



Factores determinantes de deforestación y los impactos significativos en el Páramo de
Berlín, Santander.

Modalidad: Proyecto de Investigación

Andrés Felipe Mejía Santander
CC. 1095824965
Johan Sebastián Puentes Barajas
CC. 1098739894
Kevin Alexander Valdés Moreno
CC. 1007735082

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS (FCNI)
INGENIERÍA EN TOPOGRAFÍA
BUCARAMANGA agosto 6 de 2024



Factores determinantes de deforestación y los impactos significativos en el Páramo de
Berlín, Santander.

Modalidad: Proyecto de Investigación

Andrés Felipe Mejía Santander
CC. 1095824965

Johan Sebastián Puentes Barajas
CC. 1098739894

Kevin Alexander Valdés Moreno
CC. 1007735082

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Topógrafo**

DIRECTORA

M.Sc Clara Inés Torres Vásquez

Grupo de investigación en Medio Ambiente y Territorio – GRIMAT

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS (FCNI)
INGENIERÍA EN TOPOGRAFÍA
BUCARAMANGA, agosto 6 de 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 #18 del Comité de Proyectos de Grado

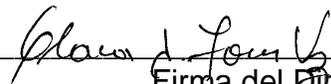
Del 13-08-2024

Docente evaluador: Ing. Héctor Alfonso Correa Rangel

Docente director: M.Sc Clara Inés Torres Vásquez



Firma del Evaluador



Firma del Director

DEDICATORIA

ANDRÉS FELIPE MEJÍA SANTANDER

Este proyecto de grado lo dedico a Dios primeramente por guiarme y darme inteligencia y sabiduría durante este proceso, igualmente, a mis padres, mi hermana, mi tío Felipe y mi tía Esperanza, que, gracias a su apoyo y acompañamiento incondicional a lo largo de mi formación académica como profesional, me fue posible alcanzar cada uno de los logros y metas propuestas durante este increíble proceso, y por último, a nuestra directora de proyecto quien se convirtió en un apoyo y guía en nuestro camino compartiéndonos su gran conocimiento y dedicación por la academia.

JOHAN SEBASTIÁN PUENTES BARAJAS

Dedico este trabajo a Dios, cuya guía y fortaleza han sido mi luz en cada paso de este camino. A mi familia, por su amor incondicional y su apoyo constante, que ha sido la base sobre la que he construido este sueño; a mi compañera de vida, por ser mi roca y mi refugio en cada momento; y a mi directora de proyecto, por su orientación experta y su apoyo incondicional. Este logro es un reflejo de todo lo que ustedes han hecho por mí y de la confianza que han depositado en mí. Con todo mi cariño y agradecimiento, les dedico este sueño cumplido.

KEVIN ALEXANDER VÁLDES MORENO

A Dios, primordialmente, por iluminar cada paso y llenarme de sabiduría al tomar cada decisión, a mis padres, que han sido el motor principal, mi mayor motivación y apoyo para seguir adelante, a todos los docentes que brindaron su conocimiento para nuestro aprendizaje y formación como profesionales, a nuestra directora de proyecto, que con su dedicación y pasión supo orientarnos de la mejor manera, y por último, y no menos importante, a mí mismo, por siempre creer en mí, confiar en mí y dar lo mejor de mí a pesar de los obstáculos y adversidades. Esta dedicatoria es un pequeño reconocimiento al invaluable apoyo de cada una de estas personas que hicieron parte de este gran logro, gracias.

AGRADECIMIENTOS

Como autores de este proyecto de investigación, agradecemos profundamente a cada uno de los docentes de la carrera de Ingeniería en Topografía de las Unidades Tecnológicas de Santander, gracias a sus conocimientos entregados a lo largo de este proceso de formación académica, son una fuente invaluable de conocimiento y apoyo para la formación de profesionales con carácter y sentido de pertenencia.

A nuestra directora de proyecto, Docente M.Sc. Clara Inés Torres Vázquez agradecemos su enorme dedicación y apoyo durante la ejecución de esta investigación. Gracias por compartir sus conocimientos y liderarnos en la búsqueda de la excelencia académica, gracias por la dedicación y el entusiasmo que entrega en cada una de sus clases y asesorías, gracias por inculcarnos la pasión por la topografía siendo fuente de inspiración para seguirnos desarrollando como grandes profesionales en nuestra área académica. Su guía y sabiduría no solo han enriquecido nuestro trabajo, sino que también han inspirado en nosotros un profundo respeto y admiración. Gracias por su paciencia y por estar siempre dispuesta a ofrecer su valioso tiempo.

A las Unidades Tecnológicas de Santander, agradecemos por brindarnos cada una de las herramientas, escenarios e instalaciones en general para desarrollarnos y formarnos como profesionales, agradecidos estaremos siempre por ser nuestra segunda casa durante este período de formación el cual nos forjó con grandes valores y capacidades para enfrentar el mundo profesional. Su compromiso con la educación y su ambiente de crecimiento han sido fundamentales para cumplir este sueño.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento. Sin su apoyo, este proyecto no habría sido posible.

TABLA DE CONTENIDO

<u>RESUMEN EJECUTIVO</u>	<u>11</u>
<u>INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>12</u>
<u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....</u>	<u>14</u>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.2. JUSTIFICACIÓN	16
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.4. ESTADO DEL ARTE	18
<u>2. MARCO REFERENCIAL</u>	<u>30</u>
2.1. MARCO TEÓRICO	30
2.2. MARCO CONCEPTUAL	45
2.3. MARCO LEGAL	52
<u>3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</u>	<u>55</u>
<u>4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....</u>	<u>58</u>
4.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	58
4.2. FASE 1: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE	62
4.2.1. BASE DE DATOS VECTORIAL BÁSICA DE COLOMBIA ESCALA 1:100.000	62
4.2.2. SHAPEFILE VÍAS NACIONALES (INVAS)	64
4.2.3. SHAPEFILE VEREDAS NIVEL NACIONAL	65
4.2.4. CENTROS POBLADOS NIVEL NACIONAL.....	66
4.2.5. RÁSTER DE COBERTURAS DEL SUELO AÑOS 2017 Y 2023.....	67
4.2.6. DESCARGA DE IMÁGENES SATELITALES.....	70
4.2.7. GENERACIÓN DEL MAPA DE BITEMPORALIDAD.....	78
4.3. FASE 2: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE INFORMACIÓN.....	95
4.4. FASE 3: RESULTADOS	103
<u>5. RESULTADOS.....</u>	<u>106</u>
5.1. MAPA DE COBERTURAS DEL SUELO	106
5.1.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO COBERTURAS DEL SUELO AÑO 2017	107

5.1.2.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO COBERTURAS DEL SUELO AÑO 2023	110
5.1.3.	ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS DE COBERTURA ENTRE 2017 - 2023	113
5.2.	MAPA DE BITEMPORALIDAD	116
5.3.	FACTORES DESENCADENANTES DE DEFORESTACIÓN.....	120
5.4.	ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI)	122
5.5.	ÍNDICE DE VEGETACIÓN AJUSTADO AL SUELO (SAVI).....	124
5.6.	ÍNDICE DE VEGETACIÓN MEJORADO (EVI).....	126
5.7.	ÍNDICE NORMALIZADO DE ÁREA QUEMADA.....	129
5.8.	IMPACTOS SIGNIFICATIVOS DE LA DEFORESTACIÓN	133
<u>6.</u>	<u>CONCLUSIONES.....</u>	<u>137</u>
<u>7.</u>	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>139</u>
<u>8.</u>	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>140</u>
<u>9.</u>	<u>ANEXOS.....</u>	<u>148</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diseño de la Investigación	57
Figura 2. Mapa de Localización del Área de Estudio	59
Figura 3. Mapa de Veredas dentro del Área de Estudio	60
Figura 4. Plataforma Virtual "Colombia en Mapas"	63
Figura 5. Base de Datos Vectorial Básica. Colombia. Escala 1:100.000	64
Figura 6. Plataforma de INVIAS.....	65
Figura 7. Veredas Nivel Nacional.....	66
Figura 8. Centros Poblados – Plataforma DANE.....	67
Figura 9. Plataforma "ArcGIS Living Atlas of the World"	68
Figura 10. Descarga de Ráster de Coberturas del Suelo	69
Figura 11. Colección de Imágenes LANDSAT 8	71
Figura 12. Colección de Imágenes SENTINEL 2	72
Figura 13. Imagen 1 - LANDSAT 8	75
Figura 14. Imagen 2 - LANDSAT 8	75
Figura 15. Imagen SENTINEL 2	76
Figura 16. SR (WGS 1984) Software ArcGIS Pro	78
Figura 17. Ingreso de información al ArcGIS Pro	79
Figura 18. Recorte (Clip) de los Ráster	80
Figura 19. Ráster 2017 Recortado.....	81
Figura 20. Ráster 2023 Recortado.....	81
Figura 21. Vectorización (Raster to Polygon) de Ráster Recortados	82
Figura 22. Ráster 2017 Vectorizado	83
Figura 23. Ráster 2023 Vectorizado	84
Figura 24. Clasificación por Simbología de Coberturas del Suelo	87
Figura 25. Clasificación por Simbología Coberturas 2017	88
Figura 26. Clasificación por Simbología Coberturas 2023	88
Figura 27. Cálculo de Geometría para el Campo "AREA_HA"	89
Figura 28. Tabla de Atributos "Cobertura 2017"	90
Figura 29. Tabla de Atributos "Cobertura 2023"	90
Figura 30. Intersección (Intersect) de Coberturas 2017 y 2023.....	91
Figura 31. Intersección de Coberturas 2017 y 2023	92
Figura 32. Cálculo del Campo "BITEMPORAL"	93
Figura 33. Tabla de Atributos Capa Bitemporalidad.....	94
Figura 34. Bitemporalidad	95
Figura 35. Índice NDVI Calculado.....	98
Figura 36. Índice SAVI Calculado	98
Figura 37. Índice EVI Calculado.....	99
Figura 38. Índice NBR Previo al Incendio	100
Figura 39. Índice NBR Posterior al Incendio.....	100
Figura 40. Severidad del Incendio	101
Figura 41. Índice NBR – Imagen SENTINEL 2.....	101
Figura 42. Interfaz del Layout para la Creación de Mapas	104

Figura 43. Mapa de Coberturas del Suelo años 2017 y 2023.....	106
Figura 44. Porcentajes de Coberturas del Suelo año 2017	107
Figura 45. Porcentajes de Coberturas del Suelo año 2023	110
Figura 46. Diferencia de Coberturas entre los años 2017 y 2023.....	113
Figura 47. Mapa de Bitemporalidad	116
Figura 48. Área Construida año 2017	119
Figura 49. Área Construida año 2023	119
Figura 50. Mapa del Índice NDVI	122
Figura 51. Mapa del Índice SAVI	124
Figura 52. Mapa del Índice EVI	127
Figura 53. Mapa del Índice NBR	129
Figura 54. Zona de Afectación en Recuperación - CDMB	133
Figura 55. Áreas Deforestadas	134
Figura 56. Mapa de Impactos Significativos de la Deforestación	134

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Reglamentación uso del suelo en Zona de Páramo y Amortiguación del Páramo (PA).....	41
Tabla 2. Municipios dentro del DMI Páramo de Berlín	60
Tabla 3. Veredas Área de Estudio	61
Tabla 4. Bandas Imágenes LANDSAT 8	73
Tabla 5. Bandas Imágenes SENTINEL 2	73
Tabla 6. Combinación de Bandas LANDSAT 8	77
Tabla 7. Combinación de Bandas SENTINEL 2	77
Tabla 8. Clasificación de Coberturas del Suelo.....	85
Tabla 9. Fórmulas y Bandas para Cálculo de índices	97
Tabla 10. Funciones en Google Earth Engine	102
Tabla 11. Cartografía del Proyecto	105
Tabla 12. Coberturas del Suelo año 2017	107
Tabla 13. Coberturas del Suelo año 2023	110
Tabla 14. Cambios de Coberturas entre los años 2017 y 2023	113
Tabla 15. Niveles de Severidad del Incendio Propuesto por el USGS	131

RESUMEN EJECUTIVO

La deforestación es una problemática ambiental de gran impacto global que afecta significativamente a Colombia, el departamento de Santander no es la excepción. El páramo de Berlín en Santander, es una de las zonas afectadas recientemente por este fenómeno debido a la intervención humana y a eventos como el incendio ocurrido en enero del presente año.

Para abordar y analizar esta problemática, se plantea determinar los factores que han provocado deforestación en el páramo de Berlín mediante análisis de información existente, uso de fuentes y técnicas de SIG para la identificación de los impactos significativos en esta área de estudio, empleando una metodología de tipo descriptivo y explicativo, con un enfoque tanto cuantitativo como cualitativo y un método inductivo. Se plantearon tres fases, una de recolección de información existente, la segunda de análisis e interpretación de información y, por último, una fase de resultados.

