023B01', '012E01', '011D01', '011301']

- **NBRI (Índice Normalizado de Zonas Quemadas)**

Bandas: B12 (infrarrojo de onda corta) y B8 (infrarrojo cercano)

Expresión: $(B12 - B8) / (B12 + B8)$

Paleta de Colores: ['#d73027', '#fc8d59', '#fee08b', '#d9ef8b', '#91cf60', '#1a9850']

Teniendo esto en cuenta, Se usa el script para cada tipo de índices anteriormente mencionados.

Figura 19. Script NDVI Utilizado en Google Earth Engine

```

NDVI
Get Link Save Run Reset Apps
1 var ColeccionSentinel = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR")
2   .filterDate ('2024-01-25' , '2024-01-27')
3   .filterMetadata ('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'Less_Than', 20);
4 var Vegetacion = ee.Image(ColeccionSentinel.mean());
5 var NDVI = Vegetacion.expression ('float ((NIR - RED) / (NIR + RED))',{
6   'NIR': Vegetacion.select ('B8'),
7   'RED': Vegetacion.select ('B4')});
8 var Simbologia = {max: 1, min: -1,
9   palette: ['#0000ff', 'DF923D', 'F1B555',
10  'FCD163', '99B718', '74A901', '66A000', '529400', '3E8601', '207401',
11  '056201', '004C00', '023B01', '012E01', '011D01', '011301']};
12 Map.addLayer (NDVI, Simbologia, 'NDVI',0);
13
14

```

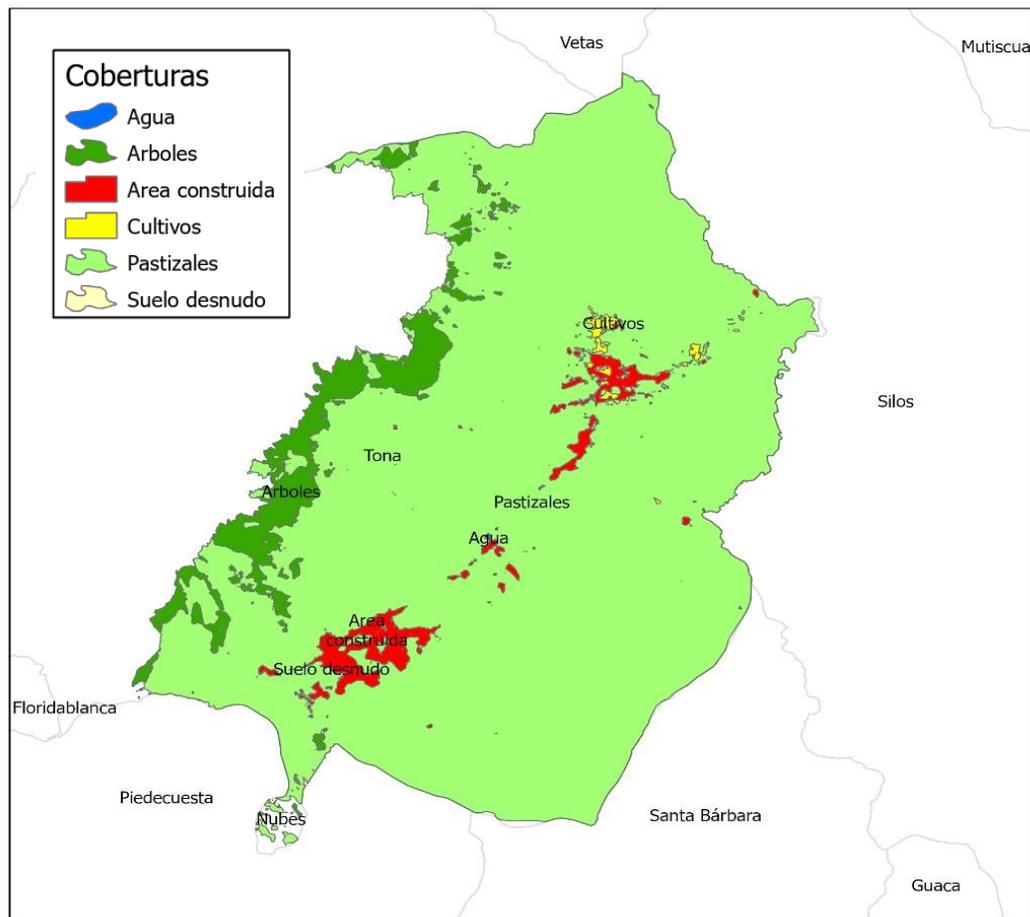
Fuente: Tomado de Google Earth Engine

5. RESULTADOS

5.1. COBERTURA DE SUELOS AÑO 2017

Al realizar la clasificación en categorías específicas utilizando software de Sistemas de Información Geográfica (SIG), y asegurando tanto la precisión como la correcta georreferenciación, se identificaron los siguientes seis tipos de cobertura del suelo en el municipio de Tona.

Figura 20. Cobertura de Suelos Páramo de Berlín Año 2017



Fuente: Elaboración propia

Donde en la siguiente tabla se explica a qué se refiere cada uno

Tabla 5. Muestra la descripción de cada una de las coberturas y sus ejemplos

Categoría de Cobertura	Descripción	Ejemplos
Agua	Áreas donde el agua estuvo predominantemente presente durante todo el año; puede no cubrir áreas con agua esporádica o efímera; contiene poca o ninguna vegetación dispersa, sin afloramientos rocosos ni estructuras construidas como muelles.	Ríos, estanques, lagos, océanos, llanuras salinas inundadas.
Árboles	Cualquier agrupación significativa de vegetación alta (~15 pies o más) y densa, típicamente con un dosel cerrado o denso.	Vegetación boscosa, agrupaciones de vegetación alta y densa en sabanas, plantaciones, pantanos, manglares.
Cultivos	Cereales, pastos y cultivos plantados por humanos que no alcanzan la altura de un árbol.	Maíz, trigo, soja, parcelas en barbecho de tierras estructuradas.
Área construida	Estructuras hechas por humanos; redes principales de carreteras y ferrocarriles; grandes superficies impermeables homogéneas, incluyendo estructuras de estacionamiento, edificios de oficinas y viviendas residenciales.	Casas, pueblos/ciudades densas, carreteras pavimentadas, asfalto.
Terreno desnudo	Áreas de roca o suelo con muy poca o ninguna vegetación durante todo el año; grandes áreas de arena y desiertos con poca o ninguna vegetación.	Roca o suelo expuesto, desiertos y dunas de arena, salinas/panales secos, lechos de lagos secos, minas.
Pastizales	Áreas abiertas cubiertas de pastos homogéneos con poca o ninguna vegetación alta; cereales y pastos silvestres sin evidente planificación humana (es decir, no es un campo planificado).	Praderas naturales y campos con escasa o ninguna cobertura arbórea.

Fuente: Elaboración propia. Nota: información tomada del EOT del municipio de Tona

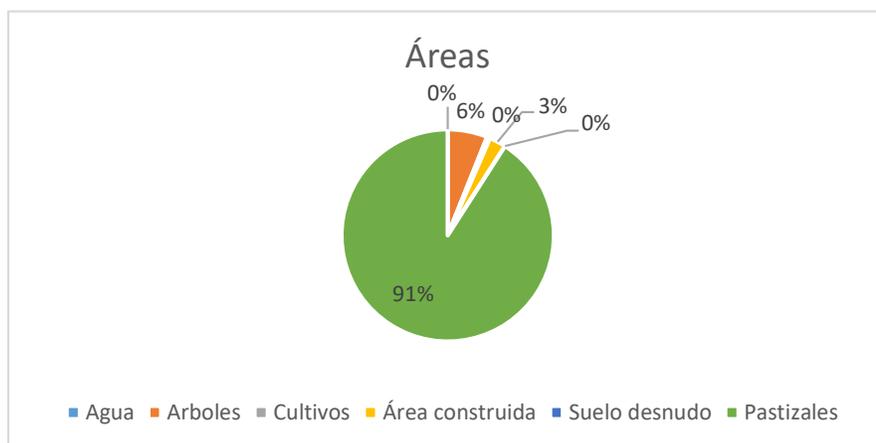
La zona de estudio cuenta con un área aproximada de 19098.43 hectáreas las cuales se encuentran distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 6. Muestra el área de cada una de las coberturas para el año 2017

Áreas de Coberturas año 2017				
Coberturas	Código	Área (Metros Cuadrados)	Área (Hectáreas)	Área (Porcentaje)
Agua	1	14468	1.45	0.01%
Arboles	2	11566603	1156.66	6%
Cultivos	5	882725	88.27	0.5%
Área construida	7	4871963	487.20	3%
Suelo desnudo	8	2178	0.22	0.001%
Pastizales	11	173646382	17364.64	91%
Coberturas	Σ	190984319	19098.43	100%

Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Gráfico áreas de coberturas para el año 2017

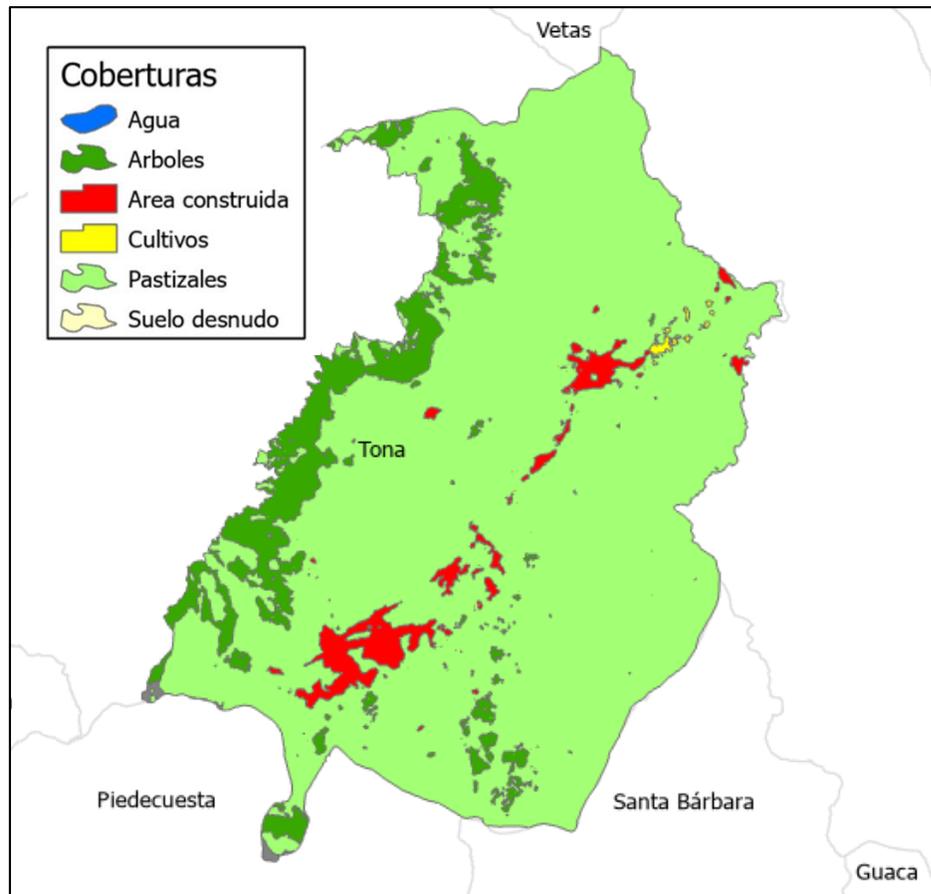


Fuente: Elaboración propia

5.2. COBERTURA DE SUELOS AÑO 2023

En este caso la distribución de las áreas son las siguientes:

Figura 22. Cobertura de Suelos Páramo de Berlín Año 2023



Fuente: Elaboración propia

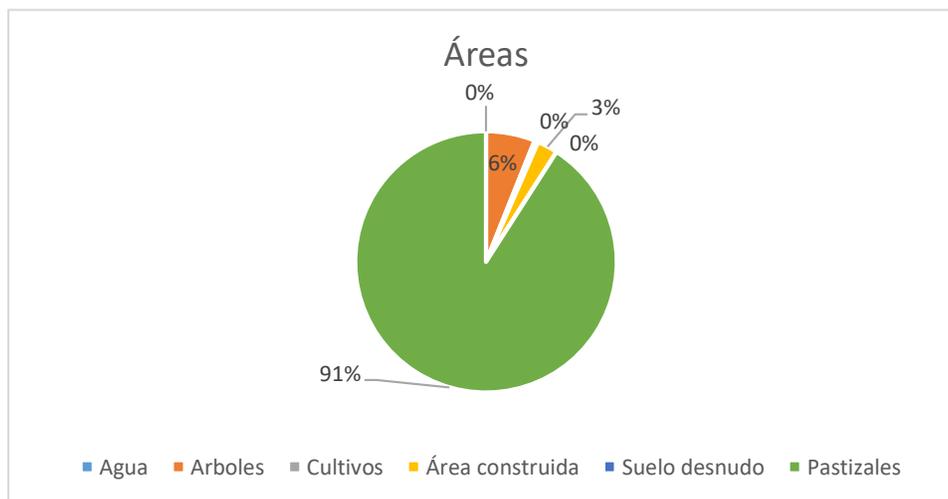
Tabla 7. Muestra el área de cada una de las coberturas para el año 2023

Áreas de Coberturas año 2023				
Coberturas	Código	Área (Metros Cuadrados)	Área (Hectáreas)	Área (Porcentaje)
Agua	1	2953	0.30	0.002%
Arboles	2	18317038	1831.70	9.54%
Cultivos	5	363490	36.35	0.19%
Área construida	7	6365639	636.56	3.31%
Suelo desnudo	8	1735	0.17	0.001%
Pastizales	11	166992630	16699.26	86.96%
Coberturas	∑	192043485	19204.35	100%

Fuente: Elaboración propia

Gráfico áreas de coberturas para el año 2023

Figura 23. Gráfico áreas de coberturas para el año 2023

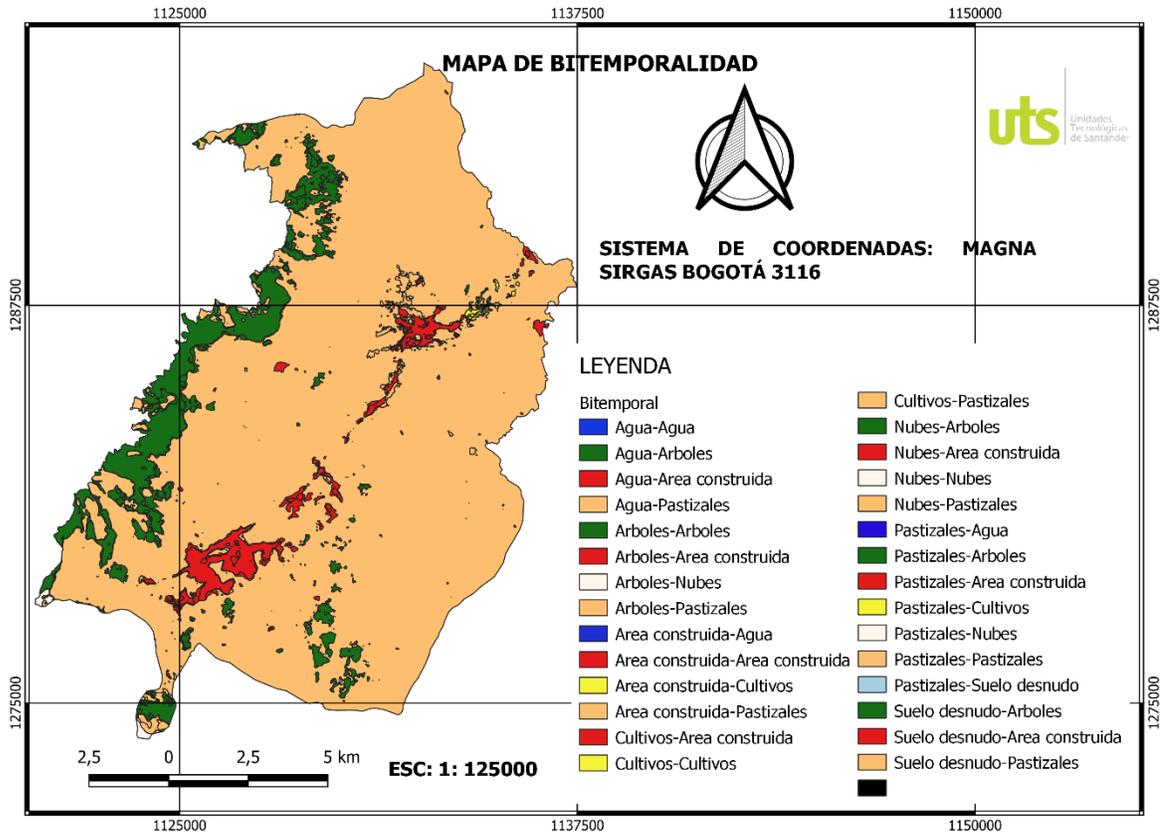


Fuente: Elaboración propia

5.3 BITEMPORALIDAD

En el mapa de bitemporalidad se puede observar la intercepción de los dos mapas tanto del año 2017 como el año 2023 en donde se puede visualizar que se presentaron cambios significativos en las coberturas, dentro de las cuales se puede resaltar de cultivos a áreas construidas y eso se debe a que muchas personas han llegado a esta zona y por lo tanto han construido nuevas viviendas. Otro cambio es el de suelo desnudo a árboles y eso ha generado mayor arborización en la zona.

Figura 24. Bitemporalidad 2017-2023



Fuente: Elaboración propia

La imagen anterior muestra los diferentes cambios en las coberturas vegetales, y se pueden diferenciar por los colores que están estandarizados por ESRI para las coberturas a nivel mundial, siendo representado con el color al cambio que se presentó en la cobertura.