Se aplicaron técnicas de teledetección y uso de SIG obteniendo mapas para identificar y analizar el aumento del área construida, debido a la expansión urbana, como uno de los factores desencadenantes de deforestación en el área de estudio. También se logró determinar que la zona del incendio del presente año presenta niveles de severidad bajo y moderado – alto, con una leve recuperación en las condiciones del suelo.

La deforestación en el páramo de Berlín impactó significativamente las condiciones del suelo, clima y agua, durante el 2017, 2023 y 2024, como consecuencia de una serie de eventos naturales y antrópicos, que resultaron en la pérdida de cobertura vegetal endémica de la zona, así como en afectaciones a fuentes hídricas y contaminación del ambiente.

PALABRAS CLAVE. SIG, Google Earth Engine (GEE), Teledetección, Índices de vegetación, Deforestación.

INTRODUCCIÓN

Durante las dos últimas décadas en Colombia el fenómeno de la deforestación ha alcanzado cifras alarmantes. El departamento de Santander, y en particular el páramo de Berlín, se encuentran entre las áreas afectadas ya sea por causas antrópicas o naturales. En septiembre del 2022, basado en reportes del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono del IDEAM, se evidenció una pérdida considerable de 3.182.876 hectáreas de bosque deforestadas para estas dos últimas décadas, tal como lo mencionó la ministra de ambiente y desarrollo sostenible, Susana Muhamad. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente], 2022).

Datos recientes, entregados el 8 de abril del presente año por la ministra Susana Muhamad, con base en el balance de alertas tempranas de deforestación del país, el “Ministerio de Ambiente de Colombia estima que la deforestación bajó entre un 25 % y un 35 % a nivel nacional en el 2023, en comparación con el 2022, cuando se perdieron 123.517 hectáreas de bosque” (Puentes, 2024).

Además de las cifras anteriores, el primer trimestre del 2024, según la ministra de ambiente, los datos de deforestación superaron las cifras del mismo período del año 2022 al reflejar una pérdida de 77.816 hectáreas de bosque. Asimismo, comparando el primer trimestre del 2023 con el mismo período del año actual, se presentó un incremento del 40% en la deforestación, lo cual se traduce en una pérdida de 109.000 hectáreas de bosque en Colombia. (Puentes, 2024)

El uso de SIG, plataformas como Google Earth Engine, técnicas de teledetección, imágenes satelitales y la programación orientada a objetos geográficos han facilitado la toma de información y el análisis de esta problemática que se presenta a nivel mundial. De esta manera múltiples investigaciones se han llevado a cabo para determinar factores y causas del porqué de este fenómeno, así como sus impactos significativos.

La investigación está encaminada a determinar los principales factores desencadenantes de deforestación en el páramo de Berlín, a partir de información existente y aplicando técnicas de teledetección y el uso de SIG. Para el proyecto se emplearon diversas bases teóricas para llevar a cabo la ejecución de los diferentes objetivos planteados y así conseguir los resultados deseados.

Esta investigación permite entender como la deforestación impacta significativamente las áreas de páramo y las condiciones del suelo, clima y agua propias de estas regiones. Con base en los resultados que se obtengan de la investigación, las entidades locales, departamentales y nacionales pueden tomar decisiones y crear estrategias efectivas para promover la restauración y conservación de uno de los ecosistemas más vitales y amenazados en Colombia.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La deforestación, definida por la RAE como “la acción y efecto de deforestar” (Rae, s.f.), es decir, despojar un terreno de sus plantas forestales, es un problema ambiental que causa gran impacto a nivel global, y Colombia no está exenta a esta problemática. En septiembre de 2022, el ministerio de Ambiente entregó cifras según reportes del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono -IDEAM, donde, “en las últimas dos décadas se han deforestado 3.182.876 hectáreas (ha) de bosque en Colombia” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente], 2022).

Así mismo, “durante el primer trimestre del año 2021 se deforestaron 45.500 ha, mientras que durante el mismo periodo del 2022 la cifra fue de 50.400 ha. Frente al segundo trimestre, que corresponde a la primera temporada de lluvias en el país, en el 2021, 1.580 ha fueron deforestadas, mientras que en 2022 la cifra ascendió a 2.060 ha. Meta, Caquetá, Guaviare, Putumayo, Norte de Santander y Antioquia son los seis departamentos más afectados” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente], 2022).

El director de la Corporación Autónoma Regional de Santander, CAS, “en 2021, afirmó que, en Santander, 2.042 hectáreas fueron deforestadas; esto significa 555 hectáreas menos que en el año 2020” (CAS, 2022), siendo el Páramo de Santurbán una de las zonas más afectadas en los municipios de su jurisdicción: California, Charta, El Playón, Guaca, Matanza, Piedecuesta, Santa Bárbara, Suratá, Tona, Vetas. Durante los últimos tres años, varios son los eventos que han acontecido en el páramo, siendo los de mayor impacto los incendios forestales que han consumido gran cantidad de hectáreas y han dejado como resultado amplias áreas deforestadas.

Para febrero de 2021, un incendio que se originó en la vereda el Playoncito (Arboledas, Norte de Santander) y se propagó hacia el páramo, arrasó con 405,51 hectáreas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente], 2021). En mayo de 2023, un grave incendio forestal se presentó sobre los municipios de Cucutilla y California, dejando como resultado la quema de varias hectáreas de vegetación, así como de zonas donde se encontraban sembrados frailejones (J. Rodríguez, 2023). Finalmente, en enero de 2024, durante cuatro días un voraz incendio consumió 600 hectáreas de vegetación en la vereda Ucatá, del corregimiento de Berlín, municipio de Tona (C. A. González, 2024).

Las causas de la deforestación pueden ser por factores antrópicos o por factores naturales. Como menciona la organización World Wildlife Fund (WWF), en Colombia, “entre las principales causas de deforestación se encuentran la expansión agrícola, la minería ilegal, la tala indiscriminada y la ganadería extensiva” (World Wildlife Fund [WWF], 2024). También, la expansión urbana a través de la construcción de nuevas viviendas y hoteles para turismo, han impactado y deforestado zonas sobre el páramo. Asimismo, como causa natural se encuentran los incendios forestales, que como se menciona anteriormente en los incendios que han ocurrido en el páramo de Santurbán, traen consecuencias devastadoras a largo plazo en la población y los territorios cercanos a las zonas afectadas.

A partir de lo anteriormente descrito, surge la siguiente pregunta de investigación:
¿Qué herramientas de los Sistemas de Información Geográfica permiten determinar los factores que han provocado deforestación en el páramo de Berlín identificando los impactos significativos en esta área de estudio?

1.2. JUSTIFICACIÓN

La deforestación es un problema ambiental significativo a nivel global y en Colombia también cobra relevancia, como lo evidencian los datos proporcionados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, entre otros informes. Santander, en particular, ha experimentado un aumento alarmante en la pérdida de sus bosques en los últimos años, con el Páramo de Santurbán destacando como una de las áreas más afectadas. Los incendios forestales han sido particularmente destructivos en esta región, consumiendo grandes áreas de vegetación y dejando terrenos deforestados.

Las causas de la deforestación son diversas, actividades humanas como la expansión agrícola, la minería ilegal y la tala indiscriminada, así como factores naturales, incendios forestales. Estos incendios no solo representan una amenaza inmediata para la flora y fauna del páramo, sino que también tienen consecuencias a largo plazo para la población y los ecosistemas circundantes.

Es importante investigar los efectos de la deforestación en el Páramo de Berlín, zona del corregimiento de Berlín, durante el período 2017-2024 y comprender estos efectos para desarrollar estrategias efectivas de mitigación y manejo de incendios forestales, así como a identificar formas de restaurar y proteger los ecosistemas afectados. Este proyecto proporciona información para la toma de decisiones y la conservación de estos ecosistemas

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar los factores que han provocado deforestación en el páramo de Berlín mediante análisis de información existente, uso de fuentes y técnicas de SIG para la identificación de los impactos significativos en esta área de estudio.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los principales factores desencadenantes de deforestación en el páramo de Berlín mediante revisión de información existente y el análisis de bitemporalidad con uso de imágenes satelitales.
- Aplicar técnicas de teledetección como índices NDVI, SAVI, EVI Y NBR mediante uso de imágenes satelitales y software GIS para reconocer efectos y/o cambios en la vegetación por deforestación.
- Cuestionar los impactos significativos que ha provocado la deforestación en el páramo de Berlín sobre las condiciones del suelo, clima y agua principalmente a través de la interpretación hecha con herramientas de geomática.

1.4. ESTADO DEL ARTE

Autor(es)	M. C. Hansen, P. V. Potapov, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. o. Justice, & J. R. G. Townshend.
Título	“HIGH-RESOLUTION GLOBAL MAPS OF 21ST-CENTURY FOREST COVER CHANGE”.
Año	2013
Objetivo	Cuantificar y caracterizar los cambios en los bosques a nivel mundial durante el período de 2000 a 2012, utilizando datos de observación de la Tierra obtenidos por satélites.
Referencia/URL	M. C. Hansen, P. V. Potapov, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. o. Justice, & J. R. G. Townshend. (2013, 15 noviembre). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest cover change. <i>Science</i> , 342–6160, 850-853. Recuperado 8 de abril de 2024, de https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1244693

Resumen: La investigación abordó la necesidad de cuantificar los cambios en los bosques a nivel global, dada la importancia reconocida de los servicios ecosistémicos que proporcionan los bosques. Utilizando datos satelitales de observación terrestre con una resolución espacial de 30 metros, se mapeó la pérdida y ganancia de superficie forestal a nivel mundial durante el período de estudio de 2000 a 2012. Se encontró que se perdieron 2.3 millones de kilómetros cuadrados de bosque, mientras que se ganaron 0.8 millones de kilómetros cuadrados. Los trópicos fueron la única región climática que mostró una tendencia significativa, con una pérdida de bosques que aumentó en 2101 kilómetros

cuadrados por año. A pesar de la disminución documentada de la deforestación en Brasil, esta tendencia fue compensada por un aumento en la pérdida de bosques en Indonesia, Malasia, Paraguay, Bolivia, Zambia, Angola y otros lugares. La práctica intensiva de la silvicultura dentro de los bosques subtropicales resultó en las tasas más altas de cambio forestal a nivel global. La pérdida de bosques boreales, principalmente debido a incendios forestales y actividades de silvicultura, ocupó el segundo lugar en términos absolutos y proporcionales, después de los trópicos. Estos resultados proporcionan un registro globalmente consistente y localmente relevante de los cambios en los bosques.

Autor(es)	Ghebregabher, M. G., Yang, T., & Yang, X.
Título	“REMOTE SENSING AND GIS ANALYSIS OF DEFORESTATION AND DESERTIFICATION IN CENTRAL HIGHLAND AND EASTERN REGION OF ERITREA (1972-2014)”.
Año	2014
Objetivo	Utilizar la tecnología de teledetección remota (RST, por sus siglas en inglés) y el sistema de información geográfica (GIS) para extraer los cambios dinámicos en la cobertura forestal y desértica en regiones áridas y semiáridas.
Referencia/URL	Ghebregabher, M. G., Yang, T., & Yang, X. (2014). Remote sensing and GIS analysis of deforestation and desertification in Central Highland and eastern region of Eritrea (1972-2014). ResearchGate. Recuperado 8 de abril de 2024, de https://www.researchgate.net/publication/304345686_Remote_Sensing_and_GIS_analysis_of_deforestation_and_desertification_in_central_highland_and_eastern_region_of_Eritrea_1972-2014

Resumen: Este estudio utilizó datos de satélite Landsat para cuantificar los cambios en la cobertura forestal y desértica en Eritrea durante un período de más de cuatro décadas. Cada imagen satelital fue clasificada en tres categorías de cobertura de tierra, y se implementó una técnica de post-clasificación para analizar e interpretar las detecciones de cambios. Los resultados demostraron una precisión general alta en la clasificación de la cobertura de tierra, con valores promedio de precisión general y estadísticas kappa de 98.45% y 97.40%, respectivamente. Se encontró que, en 1972, aproximadamente el 8.38% del área de estudio estaba cubierta por bosques y el 28.21% por desierto, cifras que cambiaron a lo largo de los años. Se observó una pérdida significativa de cobertura forestal y desértica durante el período estudiado, con tasas anuales más altas de deforestación y desertificación registradas entre 1972 y 1985. Se señaló que la deforestación y desertificación eran problemas graves en Eritrea, y se sugirió que factores como la variabilidad de las precipitaciones, las sequías y las actividades humanas podrían ser los principales impulsores de estos procesos. Este estudio proporciona una contribución importante para comprender mejor los procesos de desertificación y deforestación en Eritrea y puede servir como base para investigaciones futuras en el área.

Autor(es)	Teso, M., & Katcho, K.
Título	“ASSESSING FOREST COVER CHANGE AND DEFORESTATION HOT-SPOTS IN THE NORTH KIVU PROVINCE, DR-CONGO USING REMOTE SENSING AND GIS”.
Año	2019
Objetivo	Evaluar los cambios en el uso y cobertura de la tierra y analizar los puntos críticos de deforestación en la provincia de Kivu del Norte, en la parte oriental de la República Democrática del Congo (RDC).
Referencia/URL	Teso, M., & Katcho, K. (2019). Assessing forest cover change and deforestation Hot-Spots in the North Kivu Province, DR-Congo using remote sensing and GIS. ResearchGate. https://doi.org/10.5923/j.ajgis.20190802.01

Resumen: Este estudio se centró en evaluar los cambios en el uso y cobertura de la tierra y analizar los puntos críticos de deforestación en la provincia de Kivu del Norte, en la parte oriental de la República Democrática del Congo (RDC). Se utilizaron imágenes de satélite Landsat para analizar los cambios entre 2001 y 2015, y se aplicaron técnicas de clasificación supervisada y detección de cambios para procesar los datos. Los resultados revelaron una pérdida significativa de cobertura forestal y la expansión de áreas agrícolas como el principal factor detrás de esta pérdida. Se identificaron puntos críticos de deforestación, especialmente a lo largo de las principales carreteras y ciudades. Este estudio destaca la importancia de comprender los cambios en la cobertura de la tierra y sus impactos, especialmente en regiones vulnerables como el este de la RDC. Los resultados mostraron un cambio general en la cobertura forestal, con una pérdida de 1,381,003 hectáreas (30%) y una ganancia de 404,380 hectáreas (9%) entre 2001 y 2015. El estudio concluyó que la agricultura es el principal factor que impacta el 89.66% de la pérdida de bosque debido a la expansión agrícola. Además, reveló la presencia de áreas

críticas de deforestación, especialmente a lo largo de las carreteras principales y las principales ciudades.

Autor(es)	Bello Mora, Juan Pablo; Vidal Neira, Daniela.
Título	“FORMULACIÓN DE UN PLAN DE PREVENCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES PARA UN SECTOR DE LA VEREDA CHUNTAME, CAJICÁ”
Año	Noviembre del 2021
Objetivo	Formular un plan de prevención de incendios forestales como instrumento de educación ambiental en un sector de la vereda Chuntame, de Cajicá.
Referencia/URL	Bello Mora, J. P., & Vidal Neira, D. (2021). Formulación de un plan de prevención de incendios forestales para un sector de la vereda Chuntame, Cajicá [Tesis de pregrado, Universidad El Bosque]. https://repositorio.unbosque.edu.co/items/34237aec-9631-4afa-bee4-196b4988e171

Resumen: El trabajo de grado en modalidad de proyecto de investigación se centra en la prevención de incendios forestales en la vereda Chuntame del municipio de Cajicá, Cundinamarca, Colombia. Como objetivo general, los autores plantean “Formular un plan de prevención de incendios forestales como instrumento de educación ambiental en un sector de la vereda Chuntame, de Cajicá” (Bello Mora & Vidal Neira, 2021). Se destaca que la mayoría de los incendios forestales son causados por actividades humanas debido a la falta de conciencia y conocimiento sobre los riesgos en estas áreas. Los impactos ambientales y socioeconómicos de los incendios forestales incluyen emisiones de gases de efecto invernadero, pérdida

de biodiversidad, afectaciones a la salud, riesgo para zonas residenciales y pérdida económica.

Se busca formular un plan de prevención de incendios forestales a través de la educación ambiental en la zona mencionada. Los objetivos específicos incluyen caracterizar la zona, identificar los impactos de los incendios forestales, y proponer medidas preventivas a través de una cartilla informativa dirigida a la población, empleando encuestas, información existente y SIG. Se justifica la necesidad de este proyecto debido a la falta de documentos de prevención de incendios forestales en la legislación colombiana y la importancia de la participación de la comunidad en la prevención de incendios.

Autor(es)	Neger, Christoph.
Título	“CAUSAS ANTRÓPICAS DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN LA SIERRA DE LOS TUXTLAS, MÉXICO”
Año	Julio del 2021
Objetivo	Determinar cuáles son las causas de incendios forestales de mayor relevancia que se presentan en la sierra de Los Tuxtlas.
Referencia/URL	Neger, C. (2021, julio). Causas antrópicas de los incendios forestales en la sierra de Los Tuxtlas, México. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/353756512_Causas_antropicas_de_los_incendios_forestales_en_la_sierra_de_los_Tuxtlas_Mexico

Resumen: El estudio investiga las causas de los incendios forestales en la Sierra de Los Tuxtlas, México, una región de alto valor ambiental afectada por incendios recurrentes. Utilizando datos oficiales, los cuales están georreferenciados y

permiten su visualización en un SIG, entrevistas locales y encuestas, se identifican discrepancias en las causas, cambios en su incidencia a lo largo del tiempo y disparidades entre municipios. Los objetivos incluyen examinar la utilidad de diversas fuentes de datos, analizar la distribución espacial de las causas, revisar su desarrollo y factores subyacentes, discutir estrategias de manejo y comparar a nivel nacional. El estudio busca orientar el manejo del fuego local y contribuir al entendimiento general de las causas de incendios forestales y a futuras investigaciones en ámbitos regionales y locales.

Autor(es)	Toala Bailón, José Antonio.
Título	“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA TASA DE DEFORESTACIÓN MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN LA MICROCUENCA CAÑAS”.
Año	Noviembre del 2018
Objetivo	Determinar la tasa de deforestación en la microcuenca Cañas mediante la utilización de sistemas de información geográfica (SIG).
Referencia/URL	Toala Bailón, J. A. (2018). Análisis multitemporal de la tasa de deforestación mediante sistemas de información geográfica (SIG) en la Microcuenca Cañas (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL). https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/879

Resumen: El trabajo de grado en modalidad de proyecto de investigación que realiza el autor, busca determinar a través de un análisis multitemporal la tasa de deforestación en la microcuenca Cañas empleando información cartográfica existente, imágenes satelitales y apoyándose en Sistemas de Información Geográfica, esto para el período 1990-2016. El autor desarrolla la investigación en

tres fases. En la primera recopila información geográfica de los últimos 20 años en la microcuenca Cañas; en la segunda fase determina la cobertura vegetal y el uso del suelo en la microcuenca por medio de una clasificación supervisada con SIG; por último, en la tercera fase se calcula la tasa de deforestación en el área de estudio. Los resultados arrojados de la investigación, hechos a través de una clasificación supervisada, demuestra que en la microcuenca Cañas durante el período de 1990-2016 hubo un cambio significativo en el uso del suelo. Para el año 1990 la vegetación arbórea correspondía a un 80,38% y el 15,96% a zonas agropecuarias; en el año 2016, se evidenció un cambio significativo en donde las áreas agropecuarias pasaron a ocupar el 67,86% de la zona y la vegetación arbórea disminuyó al 26,36%. Todos estos resultados se obtuvieron gracias al análisis de los datos que arrojaron las clasificaciones hechas para cada año estudiado y que se compararon con información que se validó en campo. De igual manera, el autor determinó una tasa de deforestación para el período estudiado, cuyo porcentaje de deforestación dio como resultado un valor de 4,19%, porcentaje que explica el autor se debe a la conversión de bosques a cultivos en la frontera agrícola, explotación de madera, construcción de carreteras y finalmente por el crecimiento poblacional.

Autor(es)	Hoyos Zuleta, Rober Andrey; Pérez Barrera, Lina Marcela.
Título	“EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES DE RADAR SENTINEL 1 PARA DETERMINAR EL IMPACTO ANTRÓPICO EN EL PÁRAMO DE SANTURBÁN”
Año	Enero del 2021
Objetivo	Evaluar la utilización de imágenes de radar del satélite Sentinel 1 para determinar el impacto antrópico de los ecosistemas presentes en el Páramo de Santurbán.
Referencia/URL	Hoyos Zuleta, R. A., & Pérez Barrera, L. M. (2021). Evaluación de la utilización de imágenes satelitales de radar Sentinel 1

	<p>para determinar el impacto antrópico en el páramo de Santurbán [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/28026</p>
--	--

Resumen: El trabajo de grado en modalidad de monografía realizado por Hoyos, Rober y Pérez, Lina, busca evidenciar el deterioro ecosistémico que ha sufrido el páramo de Santurbán por acciones del hombre en zonas mineras, permitiendo determinar el impacto antrópico en los ecosistemas que se presentan en el área de estudio. Para la realización del proyecto, plantean como objetivo general “evaluar la utilización de imágenes de radar del satélite Sentinel 1 para determinar el impacto antrópico de los ecosistemas presentes en el Páramo de Santurbán”. (Hoyos Zuleta & Pérez Barrera, 2021) El trabajo se desarrolló a partir de información existente sobre geomorfología, geología, suelos y clima, así como la descarga de imágenes satelitales de Radar. Se realizó un procesamiento y análisis de las imágenes descargadas y posteriormente, se generaron productos cartográficos para categorizar y evidenciar los cambios en el ecosistema de la zona de estudio y así corroborar que afectaciones se han generado en el páramo debido a los factores antrópicos. Para realizar el estudio se determinó el período comprendido entre 2016 – 2019. Como resultados del procesamiento y análisis de las imágenes satelitales, para el período mencionado anteriormente, se lograron evidenciar cambios importantes en el suelo del páramo, esto debido a la localización y aumento de asentamientos humanos y parcelaciones, así como superficies grandes utilizadas con fines agrícolas. Igualmente, se observan áreas a cielo abierto dedicadas a la minería que contribuyen a la afectación del páramo. También, se pueden identificar zonas con deslizamientos naturales, que a través de los años se desarrollan más y en diferentes zonas, esto debido a la alta precipitación de la zona y su

geomorfología. Gracias a la información existente utilizada y a las imágenes empleadas, y con la aplicación de técnicas cartográficas y de teledetección, se pudieron determinar los factores e impactos, ya sean positivos o negativos que ha tenido la zona del páramo a través de los tres años en que se basó el proyecto.

Autor(es)	Arguello Beltrán, Laura Patricia; García Gordillo, Omar; Escobar Mojica, Julián.
Título	“ANÁLISIS DEL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL POR MEDIO DE UNA CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADA PARA IDENTIFICAR EL IMPACTO DE LA DEFORESTACIÓN, CASO DE ESTUDIO MUNICIPIO DE LEBRIJA DEPARTAMENTO DE SANTANDER EN EL PERIODO 2013 A 2021”.
Año	Octubre del 2021
Objetivo	Analizar el cambio de cobertura vegetal por medio de una clasificación no supervisada para identificar el impacto de la deforestación en el municipio de Lebrija Santander en el periodo 2013 a 2021.
Referencia/URL	Arguello Beltrán, L. P., García Gordillo, O., & Escobar Mojica, J. (2021). Análisis del cambio de cobertura vegetal por medio de una clasificación no supervisada para identificar el impacto de la deforestación, Caso de estudio municipio de Lebrija Departamento de Santander en el periodo 2013 a 2021. [Tesis de pregrado, Unidades Tecnológicas de Santander]. http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/10443

Resumen: En este trabajo de grado realizado en modalidad de proyecto de investigación, los autores buscan realizar un análisis del cambio de cobertura vegetal por medio de una clasificación no supervisada para identificar el impacto de la deforestación en el municipio de Lebrija en el período 2013 a 2021 a partir de imágenes satelitales y el uso de SIG. Como objetivo general plantean “Analizar el cambio de cobertura vegetal por medio de una clasificación no supervisada para identificar el impacto de la deforestación en el municipio de Lebrija Santander en el periodo 2013 a 2021”. (Arguello Beltrán et al., 2021)

La investigación se desarrolló a través de tres fases. La primera fase comprendió la descarga y procesamiento de imágenes satelitales y cartografía existente de la zona; en la segunda fase se identificaron los cambios en la cobertura vegetal en el municipio de Lebrija; y, por último, la tercera fase se generó la cartografía con los resultados encontrados. Los resultados obtenidos con el procesamiento y análisis de las imágenes satelitales fueron la generación de diferentes mapas de coberturas vegetales para los años estudiados (2013, 2018, 2021) con sus respectivos porcentajes; también, se realizó una comparación de las coberturas vegetales de los diferentes años a partir de gráficas de barras y tortas, con sus respectivos porcentajes; asimismo, con los datos obtenidos, se pudo evidenciar el aumento de los cultivos permanentes, así como el aumento de la población ha provocado el incremento de las hectáreas del centro poblado. Con el análisis multitemporal que se realizó en el proyecto, a partir de las imágenes satelitales y el uso de SIG, se evidenció pérdidas de la capa vegetal en los bosques densos del municipio, así como el crecimiento de las zonas de cultivos, centros poblados y urbanizaciones.