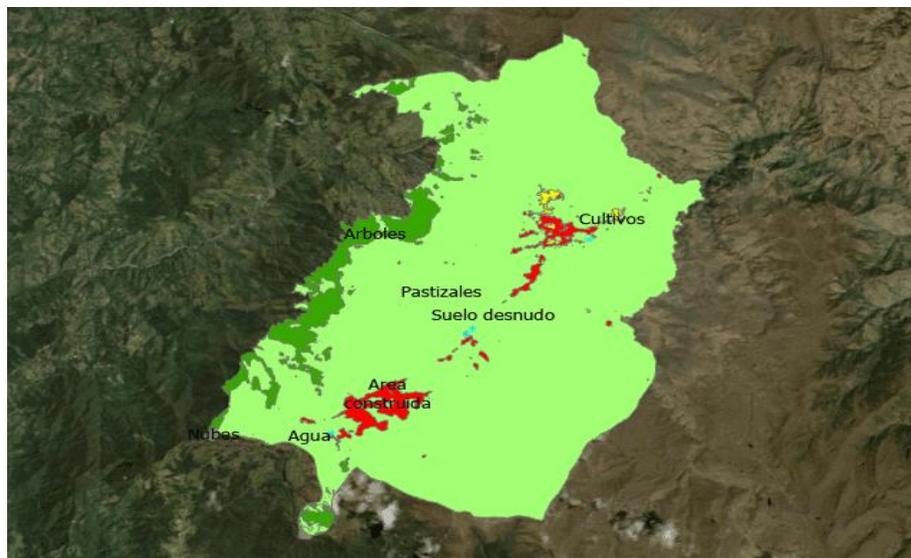
Tabla 8. Muestra la tabla con los diferentes valores de las coberturas

FID	Shape	FID_Vector	Id	gridcode	Coberturas	Area	FID_Vect_1	Id_1	gridcode_1	Cobertura_1	Area_1	Bitemporal	BITEMCOB
0	Polygon	0	1	1	Agua	0	0	1	1	Agua	0	1-1	Agua-Agua
1	Polygon	0	1	1	Agua	0	1	2	2	Arboles	18	1-2	Agua-Arboles
2	Polygon	0	1	1	Agua	0	3	4	7	Area construida	6	1-7	Agua-Area construida
3	Polygon	0	1	1	Agua	0	6	7	11	Pastizales	167	1-11	Agua-Pastizales
4	Polygon	1	2	2	Arboles	12	1	2	2	Arboles	18	2-2	Arboles-Arboles
5	Polygon	1	2	2	Arboles	12	3	4	7	Area construida	6	2-7	Arboles-Area construida
6	Polygon	1	2	2	Arboles	12	5	6	10	Nubes	0	2-10	Arboles-Nubes
7	Polygon	1	2	2	Arboles	12	6	7	11	Pastizales	167	2-11	Arboles-Pastizales
8	Polygon	2	3	5	Cultivos	1	2	3	5	Cultivos	0	5-5	Cultivos-Cultivos
9	Polygon	2	3	5	Cultivos	1	3	4	7	Area construida	6	5-7	Cultivos-Area construida
10	Polygon	2	3	5	Cultivos	1	6	7	11	Pastizales	167	5-11	Cultivos-Pastizales
11	Polygon	3	4	7	Area construida	5	0	1	1	Agua	0	7-1	Area construida-Agua
12	Polygon	3	4	7	Area construida	5	2	3	5	Cultivos	0	7-5	Area construida-Cultivos
13	Polygon	3	4	7	Area construida	5	3	4	7	Area construida	6	7-7	Area construida-Area...
14	Polygon	3	4	7	Area construida	5	6	7	11	Pastizales	167	7-11	Area construida-Pastiz...
15	Polygon	4	5	8	Suelo desnudo	0	1	2	2	Arboles	18	8-2	Suelo desnudo-Arboles
16	Polygon	4	5	8	Suelo desnudo	0	3	4	7	Area construida	6	8-7	Suelo desnudo-Area c...
17	Polygon	4	5	8	Suelo desnudo	0	6	7	11	Pastizales	167	8-11	Suelo desnudo-Pastiza...
18	Polygon	5	6	10	Nubes	1	1	2	2	Arboles	18	10-2	Nubes-Arboles
19	Polygon	5	6	10	Nubes	1	3	4	7	Area construida	6	10-7	Nubes-Area construida
20	Polygon	5	6	10	Nubes	1	5	6	10	Nubes	0	10-10	Nubes-Nubes
21	Polygon	5	6	10	Nubes	1	6	7	11	Pastizales	167	10-11	Nubes-Pastizales
22	Polygon	6	7	11	Pastizales	174	0	1	1	Agua	0	11-1	Pastizales-Agua
23	Polygon	6	7	11	Pastizales	174	1	2	2	Arboles	18	11-2	Pastizales-Arboles
24	Polygon	6	7	11	Pastizales	174	2	3	5	Cultivos	0	11-5	Pastizales-Cultivos
25	Polygon	6	7	11	Pastizales	174	3	4	7	Area construida	6	11-7	Pastizales-Area constr...
26	Polygon	6	7	11	Pastizales	174	4	5	8	Suelo desnudo	0	11-8	Pastizales-Suelo desnu...
27	Polygon	6	7	11	Pastizales	174	5	6	10	Nubes	0	11-10	Pastizales-Nubes
28	Polygon	6	7	11	Pastizales	174	6	7	11	Pastizales	167	11-11	Pastizales-Pastizales

Fuente: Elaboración propia

De una manera más dinámica se presenta el resultado de la bitemporalidad de las coberturas

Figura 25. Gif animado del cambio de las coberturas



Fuente: Elaboración propia

5.3.1 Transformación de las coberturas del suelo

Se evidencia la transformación de las coberturas del suelo a lo largo del tiempo, desde el año 2017 al 2023.

Tabla 9. Muestra el área de cambio de las coberturas año 2017-2023

Áreas de cambio 2017-2023				
Coberturas	Código	Área (Metros Cuadrados)	Área (Hectáreas)	Área cambio (Porcentaje)
Agua	1	11515	1.15	0.01%
Arboles	2	6750435	675.04	3.48%
Cultivos	5	519235	51.92	0.27%
Área construida	7	1493676	149.37	0.76%
Suelo desnudo	8	443	0.04	0.00%
Pastizales	11	6653752	665.38	3.97%
Coberturas	Σ	15429056	1542.91	8%
	Disminución			
	Aumento			

Fuente: Elaboración propia

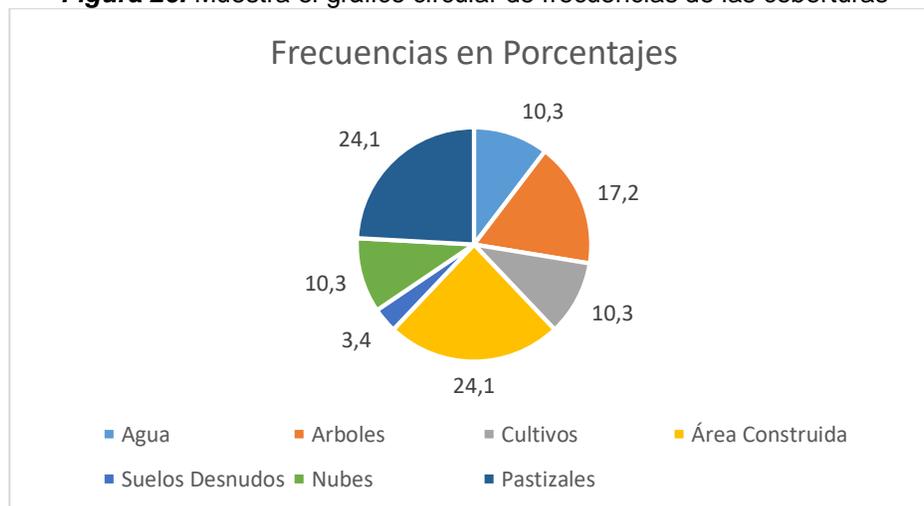
Para un análisis más profundo evidenciaremos cual fue la cobertura que más cambio, o cual fue la tendencia de esta en estos años.

Tabla 10. Tabla que representa las coberturas a las que se cambiaron las del año 2017, esto quiere decir que para el 2023 varias zonas de coberturas se transformaron en las que encontramos en la tabla anteriormente presentada. Realizo con IMB SPSS.

Tabla de Frecuencia de Coberturas del año 2017 al 2023					
	Cobertura	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Agua	3	10,3	10,3	10,3
	Arboles	5	17,2	17,2	27,6
	Cultivos	3	10,3	10,3	37,9
	Área Construida	7	24,1	24,1	62,1
	Suelos Desnudos	1	3,4	3,4	65,5
	Nubes	3	10,3	10,3	75,9
	Pastizales	7	24,1	24,1	100,0
	Total		29	100,0	100,0

Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Muestra el gráfico circular de frecuencias de las coberturas



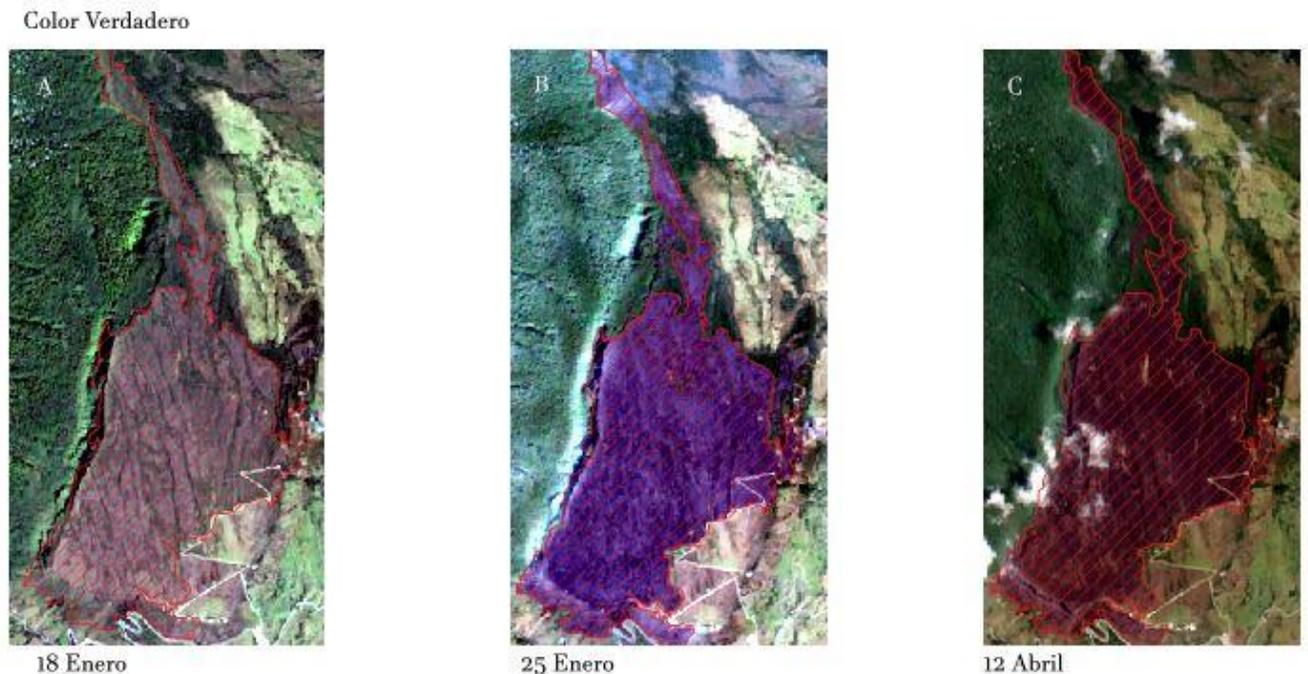
Fuente: Elaboración propia

A pesar del constante desarrollo humano, no es la única manera en que las coberturas del suelo cambien, en este caso, un desastre natural como antropogénico pueden provocar cambios en esta cobertura de manera radical, para este estudio tomamos un incendio que aconteció en el páramo de Berlín el 23 de enero del 2024, estudiaremos las afectaciones y el cambio que represento en la cobertura del Suelo.

5.4. BITEMPORALIDAD INCENDIO FORESTAL EN EL PÁRAMO DE BERLÍN

Se identificaron las diferencias de manera visual mediante la comparación de tres imágenes satelitales correspondientes a las fechas previamente mencionadas, el 18 y el 25 de enero y el 12 de abril, respectivamente.

Figura 27. Recomposición de bandas True Color



Nota: A. Zona delimitada antes del Incendio, B. Zona delimitada durante el incendio, C. Zona delimitada después del incendio; Fuente: Elaboración Propia

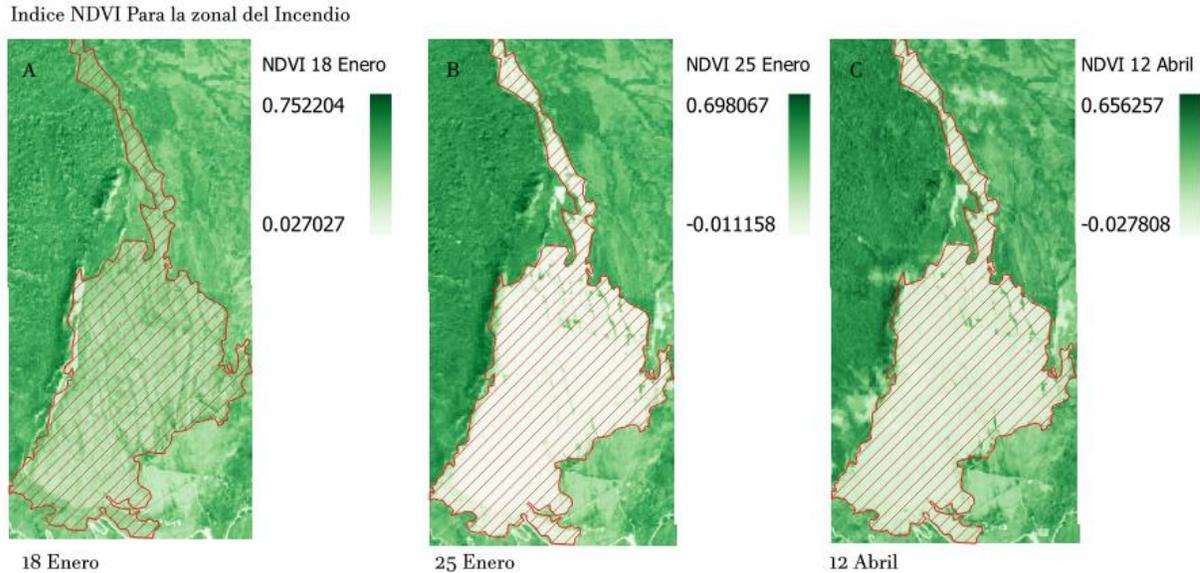
La imagen A muestra una densa vegetación verde antes del incendio, evidenciando un ecosistema saludable. La imagen B, tomada durante el incendio, revela una pérdida considerable de vegetación, con áreas quemadas visibles y una notable reducción de la vegetación verde. La imagen C, que captura el área después del incendio, muestra signos de recuperación con la reaparición de vegetación verde, aunque las áreas afectadas por el incendio aún no han vuelto a su estado original.

El impacto del incendio es evidente en la comparación entre las imágenes A y B, donde se observa una drástica disminución de la vegetación. La imagen C sugiere que la vegetación comienza a recuperarse, pero la recuperación no es completa a corto plazo, indicando efectos duraderos del incendio. Este análisis visual destaca la importancia de monitorear continuamente las áreas afectadas por incendios para evaluar la recuperación a largo plazo y gestionar eficazmente la restauración de los ecosistemas dañados.

Para finalmente evidenciar el cambio que para el año 2023 tenía en la zona, se realizara a priori una comparación entre los índices de NDVI y NBRI, Para la zona del incendio en los tres momentos, el antes, durante y el después, de igual forma que se hizo con el "True Color".

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Figura 28. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

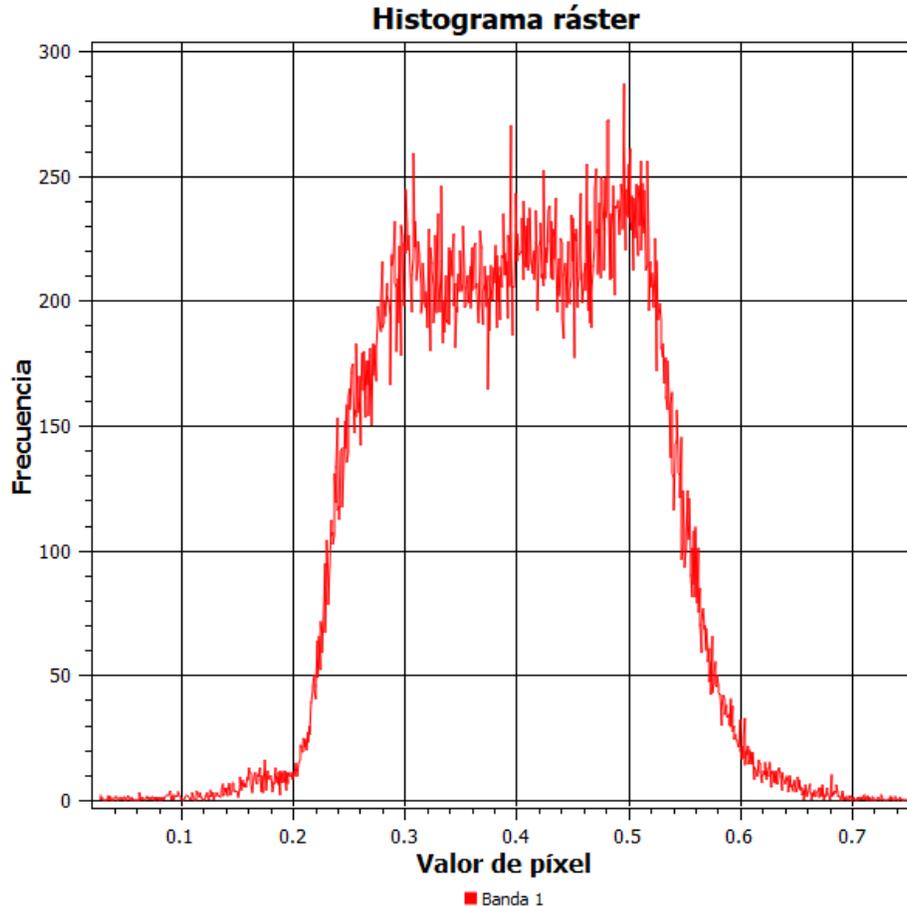


Nota: A. NDVI antes del incendio, B. NDVI Durante el Incendio, C. NDVI Después del Incendio.