Autor(es)	Márquez, Maryuri; López, Yoeines.
Título	“ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL NATURAL SIERRA DE LA MACARENA MEDIANTE UN ESTUDIO MULTITEMPORAL, APLICANDO HERRAMIENTAS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICAS SIG”.
Año	Mayo del 2023
Objetivo	Analizar de la deforestación en el parque la Macarena mediante la interpretación de imágenes de satélite y así evaluar cambios en la superficie a lo largo de veinte años.
Referencia/URL	Márquez, M., & López, Y. Análisis de la deforestación en el Parque Nacional Natural Sierra de la Macarena mediante un estudio multitemporal, aplicando herramientas de los sistemas de información geográficas SIG. https://repository.unad.edu.co/handle/10596/56354

Resumen: El estudio se centra en la deforestación creciente en el Parque Nacional La Macarena, utilizando imágenes satelitales de 2003 y 2023 para calcular la tasa de deforestación durante un período de 20 años. Los autores emplean herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar cambios en la cobertura del parque y el avance de la deforestación. Se emplea información existente de Corine Land Cover para posteriormente hacer una comparación de los usos del suelo con los datos que se interpretaron. Además, se generan mapas de conflictos de uso de suelo para respaldar el ordenamiento ambiental. La investigación busca crear conciencia sobre la importancia de abordar este desafío ambiental y promover medidas efectivas para proteger la biodiversidad y los recursos naturales del Parque Nacional La Macarena.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO

DECLARATORIA DE UN ÁREA DE MANEJO ESPECIAL EN EL PÁRAMO DE BERLÍN

El ecosistema de páramo de Berlín posee un alto valor ecológico y ambiental, debido a su gran biodiversidad, asimismo, para las Áreas Metropolitanas de Bucaramanga y Cúcuta se convierte en la fuente abastecedora de agua para sus poblaciones. Sin embargo, “este importante ecosistema está amenazado de manera significativa por la expansión de las actividades agrícolas y ganaderas tradicionales y por el incremento de la minería aurífera” (CORPONOR, 2007).

Tomando conciencia de lo que esta problemática puede traer al área de páramo, entidades públicas como gobernaciones, alcaldías y las CAR han aunado esfuerzos “con el propósito de recuperar, conservar y preservar el Páramo de Berlín por medio de una declaratoria compartida de Área de Manejo Especial, que oriente y regule las actividades socioeconómicas hacia su conservación y manejo adecuado” (CORPONOR, 2007).

Analizar las áreas protegidas de la unidad biogeográfica de Santurbán, en el páramo de Berlín, cobra gran importancia por lo cual es vital “preservar y conservar sus escenarios naturales y paisajísticos como parte del patrimonio ecológico natural, tendientes a la declaratoria de áreas protegidas regionales compartidas” (CORPONOR). Como respuesta a esta declaratoria se propone la formulación de un Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables del Páramo de Berlín (DMI) “cuya finalidad es evitar el deterioro ambiental del páramo, mediante el manejo integral de los recursos naturales de la alta montaña que provee en gran parte el recurso hídrico, los campos rurales y los centros urbanos de las Áreas Metropolitanas de Bucaramanga y Cúcuta” (CORPONOR, 2007).

La creación de un Distrito de Manejo Integrado DMI en la zona del páramo de Berlín, se fundamenta en el Decreto 1974 del 1989 donde se menciona que “la creación de un DMI, se realiza con el objeto de administrar, manejar y proteger el ambiente y los recursos naturales renovables y especialmente constituir y desarrollar un modelo de aprovechamiento racional de los recursos naturales dentro de las áreas especialmente delimitadas por el mismo” (CORPONOR, 2007).

El DMI Páramo de Berlín se encuentra localizado entre los departamentos de Santander y Norte de Santander, en la unidad biogeográfica de Santurbán. Su extensión es de 42.272 hectáreas, y protege las zonas que ese encuentran entre los 2.200 metros como altura mínima y los 4.100 metros como altura máxima, donde contiene zonas continuas de páramo como bosque Alto Andino. Con la creación del DMI, se busca conservar la oferta hídrica, humedales, ecosistemas, flora y fauna presentes en la zona del páramo de Berlín.

El objetivo general del Área de Manejo Especial, según el documento “Resumen ejecutivo Distrito de manejo integrado de los recursos naturales Paramo de Berlín – municipios Mutiscua, Silos y Tona” es:

“Regular y ordenar el uso de los recursos naturales del Páramo de Berlín como abastecedor del recurso hídrico y demás bienes y servicios ambientales, a través de la promoción, planeación, gestión y ejecución de programas y proyectos que propendan por la conservación, persistencia y recuperación de la dinámica natural del ecosistema y su conectividad con corredores biológicos y áreas protegidas conexas dentro de la unidad biogeográfica de Santurbán” (CORPONOR, 2007).

Como parte de la declaratoria del Distrito de Manejo Integrado, se elaboró una zonificación ambiental, que consiste en “la Clasificación de usos del suelo que se realiza dentro de las unidades territoriales en un Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables (DMI), conforme a un análisis previo de sus aptitudes, características y cualidades abióticas, bióticas y antrópicas. (Art.7º, Decreto 1974 de 1989 del Ministerio de Agricultura” (CORPONOR, 2007). La

zonificación propuesta presenta las siguientes zonas: Zona de Producción Urbana (ZU), Zona de Recuperación para la producción (ZRAp), Zona de protección (ZP), Zona para la preservación (ZRPr) y Zona de recuperación para la preservación (ZCPr).

PLAN INTEGRAL DE MANEJO DEL DISTRITO DE MANEJO INTEGRADO DE LOS RECURSOS NATURALES “PÁRAMO DE BERLÍN”

“El páramo de Berlín posee una invaluable riqueza florística, faunística y paisajística, que aunada con el potencial hídrico lo convierte en un territorio estratégico, como oferente de servicios ambientales para el Nororiente colombiano” (Gobernación de Santander et al., 2008). Es por esto que se convierte en una zona de alto valor ambiental para los departamentos de Santander y Norte de Santander, así como para el oriente colombiano, debido a su biodiversidad presente en la zona y a su capacidad abastecedora de agua para gran parte de la población de los municipios cercanos al páramo.

Esta zona de alta importancia ecológica ha sido afectada por diversos factores antrópicos que, unidos al mal manejo y a la continua intervención, han propiciado daños sobre el territorio. Dentro de estos factores se destacan “la presencia de viviendas rurales sobre espacios de importancia ambiental como las rondas de cauce, la expansión de la frontera pecuaria y agrícola sobre el ecosistema de páramo que atenta contra su integridad física (cambios del paisaje) y ambiental (perdida de la biodiversidad)” (Gobernación de Santander et al., 2008). Como consecuencia de lo mencionado anteriormente, “es necesaria la conservación, protección y manejo sostenible del páramo, a través de la formulación y ejecución del Plan Integral de Manejo Ambiental” (Gobernación de Santander et al., 2008).

“El ordenamiento del Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables del Páramo de Berlín DMI, debe darse de manera integral sobre los recursos suelo, agua, flora, fauna, aire y sobre las actividades socioeconómicas que

la población del área adelanta, para que su desarrollo sea sostenible” (Gobernación de Santander et al., 2008).

El Plan Integral de Manejo Ambiental responde ante esta necesidad a través de la creación de lineamientos, programas y proyectos que van dirigidos a conservar, restaurar y proteger las zonas del páramo que fueron establecidas en la zonificación ambiental, en la declaratoria del Distrito de Manejo Integrado (DMI) de manera que se pueda dar un adecuado uso de los recursos naturales presentes en la zona, así como su respectiva conservación a largo plazo.

El Plan Integral de Manejo Ambiental del “Páramo de Berlín” establece dos objetivos generales como punto de partida para la preservación y conservación de los recursos naturales de la zona:

1. Reducir las causas de deterioro del ecosistema de páramo y la presión antrópica mediante el impulso de procesos de educación y cultura ambiental.
2. Promover el conocimiento y la investigación de los ecosistemas estratégicos y la biodiversidad, como aporte a la toma de decisiones acertadas para su conservación, restauración y su uso sostenible. (Gobernación de Santander et al., 2008).

La formulación del Plan Integral de Manejo Ambiental se justifica en la necesidad de preservar y conservar todo el ecosistema como parte del patrimonio ecológico natural de la región, para así prevenir el deterioro ambiental del páramo y procurar un uso adecuado de los recursos naturales de la zona de alta montaña. Asimismo, se busca que las actividades productivas de la región estén controladas y planificadas de la mejor manera garantizando el desarrollo económico de los pobladores, pero a su vez buscando alternativas en cuanto al uso del suelo que garanticen un manejo adecuado y menos intensivo de los recursos naturales de la zona. (Gobernación de Santander et al., 2008).

**ESTADO ACTUAL DEL PÁRAMO REGIÓN NORORIENTAL UNIDAD
BIOGEOGRÁFICA SANTURBÁN – DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER
MUNICIPIOS DE VILLACARO, CHITAGA, CÁCHIRA, SALAZAR, ARBOLEDAS,
CUCUTILLA, PAMPLONA, MUTISCUA, CACOTA Y SILOS**

La Evaluación – Zonificación Ecológica que trata el capítulo V del documento en mención, busca a través de la integración de factores biofísicos de la zona “producir unidades homogéneas de tierras afines con la ecología del páramo Santurbán, desde una óptica de sus potencialidades y sus amenazas naturales” (CORPONOR, 2009). La generación de estas unidades homogéneas “permite seleccionar el mejor uso e ideal para cada unidad territorial establecida, según el estado actual del páramo teniendo en cuenta la oferta natural y la demanda social con el fin de ubicar y evaluar sus potencialidades, sus recursos naturales y ecosistemas estratégicos” (CORPONOR, 2009).

La Zonificación Ecológica que se estableció para las tierras del páramo se dio a partir de los siguientes criterios: 1. Zonas de Vida; 2. Evaluación del uso potencial mayor de las tierras; 3. Amenazas naturales; 4. Conflictos de usos del suelo.

Las Zonas de Vida o también denominados Biomas, “corresponden al análisis del modelo ecológico de la vegetación natural preexistente al uso antrópico, o la esperada de acuerdo a los limitantes abióticos” (CORPONOR, 2009). Dentro de la unidad biogeográfica de Santurbán se estableció la clasificación de biomas adaptada de Cuatrecasas en combinación con Holdridge, en donde se toman en cuenta los siguientes parámetros bioclimáticos: Uso actual y coberturas vegetales, Altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m), precipitación, y temperatura. Para el estudio del páramo se acogió la nomenclatura que adaptó Hernández Camacho (1991) de Cuatrecasas (1989) en donde los ecosistemas se dividen en Zonobiomas y Orobiomas. Como resultado, para la unidad biogeográfica de Santurbán se definieron dos orobiomas con su respectiva clasificación: Bosque Alto Andino y Páramo.

Zonas de Vida: 1. Páramo Seco: Ubicado en el altiplano denominado Páramo de Berlín; con escenarios bioclimáticos entre los 3200 y 3800 msnm; temperaturas entre 0 y 6°C, y promedio entre 650 y 1100 mm de lluvia. 2. Páramo Húmedo: Ubicado en la parte superior del sistema montañoso de la Cordillera Oriental; con escenarios bioclimáticos entre los 3200 y 4100 msnm; temperaturas entre 0 y 6°C, y promedio entre 1100 y 2000 mm de lluvia. 3. Páramo Pluvial: Ubicado en la parte superior del sistema montañoso de la Cordillera Oriental; con escenarios bioclimáticos entre los 3200 y 3700 msnm; temperaturas entre 0 y 6°C, y promedio entre 2000 y 2400 mm de lluvia. 4. Subpáramo: Ubicado en ecosistemas naturales y antropizados de alta montaña de la Cordillera Oriental; con escenarios bioclimáticos entre los 2800 msnm y 3200 msnm; temperaturas entre 3 y 6°C, y promedio entre 1000 y 2200 mm de lluvia. 5. Bosque Húmedo Alto-Andino: Ubicado en ecosistemas naturales y antropizados de alta montaña de la Cordillera Oriental; con escenarios bioclimáticos entre los 2700 y 3000 msnm; temperaturas entre 6 y 12°C, y promedio entre 1000 y 2000 mm de lluvia. 6. Bosque Pluvial Alto-Andino: Ubicado en ecosistemas boscosos naturales de alta montaña de la Cordillera Oriental; con escenarios bioclimáticos entre los 2500 y 3000 msnm; temperaturas entre 6 y 12°C, y promedio entre 2000 y 2400 mm de lluvia.

Continuando, el uso potencial mayor de las tierras, “se define como el uso más intensivo que puede soportar el suelo, garantizando una producción agronómica sostenida y una oferta ambiental permanente en el tiempo de bienes y servicios, sin deteriorar la base y los recursos naturales que lo sustenta” (CORPONOR, 2009). El objetivo principal de determinar el uso potencial mayor, como lo indica el estudio, “es generar elementos conceptuales y metodológicos para delimitar espacios geográficos homogéneos de aptitud de uso biofísica, para establecer las potencialidades mayores de las tierras y sus restricciones, con fines de planificación y ordenamiento ambiental de una unidad territorial” (CORPONOR, 2009).

A partir del análisis de criterios biofísicos, la evaluación de la base natural y con la implementación de un marco conceptual, para la unidad biogeográfica de Santurbán se definieron dos clases y nueve subclases o categorías de uso potencial mayor de las tierras para conservación del páramo. Estas son: Clase 1: Tierras de Conservación y Protección de los Recursos Naturales; Subclases 1: Tierras de Conservación (PRN Sisavita - Protección Absoluta), Tierras de Conservación (DMI Páramo de Berlín – Zonas de Preservación), Tierras de Protección Hídrica, Tierras de Protección Absoluta de Vegetación de Páramo, Tierras para Bosques de Protección. Clase 2: Tierras con Restricciones para la Producción. Subclases 2: Tierras de Recuperación para los Suelo de Producción (DMI – Páramo de Berlín), Tierras en Cultivos Semipermanentes, Tierras en Cultivos Permanentes, Tierras en Sistemas Agroforestales.