La comparación de las imágenes de NDVI antes, durante y después del incendio muestra claramente el impacto del incendio y el proceso de recuperación de la vegetación en la zona encerrada por el polígono rojo. Antes del incendio, la vegetación era densa y saludable, como se indica por los altos valores de NDVI y el color verde oscuro predominante. Durante el incendio, la vegetación fue severamente afectada, lo que se refleja en los valores NDVI bajos y los colores más claros dentro del polígono. Después del incendio, hay una recuperación parcial, con un aumento en los valores NDVI y la reaparición de verde, aunque la vegetación no ha vuelto completamente a su estado original. Este análisis subraya la necesidad de un monitoreo continuo para evaluar completamente la recuperación de la vegetación y planificar intervenciones de restauración adecuadas.

Histograma de Frecuencias

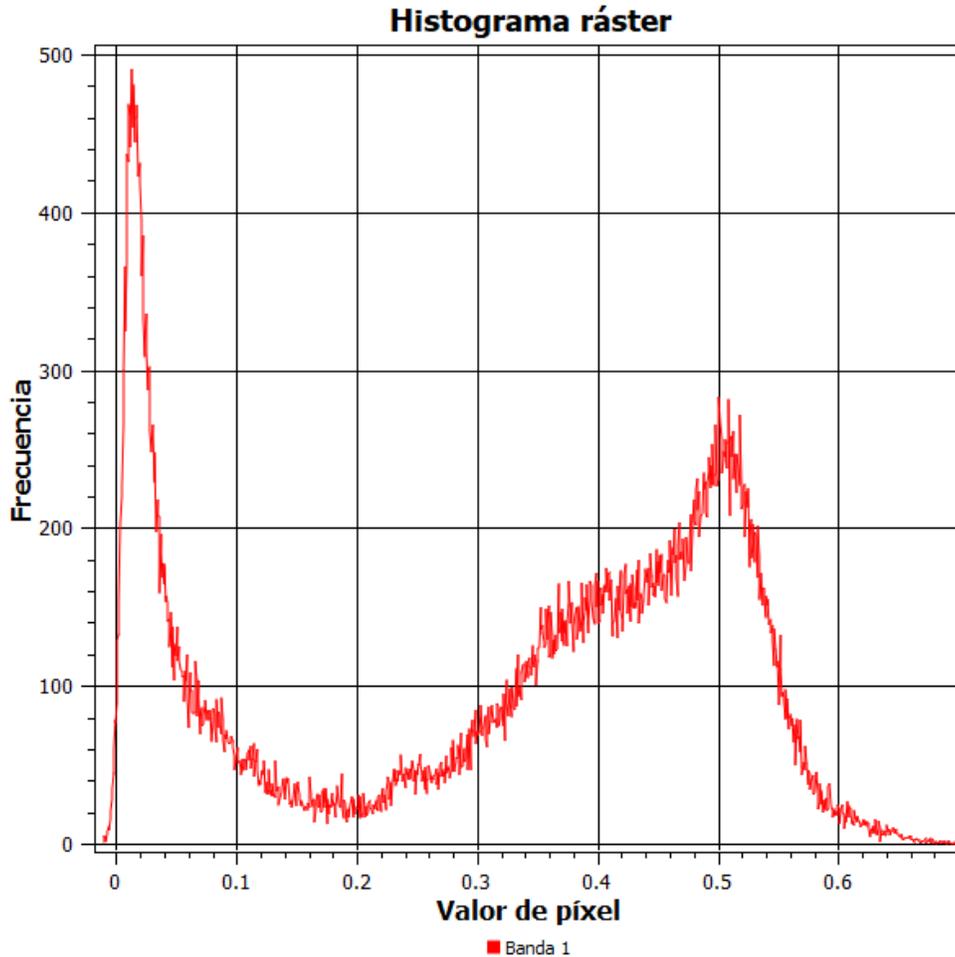
Figura 29. Histograma NDVI, 18 de enero



Fuente: Elaboración Propia (Qgis)

El histograma de frecuencia confirma lo que se mencionó anteriormente para el 18 de enero días antes del incendio se contaba con una vegetación “Sana” para un ecosistema como lo es un páramo, teniendo más predominancia los valores cercanos a 0 en la zona de estudio, lo cual indica pastizales o vegetación no densa o en su defecto suelos desnudos.

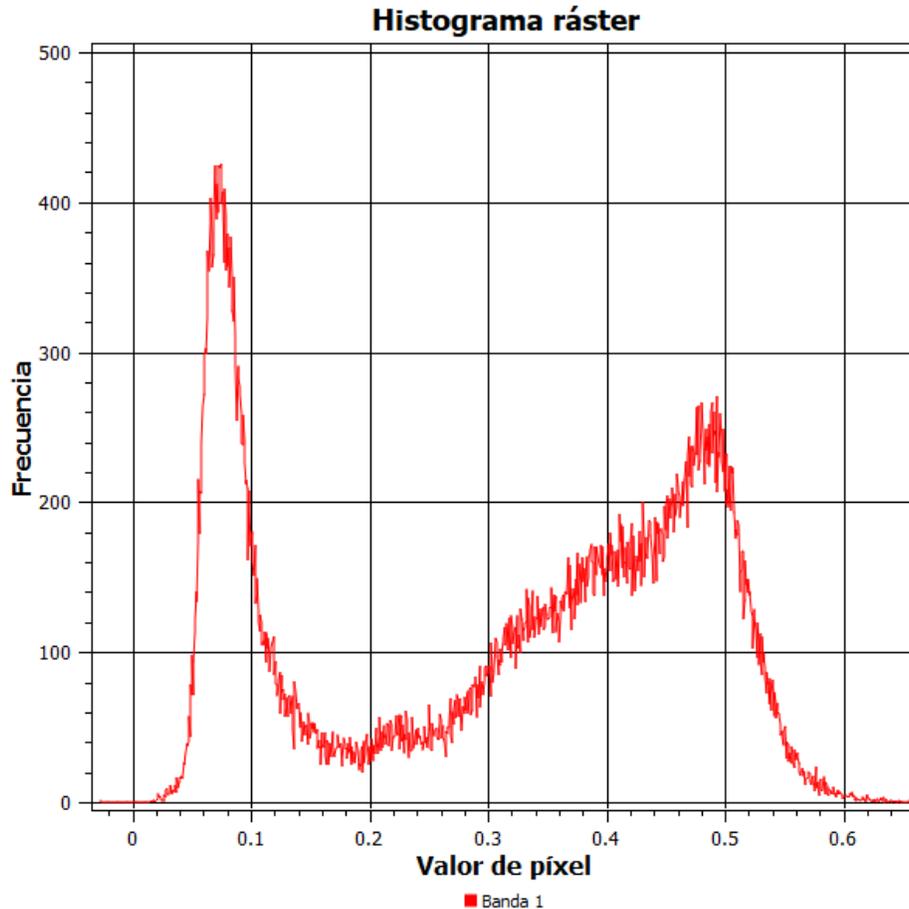
Figura 30. Histograma NDVI, 25 de enero



Fuente: Elaboración Propia (Qgis)

Para el 25 de Enero se evidencia un pico anómalo en la frecuencia en valores significativamente próximos a 0, lo que nos permitió concluir que, ya no se considera como vegetación poco densa, ya directamente se considera suelo desnudo en este caso.