La unidad biogeográfica de Santurbán es una zona que presenta características geológicas, geomorfológicas, topográficas y de precipitación que la convierte en una región propensa a la ocurrencia de fenómenos naturales siendo los más directos los fenómenos de remoción en masa. “La Remoción en Masa es un proceso geológico destructivo, el cual depende de cuatro elementos importantes para su ocurrencia como son la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas” (CORPONOR, 2009). Las zonas de páramo son susceptibles a este tipo de procesos por su carácter húmedo y de alta montaña, sumado a la deforestación y el desarrollo de actividades agropecuarias en áreas inestables. Dentro del estudio se encuentra que los fenómenos que más se dan en esta unidad biogeográfica de Santurbán son los deslizamientos, flujo de escombros, carcavamiento, entre otros.

Finalmente, se establecen para el estudio las áreas con conflictos de uso del suelo en la zona del páramo. Estos conflictos de uso “se generan por la presencia de incompatibilidades entre la oferta ambiental, representada en el uso potencial mayor, y la demanda ambiental representada por el uso actual de las tierras” (CORPONOR, 2009). Los resultados que se obtuvieron detallan que en el área

estudiada se da un alto porcentaje de uso adecuado de las tierras con un 87.2%, esto por las áreas conservadas en el DMI y el Parque Natural Regional Sisavita. Asimismo, el 12.6% presentan usos inadecuados al encontrarse potreros y cultivos en zonas protectores. Por último, con un porcentaje muy bajo de 0.13% se presentan tierras con usos muy inadecuados debido a la presencia de minería o áreas de pastoreo presentes en zonas de protección.

DINÁMICA DEL CLIMA Y VEGETACIÓN EN EL PÁRAMO DE BERLÍN (COMPLEJO SANTURBÁN), NORTE DE LA CORDILLERA ORIENTAL DE COLOMBIA, DURANTE EL PERÍODO TARDIGLACIAL

La investigación desarrollada por la autora Manuela Rueda (2018) tiene como fin realizar un estudio paleoecológico de alta resolución en el noreste de los Andes colombianos, más precisamente en una turbera localizada en el Páramo de Berlín, para el período de tiempo comprendido entre 18009 y 11662 años cal AP. La investigación se centra en el análisis del período Tardiglacial, que como menciona la autora “el Tardiglacial (~ 18000 – 11653 años cal AP) es el período de transición entre las condiciones frías del Último Máximo Glacial (LGM) y el clima cálido del Holoceno” (Rueda Trujillo, 2018).

La investigación parte de la siguiente hipótesis planteada por la autora:

“El Tardiglacial (18000 – 11653 años cal AP) se registró como un período húmedo en el Páramo de Berlín (norte de la Cordillera Oriental), con eventos interestadiales cálidos en los cuales dominaron el bosque (vegetación regional) y la vegetación de aguas profundas (vegetación local), y eventos estadiales fríos en los cuales dominó el páramo (vegetación regional), e igualmente, la vegetación de aguas profundas (vegetación local)” (Rueda Trujillo, 2018).

A partir de esta hipótesis y demás fundamentos mencionados en el proyecto, la autora busca responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo han

variado el clima y la vegetación de alta montaña durante el período Tardiglacial en el Páramo de Berlín (norte de la Cordillera Oriental)?

Con la hipótesis planteada y con la pregunta de investigación formulada, se establece como objetivo general para el proyecto “Determinar los cambios en el clima, vegetación y ambiente sedimentario en el páramo de Berlín (complejo de Santurbán), norte de la Cordillera Oriental de Colombia, durante el período Tardiglacial” (Rueda Trujillo, 2018).

La investigación toma como referencia el período Tardiglacial debido a que en este tiempo se dan cambios abruptos de temperatura y humedad en intervalos específicos por lo que podrían ser similares los cambios rápidos propios del calentamiento actual. Como menciona la autora, la selección del área de investigación “lo convierte en un sitio ideal para el estudio de las posibles asimetrías climáticas oeste vs este del norte de Suramérica deducidas en investigaciones previas, así como sus efectos sobre la vegetación de alta montaña” (Rueda Trujillo, 2018).

Diseñado y ejecutado el proyecto de investigación, la autora recopila como resultado general que: “En el Páramo de Berlín las condiciones más húmedas tuvieron lugar durante las fases de menor temperatura hacia el comienzo del stadial Heinrich 1 – H1 y en el Younger Dryas – YD, a la vez que el bosque alcanzó mayores representaciones en el espectro polínico. El interestadial Bølling – Allerød - BA fue un período igualmente húmedo, pero con tendencia progresiva a hacerse seco, mostrando las condiciones de menor humedad durante el Tardiglacial...” (Rueda Trujillo, 2018).

ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL – MUNICIPIO DE TONA

El municipio de Tona, ubicado en el departamento de Santander, expidió en el año 2003, en cabeza del alcalde de la época Máximo Luna, su Esquema de Ordenamiento Territorial, como lo establece la Ley 388 de 1997 y el marco legal correspondiente. Para el municipio de Tona, “El Ordenamiento del Territorio Municipal tiene por objeto complementar la planificación económica y social con la dimensión territorial, racionalizar las intervenciones sobre el territorio y orientar su desarrollo y aprovechamiento sostenible...” (Luna, 2003), esto mediante la creación de estrategias, adopción de instrumentos y procedimientos, y la definición de programas y proyectos.

El EOT del municipio de Tona se formuló tomando en cuenta las relaciones intra en interregionales como lo menciona el documento, respetando la diversidad de culturas y reconociendo el pluralismo. A su vez, se incorporan instrumentos que permitan organizar los procesos de transformación del territorio para darle un uso adecuado de los recursos naturales de la región de manera que se garanticen condiciones dignas para la población presente y generaciones futuras. (Luna, 2003)

El EOT en su componente general, busca que el territorio consolide la visión de futuro a partir de la organización y especialización del municipio, teniendo en cuenta su vocación de productor hídrico y agroecológica, así como el desarrollo del turismo, manejo adecuado y protección de los recursos naturales, y el mejoramiento de la accesibilidad en el área urbana y con municipios limítrofes. (Luna, 2003)

El componente urbano, busca consolidar la prestación de servicios de manera eficiente, mejorar la malla vial, desarrollar el espacio público y zonas verdes, distribuir los equipamientos según su impacto, dar un apropiado uso del suelo, y acordar la normativa que permita distribuir cargas y compensaciones de manera conveniente. (Luna, 2003)

Por último, el componente rural, busca proteger los ecosistemas estratégicos del municipio, conservar y aprovechar las redes hídricas en su función de productor

hídrico, mejorar la accesibilidad veredal, que la producción agropecuaria sea diversa y sostenible, así como sustituir cultivos limpios por sistemas agroforestales, esto como propósito para alcanzar una eficiente explotación de los recursos naturales de la zona. (Luna, 2003)

El EOT establece en su artículo 11 “Clasificación del suelo del territorio”, en el numeral 4 “Categoría de Suelo de Protección”, “las áreas correspondientes al Páramo de Santurbán considerada ecosistema estratégico”. (Luna, 2003)

En el capítulo 4 del EOT, Modelo Territorial Rural, se definen estrategias, objetivos, clasificaciones del suelo y demás aspectos para el manejo de las áreas rurales, así como para aquellas zonas de páramo que se encuentran en el sector rural del municipio de Tona. En el artículo 57 “De la zonificación del suelo rural (áreas de manejo)”, el EOT establece dos categorías para los suelos que se mencionan a continuación: Suelos de protección y de importancia ambiental, y Suelos de desarrollo rural. (Luna, 2003)

En el artículo 58 “De los suelos de protección y de importancia ambiental”, son cinco las categorías que se establecen para estos tipos de suelo. Para el área de páramo, zona de alta importancia para el municipio, se estableció la primera categoría con sus respectivos usos (Tabla #1) así:

- 1. Zona de páramo y amortiguación del páramo (PA): Las zonas de páramo son aquellos ecosistemas de alta montaña de alta importancia ambiental debido a su fragilidad y su función ecosistémica que permite la generación de corrientes y descargas hidrobiológicas. Estas zonas están ubicadas al oriente del municipio, Veredas Cuestaboba, El Saladito, Ucatá, Parra y Juan Rodríguez y la parte alta de las veredas Tembladal y Alizal. (Luna, 2003)

Las zonas de amortiguación del páramo son aquellas que presentan cinturones de condensación atmosférica que permiten la formación de bosque de niebla. Estas áreas están ubicadas hacia el centro y norte del municipio, Veredas El Quemado, Palmar, Pitones, Parte baja de las veredas

Alizal y Tembladal y la parte alta de las veredas Pigua y Guarumales. (Luna, 2003)

Tabla 1. Reglamentación uso del suelo en Zona de Páramo y Amortiguación del Páramo (PA)

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	Agropecuaria 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	Agropecuaria intensiva, caza de fauna silvestre. Forestal productor, Industriales. Urbanos y loteo de parcelaciones. Nuevos desarrollos en minería.

Fuente: EOT – Tona

UNGRD Y LA GESTIÓN DEL RIESGO CONTRA INCENDIOS FORESTALES

Los incendios forestales en Colombia han afectado grandes extensiones de bosque durante finales del 2023 y principios del 2024 producto de las altas temperaturas asociadas al fenómeno del Niño. Como se menciona en el documento “Deforestación en Colombia: Retos y perspectivas”, los incendios forestales son una de las principales causas de deforestación en el país. (García, 2012)

La expedición de la Ley 1523 de 2012, que adopta la política nacional de gestión del riesgo y establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD), contempla la Gestión del Riesgo de Desastres contra incendios forestales lo que permite a las entidades encargadas formular estrategias dirigidas a prevenir, reducir o manejar los desastres en caso de su activación.

En el artículo 14 de la Ley 1523 de 2012, se establece que los alcaldes municipales son los responsables de implementar procesos de gestión del riesgo de desastres,

en sus etapas de conocimiento, reducción del riesgo y el manejo de desastres), en su zona de jurisdicción. (MINAMBIENTE, 2021)

Asimismo, esta ley “establece la necesidad de articular los instrumentos de planificación y ordenamiento del territorio, acciones estratégicas y prioritarias en materia de gestión del riesgo de desastres, para evaluar y proponer las acciones tendientes a la prevención de incendios forestales”. (MINAMBIENTE, 2021)

La Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) como entidad encargada para dirigir, orientar y controlar la Gestión del Riesgo en Colombia en compañía del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) han desarrollado estrategias a través de cartillas, manuales y protocolos para la gestión del riesgo contra incendios forestales. Dentro de las estrategias que se han formulado se encuentran los siguientes documentos:

- **“Como orientar la gestión del riesgo de desastres por incendios forestales a nivel municipal (2021)”**: Este documento creado por el MINAMBIENTE tiene como objeto “orientar a las autoridades municipales y ambientales en su papel para realizar la gestión del riesgo de desastres por incendios forestales en los municipios, partiendo de los insumos planteados en los “Lineamientos simplificados para la elaboración de planes de contingencia municipales en incendios forestales de 2011”” (MINAMBIENTE, 2021).
- **“Cartilla orientadora para la gestión del riesgo en incendios forestales”**: La cartilla tiene como objetivo principal “orientar básicamente a las Autoridades Locales, para involucrar en la gestión del riesgo de desastres a nivel municipal, las acciones tendientes a prevenir los incendios forestales, en la que también todos los actores locales deben participar, en el marco de la Ley 1523 de 2012 y de los fundamentos de la política ambiental de Colombia” (MINAMBIENTE, s. f.).

- **“Protocolo Nacional de Respuesta ante incendios forestales (2023)”**: Este protocolo es la actualización realizada por la Comisión Técnica Nacional Asesora de Incendios Forestales (CTNAIF), en coordinación con la UNGRD y entidades del SNGRD del anterior protocolo denominado “Protocolo Solicitud de Apoyo Aéreo para la Atención de Incendios de la Cobertura Vegetal en el Territorio Colombiano” expedido en el 2016. Su objetivo general es “establecer el protocolo para la atención de incendios forestales en el territorio nacional que permita coordinar la respuesta interinstitucional, activación y movilización de recursos terrestres, marítimos, fluviales y aéreos del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres” (UNGRD, 2023).

EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES DE RADAR SENTINEL 1 PARA DETERMINAR EL IMPACTO ANTRÓPICO EN EL PÁRAMO DE SANTURBÁN

El aumento acelerado de las ciudades y la necesidad de buscar recursos naturales que den sustento diario a estas poblaciones, ha ocasionado que zonas de protección y conservación ambiental sean intervenidas drásticamente ocasionando pérdidas de los ecosistemas allí presentes. (Schandl, y otros, 2016, como se citó en Hoyos Zuleta & Pérez Barrera, 2021)

El presente proyecto de grado realizado por los autores Rober Andrey Hoyos Zuleta y Lina Marcel Pérez Barrera surge de la necesidad de confirmar los cambios que se han dado en el ecosistema de páramo, en este caso el páramo de Santurbán, durante el período de tiempo entre 2016 – 2019, producto de las intervenciones externas al ecosistema, principalmente acciones antrópicas, como la minería artesanal y el licenciamiento en zonas colindantes del páramo, cuyas acciones pueden desencadenar en afectaciones para las regiones de los Santanderes y sus alrededores. (Hoyos Zuleta & Pérez Barrera, 2021)

El documento permite tener un acercamiento sobre el cambio ecosistémico que se ha presentado en el interior como en las zonas limítrofes del páramo de Santurbán, en los 30 municipios regulados por las CAS de los departamentos de Norte de Santander como Santander, que cuentan con una extensión de 142000 ha, evidenciando los cambios en la superficie terrestre producto de acciones antrópicas que han aumentado a lo largo de los años. (Hoyos Zuleta & Pérez Barrera, 2021)

El objetivo general planteado para el proyecto fue “Evaluar la utilización de imágenes de radar del satélite Sentinel 1 para determinar el impacto antrópico de los ecosistemas presentes en el Páramo de Santurbán” (Hoyos Zuleta & Pérez Barrera, 2021).

El proyecto se desarrolló empleando técnicas de percepción remota e imágenes radar del satélite Sentinel 1 y, asimismo, imágenes Landsat 8 con las cuales se generaron sinergismos a través de la fusión de estas para conseguir los resultados esperados. A parte de las imágenes satelitales, para la caracterización de la zona de páramo, los autores emplearon información existente sobre la geomorfología, geología, suelos y clima, que en conjunto permiten determinar los impactos antrópicos y el cambio de uso del suelo que se han dado en esta zona. (Hoyos Zuleta & Pérez Barrera, 2021).

Con el empleo de la percepción remota y el análisis de los sinergismos hechos con las imágenes satelitales se evidenció que la parte norte del páramo de Santurbán es una de las zonas con mayor protección razón por la cual no se vieron mayores afectaciones excepto a algunos deslizamientos presentados en las partes de alta montaña, zonas de mayor pendiente y con altos promedios de precipitación. (Hoyos Zuleta & Pérez Barrera, 2021).

Por el contrario, la zona sur del páramo presenta gran afectación de las interacciones naturales producto de acciones antrópicas entre las más presentes el desarrollo agropecuario, vial y minero, hecho que se traduce en la modificación del

uso del suelo y el ecosistema preexistente, así como en el desplazamiento de especies y fragmentación de la biodiversidad. (Hoyos Zuleta & Pérez Barrera, 2021).

El corregimiento de Berlín es la zona más afectada por las acciones humanas en el páramo debido al cambio de uso del suelo para actividades agrícolas y pecuarias, construcción de viviendas campesinas y recreacionales, esto como consecuencia del desarrollo vial que ayuda a comunicar los municipios de Bucaramanga y Cúcuta. También, se visualiza que la extracción minera en límites del páramo, se concentra entre los municipios de Vetas y California. (Hoyos Zuleta & Pérez Barrera, 2021).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una herramienta utilizada para describir y categorizar la Tierra y otras geografías, con el propósito de mostrar y analizar información referida espacialmente, principalmente a través de mapas. Los mapas en un SIG no son simplemente representaciones estáticas, sino que ofrecen una ventana interactiva a una variedad de datos geográficos y modelos de análisis espacial. (ESRI, s.f.)

Los SIG son herramientas poderosas que utilizan mapas interactivos para gestionar, analizar y visualizar información geográfica, facilitando la toma de decisiones en una amplia gama de aplicaciones, desde la planificación urbana hasta la gestión de recursos naturales. (ESRI, s.f.)

Los mapas SIG se emplean para diversas funciones, como comunicar información de manera clara y organizada, identificar patrones geográficos, realizar análisis espaciales complejos y compartir información de manera dinámica en la web. Además, son fundamentales para recopilar, mantener y organizar la información geográfica en capas temáticas. (ESRI, s.f.)

Google Earth Engine (GEE)

“Google Earth Engine (GEE) es una plataforma desarrollada por Google que permite realizar procesamientos geoespaciales a gran escala, utilizando bases de datos con millones de estos” (Solórzano Villegas & Perilla Suárez, 2022). La plataforma cuenta con un gran conjunto de imágenes satelitales y datasets geoespaciales recopilados de diversas fuentes como los programas de Landast, Sentinel, MODIS, SRTM, ALOS entre muchos más, conjunto de datos que pueden ser analizados a escala global. y que son accesibles a grupos de científicos, desarrolladores y para la academia.

Como mencionan Solórzano Villegas y Perilla Suárez (2022) “GEE nace de la necesidad de aprovechar esa big data al ofrecer una herramienta que pueda lidiar tecnológicamente con el manejo de enormes volúmenes de información, permitiendo entonces que los usuarios se concentren en la generación de resultados y nuevos desarrollos científicos”. Esta plataforma es empleada a nivel mundial, gracias a su fácil acceso, por investigadores científicos, desarrolladores y estudiantes, para llevar a cabo diversas investigaciones en sus ámbitos de estudio empleando teledetección, como el cálculo de la deforestación, monitoreo de asentamientos humanos, identificación de plantaciones de palma entre otros.

La plataforma tiene diversas formas en las que se puede interactuar para realizar los análisis geoespaciales según la necesidad del usuario. La primera, para la cual hay que tener un conocimiento básico de programación, se trata del Editor de Código (Code Editor) que es un entorno de programación basado en la web para escribir y correr los scripts creados. Este Code Editor fue diseñado para que flujos de trabajo complejos sean rápidos y sencillos. La segunda manera de interactuar se trata del GEE Explorer, una aplicación web que permite realizar análisis sencillos con los conjuntos de datos que contiene la plataforma. Por último, las bibliotecas de cliente que proveen funciones de los lenguajes de programación JavaScript y Python para la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) de Earth Engine, que

le permite al usuario crear y personalizar sus propias aplicaciones. (Google LLC, s.f.)

Índices de Vegetación

Los Índices de Vegetación son combinaciones de las bandas espectrales registradas por los satélites de Teledetección, cuya función es realzar la cubierta vegetal en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles de otros componentes como el suelo, la iluminación, etc. Los Índices de Vegetación, son pues imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales. El resultado permite obtener una nueva imagen donde se destacan gráficamente determinados píxeles relacionados con parámetros de las coberturas vegetales: densidad, índice de área foliar y actividad clorofílica. (Alonso, 2020)

- **NDVI:** El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada permite estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. Para el cálculo de los índices de vegetación es necesaria la información que se encuentra en las bandas roja e infrarroja de ese espectro electromagnético. (Alonso, 2015)

Para calcular el NDVI se emplea la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

- **SAVI:** El Índice de Vegetación Ajustado al Suelo permite minimizar la influencia del brillo del suelo. Su creador, Huete, agregó un factor de ajuste del suelo (**L**) a la ecuación de NDVI para corregir los efectos del ruido del suelo (color del suelo, humedad del suelo, variabilidad del suelo a través de la región, etc.), que tienden a afectar a los resultados.

Este Índice de Vegetación se emplea para el análisis de cultivos jóvenes, para regiones áridas con vegetación escasa (menos del 15% del área total) y superficies expuestas del suelo. (Alonso, 2020)

La fórmula para el cálculo del índice SAVI es la siguiente:

$$SAVI = \left[\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} \right] (1 + L)$$

- **EVI:** El Índice de Vegetación Mejorado busca expresar los efectos atmosféricos calculando la diferencia de radiancia entre las bandas del Azul y Rojo lo que permite monitorizar el estado de la vegetación en caso de altas densidades de biomasa. El proceso resulta ser similar al cálculo del NDVI salvo que, en esta ocasión requerimos, además, la banda correspondiente al Azul del espectro visible.

Este Índice de Vegetación es útil para analizar áreas de la Tierra con grandes cantidades de clorofila (como los bosques tropicales), y preferiblemente con efectos topográficos mínimos (regiones no montañosas). (Alonso, 2020)

Para realizar su cálculo se emplea la siguiente fórmula:

$$EVI = G * \frac{(NIR - RED)}{(NIR + (C1 * RED) - (C2 * BLUE) + L)}$$

- **NBR:** El Índice de Calcinación Normalizado permite calcular o identificar cuantitativamente las áreas calcinadas. Este índice se focaliza en mediciones en las longitudes de onda NIR y SWIR. La vegetación saludable muestra una alta reflectancia en el NIR, mientras que las áreas de vegetación recientemente quemadas se reflejan altamente en el SWIR. En los últimos años este índice ha tomado relevancia a medida que las condiciones climáticas extremas (como la sequía de El Niño) causan un aumento significativo en los incendios forestales que destruyen la biomasa forestal.

El uso típico del NBR en el campo de la agricultura y la silvicultura es la detección de incendios activos, el análisis de la severidad del área calcinada y el monitoreo de la supervivencia de la vegetación tras el incendio. (Alonso, 2020) Para calcular el índice se utiliza la siguiente fórmula:

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

Deforestación

La deforestación es un proceso que implica la destrucción de bosques nativos debido a diversas actividades humanas, como la expansión de la agricultura y la ganadería, la explotación maderera, la urbanización y los incendios forestales. Este fenómeno ha aumentado significativamente en las últimas décadas debido a la demanda creciente de productos agrícolas y madereros a gran escala, así como al crecimiento urbano descontrolado. (Sposob, 2024)

Sus consecuencias son devastadoras tanto a nivel local como global. La pérdida de biodiversidad es una de las más preocupantes, ya que los bosques albergan una inmensa variedad de especies animales y vegetales, muchas de las cuales dependen directamente de estos ecosistemas para sobrevivir. La deforestación conduce a la fragmentación y degradación de hábitats, lo que provoca la disminución de la complejidad de los ecosistemas y, en última instancia, la extinción de especies. (Sposob, 2024)

Además, la deforestación tiene un impacto directo en el clima y el ciclo del agua. Los bosques desempeñan un papel crucial en la regulación del ciclo hidrológico al absorber agua gradualmente. La eliminación masiva de árboles reduce la capacidad de retención del suelo, lo que aumenta la escorrentía superficial y la probabilidad de inundaciones. También contribuye al cambio climático al liberar grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera, lo que intensifica el efecto invernadero. (Sposob, 2024)

Teledetección

La teledetección 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. De acuerdo a cómo trabaja el instrumento se distingue la teledetección activa y pasiva. (Kogut, 2024)

- **Teledetección activa:** Es un proceso de teledetección que funciona con su propia fuente de emisión o luz. Existen diferencias entre las longitudes de onda captadas, que son cortas (visible, NIR, MIR) y largas (microondas). Los sensores remotos utilizan microondas para detectar objetos, ya que son resistentes a las condiciones climáticas. Los sensores remotos que utilizan este método, mandan la señal al objeto y después comprueban la respuesta, es decir, la cantidad de señal recibida. (Kogut, 2024)

Los sensores que emplean este método necesitan de los siguientes instrumentos para su funcionamiento:

- **El radar:** emplea señales de radio para determinar la distancia a un objeto basándose en la dispersión de energía.
- **El Lidar:** utiliza impulsos luminosos para medir la distancia multiplicando el tiempo por la velocidad de la luz.
- **El altímetro:** láser mide la elevación junto con el Lidar.
- **Los instrumentos de medición:** estiman el alcance enviando señales entre sí desde plataformas diferentes.
- **Las sondas:** emiten impulsos para estudiar las condiciones meteorológicas.
- **El difusómetro:** mide la radiación rebotada.

- **Teledetección pasiva:** Los sensores pasivos de teledetección no emiten energía propia, sino que dependen de la luz solar reflejada por el objeto estudiado. Esto implica que su funcionamiento está condicionado a la disponibilidad de luz solar adecuada. Estos sensores utilizan tecnología multiespectral o hiperspectral para medir la cantidad de luz recibida en diferentes bandas, lo que proporciona información valiosa sobre el objeto observado. Estas bandas abarcan diversos espectros, desde el visible hasta el infrarrojo térmico y las microondas, lo que permite una amplia gama de aplicaciones en la teledetección. (Kogut, 2024)

Los sensores que emplean este método necesitan de los siguientes instrumentos para su funcionamiento:

- **El espectrómetro:** distingue y analiza las bandas espectrales.
- **El radiómetro:** determina la potencia de la radiación emitida por el objeto en determinados rangos de banda (visible, IR, microondas).
- **El espectrorradiómetro:** determina la potencia de la radiación en varios rangos de bandas.
- **El radiómetro hiperspectral:** es el tipo de sensor pasivo más preciso que se utiliza en teledetección. Por su gran capacidad de resolución, distingue cientos de bandas espectrales estrechas dentro de las regiones visible, NIR y MIR.
- **El radiómetro de imágenes:** escanea el objeto o superficie para reproducir la imagen.
- **La sonda:** detecta las condiciones atmosféricas en sentido vertical.
- **El acelerómetro:** detecta los cambios de velocidad por unidad de tiempo (por ejemplo, lineal o de rotación).