Figura 31. Histograma NDVI, 12 de abril

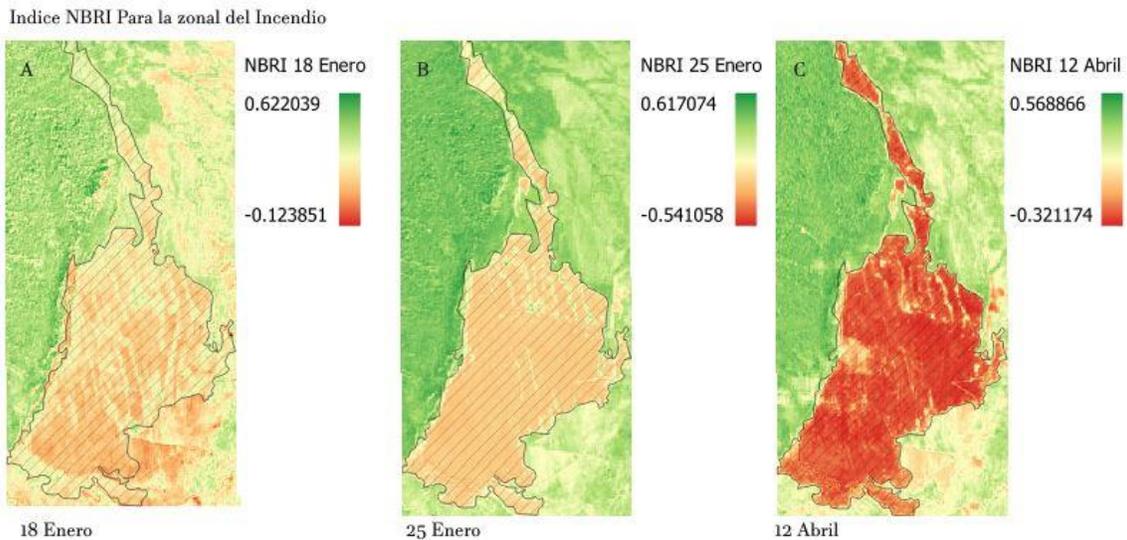


Fuente: Elaboración Propia (Qgis)

Los valores del 12 de abril, a diferencia del 25 de enero es que el punto máximo del pico es menor, lo que nos confirma una lenta recuperación de la cobertura vegetal en la zona, y además también los valores se han alejado solo un poco del 0, esto significa que si hay una mejoras en la vegetación pero que de igual manera siempre es una recuperación de manera lenta.

Índice Normalizado de Áreas Quemadas – NBRI

Figura 32. Índice normalizado de áreas quemadas NBRI



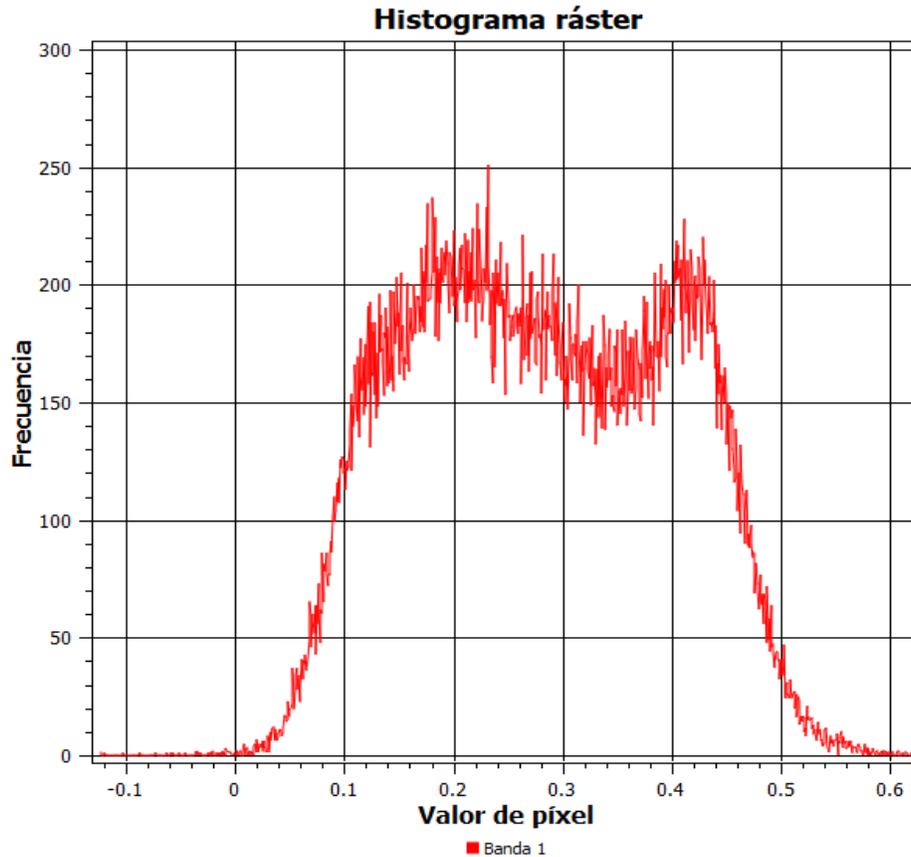
Nota: A. NBRI antes del incendio, B. NBRI Durante el Incendio, C. NBRI Después del Incendio

Antes del incendio, la vegetación estaba en su estado típico, con valores de NBRI que reflejan una combinación de vegetación baja y suelos desnudos. Durante el incendio, hubo una afectación severa de los frailejones y pastizales, lo que se refleja en la disminución significativa de los valores de NBRI y la aparición de tonos amarillos y naranjas.

Después del incendio, la recuperación de la vegetación es limitada, con predominancia de tonos rojos que indican áreas aún muy afectadas. Los valores negativos de NBRI sugieren que los frailejones y los pastizales no han vuelto a su estado original, y muchas áreas permanecen sin recuperación significativa.

Histogramas de Frecuencias

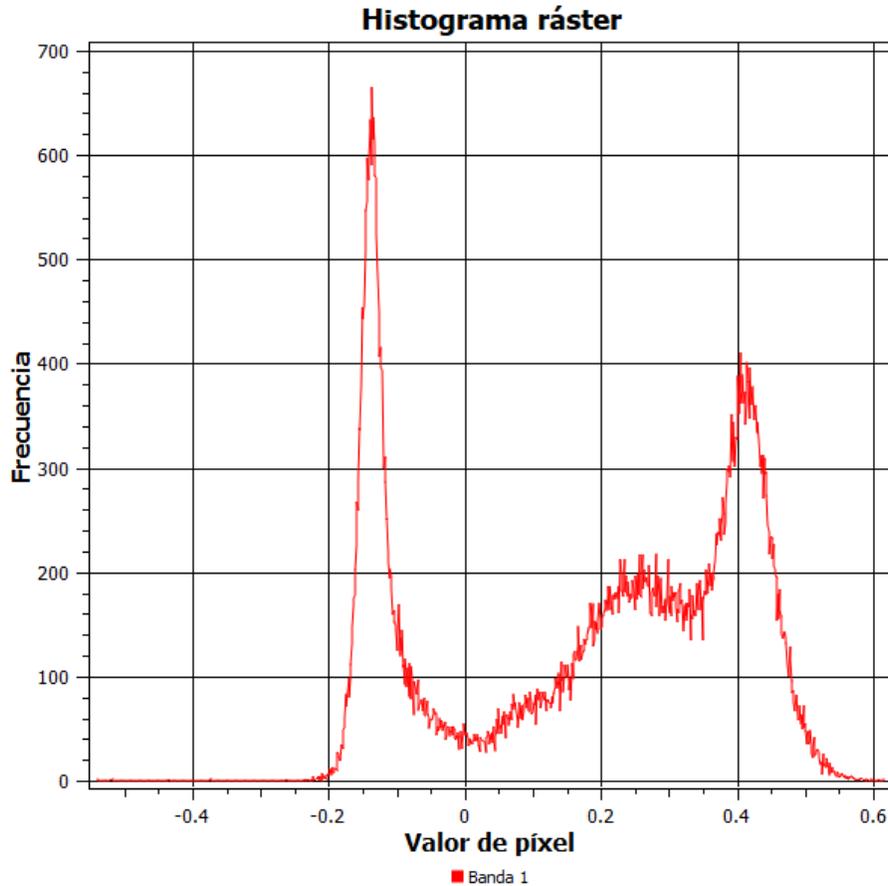
Figura 33. Histograma NBRI, 18 de enero



Fuente: Elaboración Propia (Qgis)

Para el 18 de Enero se puede evidenciar que la mayoría de valores se encuentran entre 0 y 0.5, lo cual quiere decir que la zona no ha experimentado incendios o en su defecto, la vegetación es sana.

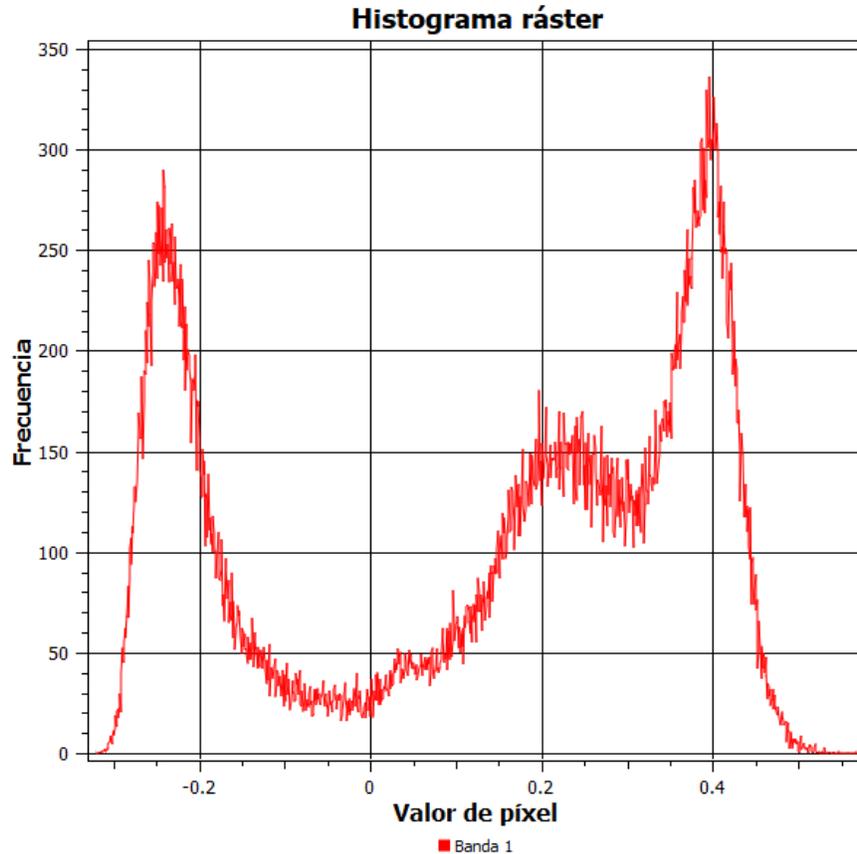
Figura 34. Histograma NBRI, 25 de enero



Fuente: Elaboración Propia (Qgis)

Un comportamiento idéntico al NDVI, se forma una anomalía en los valores de la zona, dando a entender que hubo una gran porción de superficie que se afectó a causa del incendio producido días atrás en esa zona.

Figura 35. Histograma NBRI, 25 de enero

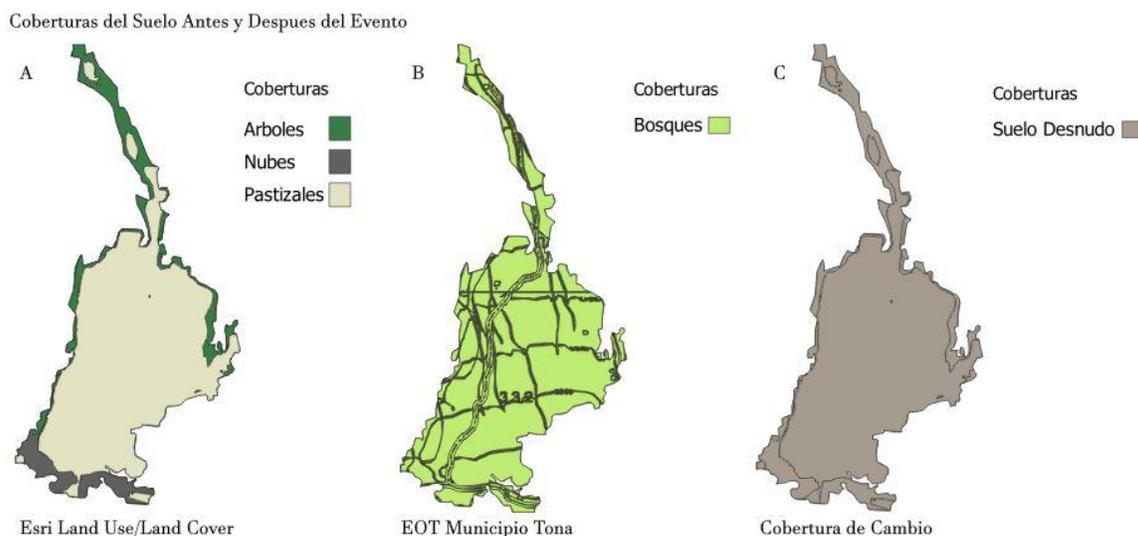


Fuente: Elaboración Propia (Qgis)

Por Ultimo se recompone el pico que fue provocado por el incendio disminuyendo a un máximo de 250-300 más o menos, siendo esto buenas noticias, puesto que, representa en la disminución de zonas afectadas por el incendio.

Teniendo en cuenta todo lo explicado y anteriormente mencionado, se decidió adjudicar una nueva clasificación a la zona de estudio, formara parte de “Suelos Desnudos” usando la nomenclatura de Esri Land Use/Land Cover; Para la clasificación de Corine Land Cover usado por el Esquema de Ordenamiento territorial del municipio de Tona, esta zona hacia parte de la cobertura de Bosques, y para el ya mencionado Esri, La zona cubría dos Coberturas, Arboles y Pastizales.

Figura 35. Coberturas del suelo de la zona de estudio



Nota: A. Land Use/Land Cover de Esri Antes del Incendio; B. Corine Land Cover Usado en el EOT de Tona para el año 2015; C. Land Use/Land Cover de Esri Propuesta por Autores.

El área de la zona de incendio es de Aproximadamente 319 Hectáreas, por lo tanto, se realiza un ajuste de las áreas en las coberturas, y por tanto las áreas de las coberturas para el año 2024 sería la siguiente.

Tabla 11. Tabla que representa las áreas de cada cobertura presente en el área de estudio

Áreas de Coberturas año 2024

Coberturas	Código	Área (Metros Cuadrados)	Área (Hectáreas)	Área (Porcentaje)
Agua	1	2953	0.30	0.002%
Arboles	2	18229781.8	1822.98	9.493%
Cultivos	5	363490	36.35	0.189%
Área construida	7	6365639	636.56	3.315%
Suelo desnudo	8	3196617.31	319.66	1.665%
Pastizales	11	163885004	16388.50	85.337%
Coberturas	Σ	192043485	19204.35	100%

Fuente: Elaboración propia

F-DC-125

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO**

VERSIÓN: 2.0

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder proceso Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

6. CONCLUSIONES

- En conclusión, respecto al impacto del incendio se observó una significativa recuperación de las áreas afectadas por el incendio. Esto es evidente al notar que la cobertura de árboles y pastizales, que fueron las más afectadas, han mostrado una recuperación considerable, reduciendo la extensión de las zonas afectadas y aumentando la cobertura vegetal en general. Esta recuperación es crucial para la estabilidad ecológica y la biodiversidad de la región.
- Respecto a la eficiencia de las técnicas de teledetección y el uso de imágenes satelitales ha demostrado ser efectivo para el monitoreo y análisis de cambios en la cobertura del suelo. Estas herramientas permitieron una evaluación precisa y rápida de las áreas afectadas y la posterior recuperación, lo cual es esencial para la planificación y gestión del territorio.

7. RECOMENDACIONES

Este análisis resalta la necesidad de monitorear continuamente la recuperación del páramo y planificar intervenciones específicas para restaurar los frailejones y pastizales afectados por el incendio. La recuperación en un ecosistema tan delicado como el páramo puede ser lenta, y es crucial implementar estrategias de restauración que consideren las particularidades de este ambiente.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldia Municipal Tona . (2003). Obtenido de https://tonasantander.micolombiadigital.gov.co/sites/tonasantander/content/files/000587/29344_eot-tona-proyecto-de-acuerdo-2.pdf
- Alonso, D. (2021). *MappingGIS*. Obtenido de MappingGIS: <https://mappinggis.com/2020/07/los-6-indices-de-vegetacion-para-completar-el-ndvi/>
- Bannari, A., & Morin, D. (2009). Una revisión de los índices de vegetación. *Reseña de sensores remotos*, 95-120.
- Cabezas Martin, G. (2020). *ANÁLISIS DE LA SEVERIDAD DEL INCENDIO FORESTAL EN EL PARQUE NACIONAL SIERRA LA MACARENA USANDO LANDSAT 8 Y SENTINEL-2 CASO DE ESTUDIO 2018*. UDFJC, Bogotá.
- Caceres, R. J. (12 de Noviembre de 2021). Identificación de impactos de pasivos ambientales mineros mediante la teledetección en el distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina - Puno. Puno, Peru.
- Calo, F. (12 de Abril de 2018). *Auravant*. Obtenido de Auravant: <http://soporte.auravant.com/soporte/que-es-gndvi/>
- Chen, Y., Yang, Y., Yang, K., Cermak, J., & Chen, Y. (2021). High-resolution aerosol retrieval over urban areas using sentinel-2 data. *Atmospheric Research*.
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid: RIALPE S.A.
- CongresoCol. (28 de Junio de 2011). Ley Organica Ordenamiento Territorial. Bogota, Colombia.
- Earth Observing System*. (12 de Agosto de 2020). Obtenido de Earth Observing System: <https://eos.com/es/blog/indices-de-vegetacion/>
- El congreso de Colombia. (24 de Julio de 1997). LEY 388 DE 1997. Bogota, Colombia.
- EOS DATA ANALYTICS*. (9 de Noviembre de 2021). Obtenido de <https://eos.com/es/blog/teledeteccion/>
- ESA. (2015). *Sentinel-2 User Handbook*.
- Fonte, C. C., Duarte, D., Jesus, I., Costa, H., Benevides, P., Moreira, F., & Caetano, M. (2024). Accuracy Assessment and Comparison of National, European. *remote sensing*, 16,1504. doi:<https://doi.org/10.3390/rs16091504>
- Freepik. (s.f.). Obtenido de <https://www.freepik.es/fotos-vectores-gratis/cobertura-del-suelo>
- G. Pausas, J. (2012). *INCENDIOS FORESTALES*. Madrid: Catarata y CSIC.
- GEOSOLUTIONS CONSULTING*. (26 de Abril de 2023). Obtenido de <https://www.geosolutionsconsulting.com/conceptos-basicos-de-las-imagenes-satelitales/>
- Luca Congedo. (s.f.). *Semi-Automatic Classification Plugin*. Recuperado el 2024, de Brief Introduction to Remote Sensing: <https://semiautomaticclassificationmanual.readthedocs.io>

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (marzo de 2022). Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/Guia-Methodologica-PT-Cobertura-Vegetal.pdf>
- Morales, N. F. (2017). *TELEDETECCIÓN ESPACIAL LANDSAT, SENTINEL2, ASTER L1T y MODIS* (Primera ed.). Huánuco.
- Ochoa, F. (16 de enero de 2023). *Argeek*. Obtenido de <https://acolita.com/que-es-un-analisis-multitemporal/>
- Salinero, E. C. (1990). *Fundamentos De Teledetección Espacial*. Madrid: RialP.
- Sweeney, M. W. (2013). Geographic Information Systems. *Water Environment Research*, 551-556.
- Toribio, G. (25 de Octubre de 2019). *Cursos teledetección*. Obtenido de Cursos teledetección: <https://www.cursosteledeteccion.com/ndvi-que-es-y-para-que-sirve/>
- Universidad Tecnológica de Pereira . (2018). Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/9e1f6bb5-9e1a-469a-b21a-48f410f45fd9/content#:~:text=An%C3%A1lisis%20Multitemporal%3A%20An%C3%A1lisis%20de%20tipo,coberturas%20que%20han%20sido%20clasificadas.>
- Zhang, C., & Li, X. (2022). Land Use and Land Cover Mapping in the Era of Big Data. *Land*.

9. APÉNDICES

Si aplica, se anexan: formato de encuestas entrevistas, chek list, en general las herramientas o instrumentos utilizados en la investigación. Se enumeran con letras mayúsculas de la A - Z, si la cantidad es mayor se enumeran con números arábigos. Fuente y títulos en Normas APA.

10. ANEXOS

La sección de anexos será usada para presentar información que los autores y el director consideren importante, como el caso de: manuales de usuario, hojas de datos, guías de laboratorio, demostraciones matemáticas, diseños esquemáticos, cartografía, entre otros.

Cada Anexo debe estar identificado por una letra (A –Z), la cual será usada para diferenciar las figuras, tablas y ecuaciones que se encuentren en estas secciones.

Instructivo General¹

Apreciado Estudiante: Lea cuidadosamente este instructivo general y elimínelo una vez termine de elaborar el informe final.

Estilo:	APA, 6ta edición, como se describe a continuación
Tamaño del papel:	Carta (letter) / papel 21.59 cm x 27.94 cm (8 1/2" x 11").
Márgenes:	2.54 en cada borde. El formato ya está configurado con estos márgenes. Por favor no los modifique.
Sangría:	Cinco (5) o 0,5cm desde la pestaña diseño de Word, solo al inicio de cada párrafo y al inicio de las notas al pie de página. Importante que en todas las páginas quede igual la sangría, para ello se sugiere usar tabulador. No lleva sangría: <ul style="list-style-type: none">• El texto correspondiente al resumen,• El texto del Abstract• Las citas en bloque• Los títulos y encabezados• Los títulos y notas de tablas• Los pies de figuras o gráficas, ilustraciones, mapas
Fuente:	Arial, tamaño: 12, en todo el documento, desde la portada hasta las referencias bibliográficas y los anexos.
Numeración de páginas (Paginación):	La paginación se inicia desde la portada, en forma consecutiva hasta el final. Se incluye en la esquina superior derecha de la hoja. La plantilla ya está numerada, no la modifique.
Texto:	Justificado (APA sugiere alineado a la izquierda, pero se adopta justificado).
Interlineado:	1.5 en párrafos (APA sugiere 2.0, pero se adopta 1.5).

¹ Información tomada del Manual APA 6ª (sexta) Edición. Para complementar información se recomienda consultar en la página de la organización <http://www.apastyle.org/>

Listas especiales:

Tablas: La American Psychological Association (p. 130), sugiere cuando sea conveniente diseñar tablas para incluir en el documento, es importante definir y estructurar los datos que los interesados en el tema, requerirán para comprender la explicación.

Figuras: “se pueden utilizar muchos tipos de figuras” (Manual de la APA, 2010, p. 153). Los más comunes son: gráficas, diagramas, Mapas. Dibujos y fotografías. Se incluyen, cada figura, en una página separada, al final del documento, después de las tablas o después de las referencias (<https://apastyle.apa.org/manual/new-7th-edition>)).

Las tablas, imágenes y figuras: Todas elaboradas, bajo APA

Apéndice:

Los apéndices son una sección opcional del trabajo en donde se incluye información o documentación que permite complementar y que no se puede incorporar en el cuerpo del trabajo. Esta sección se ubica al final de del manuscrito antes de los anexos.

Anexos:

Los anexos serán usados para presentar información que los autores y el director consideren importante, como el caso de: manuales de usuario, hojas de datos, guías de laboratorio, demostraciones matemáticas, diseños esquemáticos, cartografía, entre otros. Esta sección se ubica al final de todo el manuscrito y es allí donde se pueden incorporar materiales de estímulo, tablas y/o figuras (Manual APA 6ª (sexta) edición. Disponible en <http://www.apastyle.org/> y <https://normasapa.net/tablas-figuras-y-apendices/>

F-DC-125

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO**

VERSIÓN: 2.0

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder proceso Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

- Textos escritos en gris:** Se sobre escribe sobre éste en color negro la información solicitada, cuando se refirieren al título o datos de la portada o contraportada. Si se trata de una instrucción se elimina y se escribe el contenido que corresponda.
- Texto escrito en negro (en la plantilla):** No se modifica. Se dejan como están.
- Páginas de Dedicatoria y Agradecimientos:** Son opcionales.
- Hoja de Aceptación:** Se debe diligenciar completamente por los jurados (evaluadores, directores).
- Recomendación:** Por favor no modificar el formato de la plantilla y aplicar correctamente la norma APA.

Referencias

American Psychological Association. *APA Style*. Recuperado de <http://www.apastyle.org/>.

American Psychological Association (2010). *Manual de Publicaciones* (3a. ed.). México:

Nota: No olvide eliminar este instructivo y entregar solo el informe en la plantilla inicial de este documento

AYUDAS PARA LA PRESENTACIÓN DEL DOCUMENTO

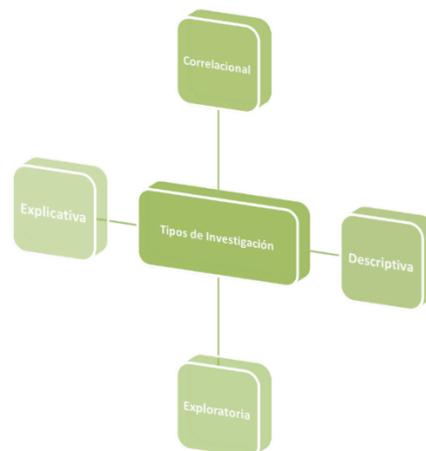
Esta sección del documento es de orientación para la elaboración del documento, **debe eliminarla** cuando genere la versión final. De igual manera, **debe eliminar** todas las instrucciones que contiene esta plantilla, que por lo general las encontrará como texto en color gris.

Recuerde que se debe tener especial cuidado en la redacción del texto del documento, este se debe redactar de manera formal en **tercera persona** y no en primera persona o de manera informal, no se permiten textos como: "nosotros esperamos que", en su lugar se debe usar: "se espera por parte de los autores que...", igualmente se debe evitar el uso de gerundios, por ejemplo: estudiando el tema, en su lugar: estudiado el tema.

Las tablas, figuras, gráficas, esquemas, entre otros, deben tener nombre y fuente, a continuación, se presenta el ejemplo:

Ejemplo de imagen

Figura 36. Tipos de Investigación



Fuente: Autor

Ejemplo de tabla

Para el texto en el interior de la tabla deberá utilizarse fuente tipo Arial a 10 puntos con interlineado sencillo. Utilice el mismo formato para todas las tablas para dar uniformidad al documento.

Tabla 12.

Descripción de la primera fase del estudio metodológico para construir un software en lenguaje Java

Tipo	Elementos
Actividades	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad 1 • Actividad 2 • Actividad 3 • Actividad 4 • Sitio de trabajo
Recursos	Conexión a internet <ul style="list-style-type: none"> • Computador • Programas del computador • Navegador Web • Word • Excel
Resultados	Conocimiento y fortalecimiento del paradigma de la programación orientada a objetos, sus características, alcance, técnicas de desarrollo, métodos y funciones entre otros campos vinculados con esta misma.

Nota: Tabla elaborada por el autor a partir de análisis sobre diseño de software.