2.3. MARCO LEGAL

Ley 99 de 1993

La Ley 99 de 1993 reconocida como la Ley General Ambiental de Colombia, sienta las bases para la administración y protección del medio ambiente y los recursos naturales renovables. Establece el Ministerio del Medio Ambiente como el órgano principal responsable de desarrollar políticas y normativas para garantizar un ambiente saludable y preservar los recursos naturales. Asimismo, organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA), que comprende principios constitucionales, regulaciones ambientales, entidades gubernamentales y organizaciones comunitarias. Además, define las responsabilidades de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) en la gestión y conservación ambiental a nivel regional. (Villalobos, 2018)

Ley 1523 de 2012

Esta ley establece la política nacional de gestión del riesgo de desastres y crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD). Subraya la responsabilidad compartida entre las autoridades y los ciudadanos en la prevención, preparación, respuesta y recuperación ante desastres. Los principios rectores engloban la igualdad en la atención, la protección de la vida y los derechos, la solidaridad social, la participación ciudadana, el respeto a la diversidad cultural, la precaución ante posibles daños, la sostenibilidad ambiental y la coordinación entre entidades. Este marco legal persigue asegurar la seguridad, el bienestar y la calidad de vida de las personas, así como fomentar un desarrollo sostenible mediante la gestión integral del riesgo de desastres en el país. (Función Pública, 2023)

Decreto 1257 de 2017

Decreto emitido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible el 25 de julio de 2017, crea la Comisión Intersectorial para el Control de la Deforestación y la Gestión Integral para la Protección de Bosques Naturales. Su propósito es dirigir las políticas públicas hacia la conservación de los bosques y la regulación de la deforestación en Colombia, contando con la participación de funcionarios de alto rango de diferentes ministerios. Esta comisión se encarga de proponer estrategias para controlar la deforestación y coordinar acciones con entidades territoriales, la sociedad civil y la comunidad para supervisar y analizar los procesos de deforestación en el país. (De La Rosa, 2017)

Ley 1930 de 2018

Esta ley publicada el 27 de julio de 2018 declara los páramos como áreas de manejo especial en Colombia, priorizando su conservación y gestión integral. Reconoce su importancia para la biodiversidad y la provisión de agua, estableciendo la necesidad de planes de manejo ambiental para proyectos en estos ecosistemas. Además, insta al monitoreo continuo de la biodiversidad y servicios ecosistémicos en colaboración con instituciones y la academia. (Función Pública, 2021)

CONPES 4021 de 2020

Este documento CONPES denominado “Política Nacional para el control de la Deforestación y la Gestión Sostenible de los Bosques”, busca reducir la deforestación en Colombia en un 30% para 2022 y alcanzar cero deforestaciones para 2030. Se centra en promover el uso sostenible de los bosques, articular acciones intersectoriales, prevenir actividades ilegales y fortalecer la gestión de la información. A pesar de los compromisos nacionales e internacionales, la deforestación sigue aumentando, lo que destaca la necesidad de una

implementación efectiva y de abordar los conflictos sociales y de tenencia de la tierra en el país. (Rodríguez Timaná, 2021)

Ley 2111 de 2021

Ley aprobada por el Congreso de la República el 29 de julio del 2021, por el cual reforma el título XI del Código Penal relacionado con los delitos ambientales. Esta nueva legislación, dividida en seis capítulos, aborda aspectos como la protección de recursos naturales, sanciona delitos como deforestación y ecocidio, y establece medidas cautelares. Además, modifica el Código de Procedimiento Penal para asignar ciertos delitos a jueces especializados, y crea dos nuevas instituciones dentro de la fiscalía general de la Nación para fortalecer la investigación de delitos ambientales. (Soto Rincón, 2021)

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene como propósito “Determinar los factores que han provocado deforestación en el páramo de Berlín mediante análisis de información existente, uso de fuentes y técnicas de SIG para la identificación de los impactos significativos en esta área de estudio”. La metodología que se empleará para el trabajo de grado es de tipo Descriptiva y Explicativa; el enfoque de la investigación es tanto Cuantitativa como Cualitativa; el método empleado para desarrollar el proyecto es inductivo y, finalmente, las técnicas que se emplearán durante este proceso será la observación y el análisis de información existente, usos de Sistemas de Información Geográfica (SIG) con técnicas de teledetección para análisis de coberturas, uso de software y métodos GIS como ArcGIS Pro para análisis de imágenes satelitales y mapeo de coberturas del suelo. El proyecto de investigación se realizará a lo largo de tres fases, cada una con sus recursos y actividades correspondientes como se explica a continuación:

Fase 1: Recopilación de Información Existente. En esta primera fase se realizará la recopilación de información existente tanto Shapefile del páramo de Berlín como Cartografía general del área de estudio en el portal Colombia en Mapas del IGAC. Asimismo, se llevará a cabo la descarga de imágenes satelitales, así como ráster de coberturas del suelo del área de estudio descargadas del Living Atlas de ESRI. Con los ráster obtenidos para los años 2017 y 2023, se hará una clasificación de las diferentes coberturas del suelo que se presentan en la zona de estudio con el uso del software ArcGIS Pro. Como parte de esta fase se realizará la elaboración y análisis de un mapa de bitemporalidad, por medio del cual se identificarán los factores desencadenantes de deforestación en el Páramo de Berlín y de esta manera obtener una comprensión más precisa de la dinámica de la región.

Fase 2: Análisis e Interpretación de Información. En la segunda fase del proyecto, con las imágenes satelitales descargadas en la fase anterior, se

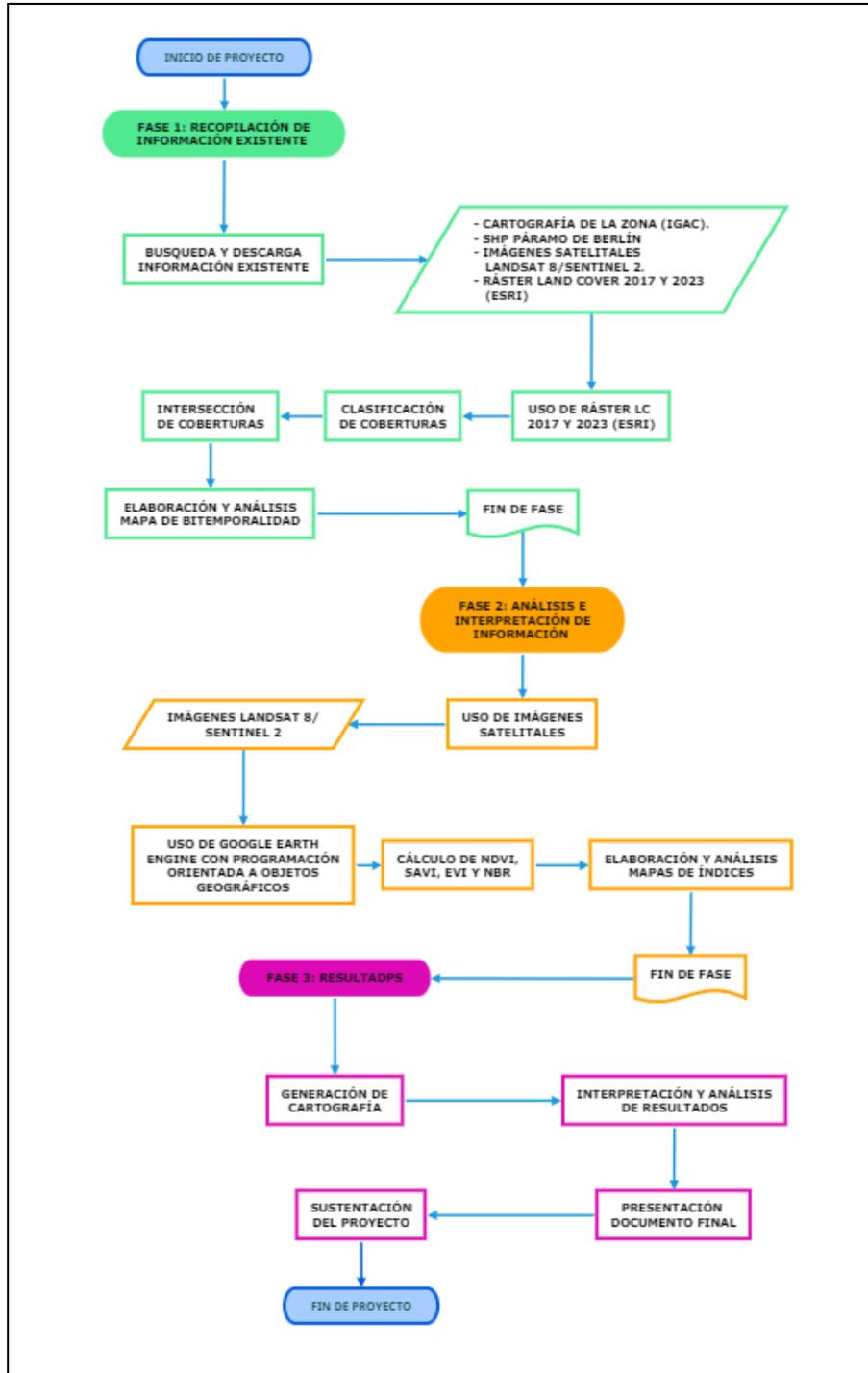
emplearán técnicas de teledetección por medio de las cuales se calcularán los índices NDVI, SAVI, EVI y NBR usando la plataforma de Google Earth Engine y empleando programación orientada a objetos geográficos y lenguaje JavaScript. Con los cálculos obtenidos de los índices mencionados previamente, se elaborarán varios mapas que permitan identificar, interpretar, reconocer y analizar detalladamente efectos y cambios en la vegetación que se hayan originado por la deforestación.

Fase 3: Resultados. En la tercera fase del proyecto, se creará la cartografía del área de estudio utilizando el SIG ArcGIS Pro, empleando los datos recopilados y los índices calculados previamente para representar las características y dinámicas del territorio. Seguidamente, se llevará a cabo la interpretación y análisis de resultados que permitan cuestionar los impactos significativos que ha provocado la deforestación en el páramo de Berlín sobre las condiciones del suelo, clima y agua.

Finalmente, se realizará la Presentación, Sustentación y Entrega del trabajo final. Se presentará un documento que sintetice los análisis, cálculos, resultados además de las conclusiones obtenidas a lo largo de las fases previas, así como el anexo de los mapas y cartografía obtenida para la zona de estudio. Con esto se presentará el impacto y las recomendaciones del estudio realizado para que las entidades encargadas del ordenamiento del área de estudio tomen acciones encaminadas a la protección del páramo de Berlín.

A continuación, se presenta un diagrama donde se muestra la manera en que se desarrollará el proyecto de investigación:

Figura 1. Diseño de la Investigación



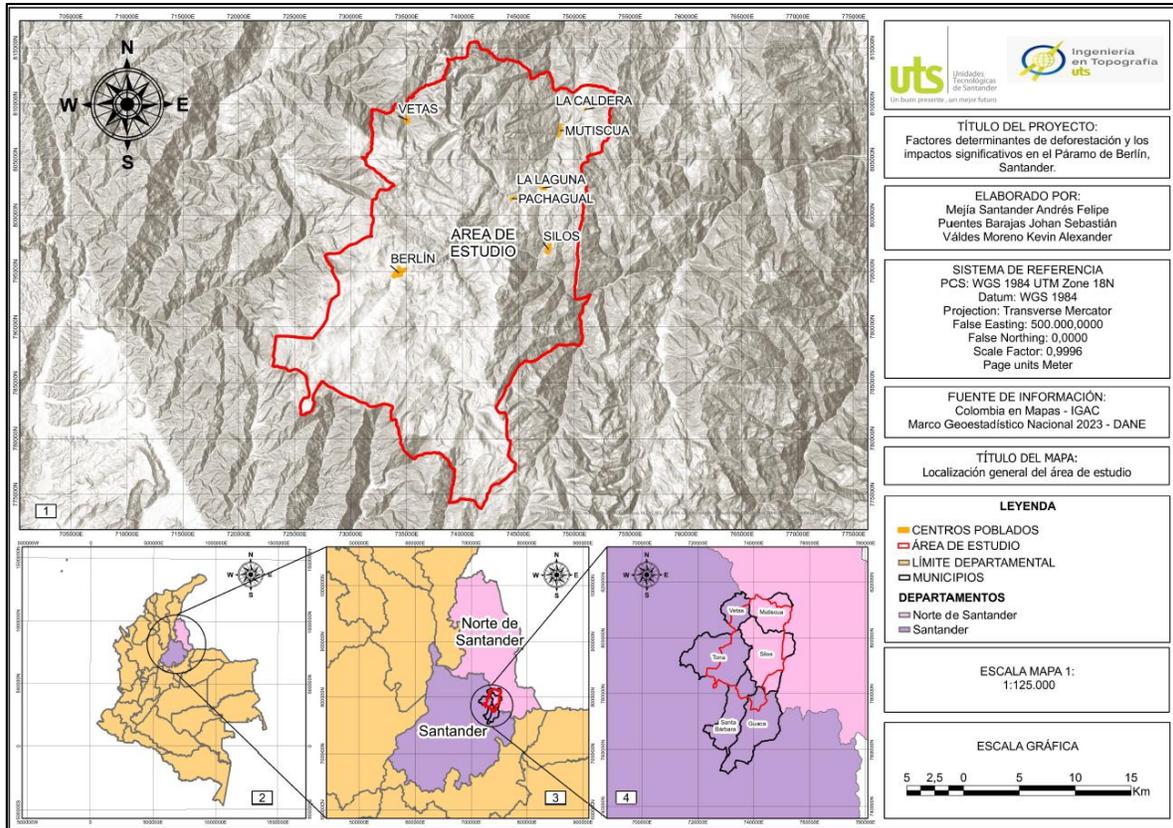
Fuente: Autores

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

4.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio determinada para el proyecto de investigación está conformada por el DMI Páramo de Berlín y otras veredas cercanas a los límites del DMI, veredas pertenecientes a los municipios de Vetas, Guaca, Santa Bárbara y Mutiscua en donde se destacan algunos centros poblados que generan impactos positivos o negativos sobre el área, por lo cual, es importante estudiar los efectos que se generan sobre estas zonas. El Páramo de Berlín se encuentra ubicado geográficamente al norte de la Cordillera Oriental entre los departamentos de Santander y Norte de Santander, y pertenece a la Unidad Biogeográfica de Santurbán. Es un área de alto valor ecosistémico para estos dos departamentos debido a su diversidad tanto en flora, fauna y paisajes naturales, así como de su poder de abastecimiento hídrico. El Páramo de Berlín fue declarado como “Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables DMI” por el “Acuerdo No. 017 del 23 de noviembre de 2007” por parte de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) y por la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR).

Figura 2. Mapa de Localización del Área de Estudio



Fuente: Autores

Los municipios que hacen parte del DMI Páramo de Berlín son: Municipio de Tona, departamento de Santander, con 14.860 ha lo que equivale a un 33,57% de su extensión; y los municipios de Silos con 27.480 ha y Mutiscua 1.932 ha, Norte de Santander, lo que equivale al 62,07% y 4,36% respectivamente, para un total de un 66.44% de su extensión general.

El DMI Páramo de Berlín cuenta con una extensión de 42.272 hectáreas y un perímetro de 108 km, comprende alturas entre los 2.200 metros como mínimo y 4.100 metros como máxima. Fue delimitado, según el Acuerdo N0. 017 de 2007, por las divisorias de aguas de las microcuencas que lo rodean entre las que destacan la del Río Caraba, Río Arauca, Río Chicamocha, Río de Oro, Río Tona, Río Charta, Río Vetas entre otras. Dentro de esta área se destaca el cruce de la vía

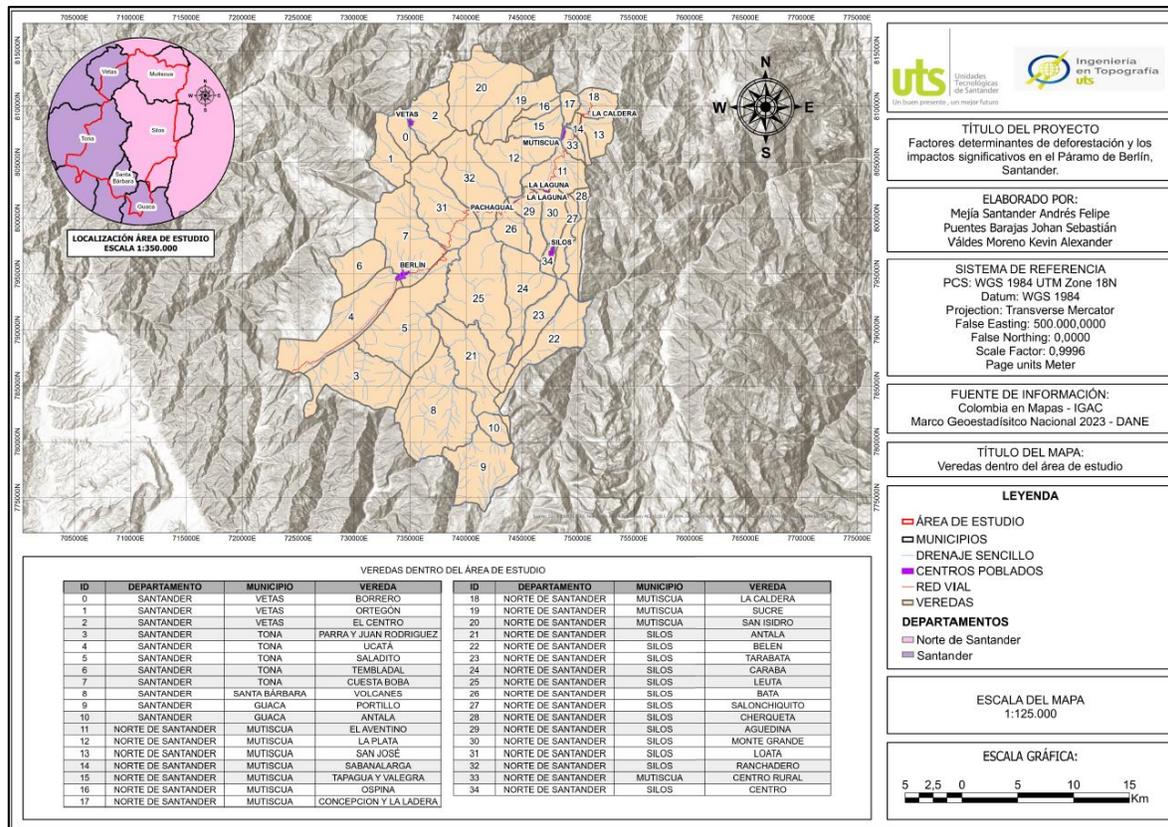
nacional Bucaramanga – Pamplona – Cúcuta que recorre 39 Km de su extensión total. Como se menciona en el Resumen Ejecutivo del DMI, el Páramo de Berlín se encuentra entre las coordenadas planas (1.123.540 m, 1.148.473 m) al Este y (1.269.000 m, 1.301.000 m) al Norte. (CORPONOR, 2007)

Tabla 2. Municipios dentro del DMI Páramo de Berlín

Municipio	Área Total (Has)	Área en DMI (Has)	% Área en DMI
Mutiscua	15.887	1.932	12.16
Silos	39.092	27.480	70.30
Tona	27.442	14.860	54.15
TOTAL	82.421	44.272	53.72

Fuente: CORPONOR

Figura 3. Mapa de Veredas dentro del Área de Estudio



Fuente: Autores

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

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

En general, la zona de estudio presenta un área aproximada de 66.475 hectáreas divididas en 35 veredas pertenecientes a los municipios de Tona, Vetas, Santa Bárbara, Guaca, Silos y Mutiscua, estos municipios corresponden a los departamentos de Norte de Santander y Santander. Cabe aclarar que, el valor de las áreas de las 35 veredas y la del área de estudio no son iguales, ya que dentro de la sumatoria de las solas veredas no se incluyen las áreas pertenecientes a ciertos centros poblados por lo cual, el área total de las 35 veredas es de aproximadamente 66.406 hectáreas. A continuación, se presenta una tabla con los departamentos, municipios y veredas que se encuentran dentro del área de estudio:

Tabla 3. Veredas Área de Estudio

VEREDAS ÁREA DE ESTUDIO				
#	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	VEREDA	ÁREA (HA)
1	N. DE SANTANDER	SILOS	RANCHADERO	2922,35
2	N. DE SANTANDER	SILOS	LOATA	3076,941
3	N. DE SANTANDER	SILOS	BATA	1012,767
4	N. DE SANTANDER	SILOS	AGUEDINA	1050,562
5	N. DE SANTANDER	SILOS	MONTE GRANDE	1030,718
6	N. DE SANTANDER	SILOS	LEUTA	4971,071
7	N. DE SANTANDER	SILOS	TARABATA	1328,507
8	N. DE SANTANDER	SILOS	CENTRO	308,1522
9	N. DE SANTANDER	SILOS	SALONCHIKUITO	694,2938
10	N. DE SANTANDER	SILOS	CHERQUETA	1085,311
11	N. DE SANTANDER	SILOS	ANTALA	2890,97
12	N. DE SANTANDER	SILOS	CARABA	2270,249
13	N. DE SANTANDER	SILOS	BELÉN	2073,071
14	N. DE SANTANDER	MUTISCUA	SUCRE	1641,285
15	N. DE SANTANDER	MUTISCUA	LA PLATA	2318,075
16	N. DE SANTANDER	MUTISCUA	EL AVENTINO	1522,786
17	N. DE SANTANDER	MUTISCUA	SAN ISIDRO	3479,381
18	N. DE SANTANDER	MUTISCUA	OSPINA	371,105
19	N. DE SANTANDER	MUTISCUA	TAPAGUA Y VALEGRA	934,485
20	N. DE SANTANDER	MUTISCUA	CONCEPCIÓN Y LA LADERA	388,2676
21	N. DE SANTANDER	MUTISCUA	LA CALDERA	810,3729

VEREDAS ÁREA DE ESTUDIO				
#	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	VEREDA	ÁREA (HA)
22	N. DE SANTANDER	MUTISCUA	SAN JOSÉ	800,2909
23	N. DE SANTANDER	MUTISCUA	SABANALARGA	335,8012
24	N. DE SANTANDER	MUTISCUA	CENTRO RURAL	386,2487
25	SANTANDER	TONA	UCATÁ	3589,564
26	SANTANDER	TONA	PARRA Y JUAN RODRIGUEZ	3523,221
27	SANTANDER	TONA	CUESTABOBA	3454,742
28	SANTANDER	TONA	SALADITO	4526,607
29	SANTANDER	TONA	TEMBLADAL	1532,797
30	SANTANDER	VETAS	ORTEGÓN	1340,093
31	SANTANDER	VETAS	BORRERO	795,1429
32	SANTANDER	VETAS	EL CENTRO	1706,89
33	SANTANDER	SANTA BÁRBARA	VOLCANES	4861,868
34	SANTANDER	GUACA	ANTALA	547,6496
35	SANTANDER	GUACA	PORTILLO	2824,839
			TOTAL	66406,4748

Fuente: Autores

4.2. FASE 1: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE

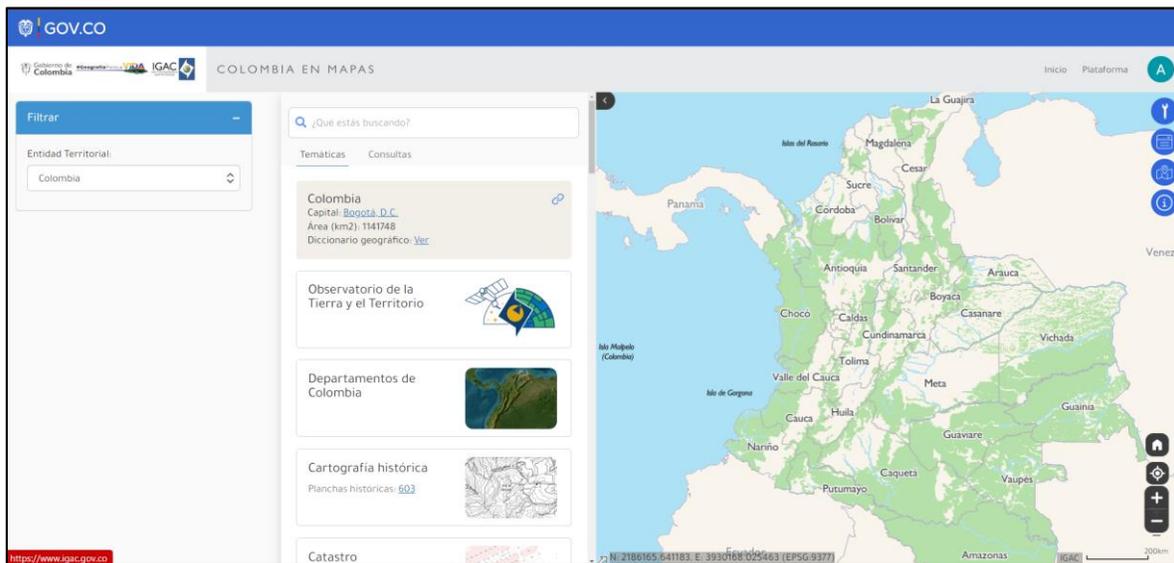
La primera fase del proyecto de investigación consiste en la descarga de información existente del área de estudio, información que recopile los elementos, características y demás datos necesarios para realizar las actividades y procedimientos que se requieran, esto con el fin de obtener los resultados esperados que se plantean en los objetivos del proyecto. Además de esto, se elaborará la clasificación de coberturas del suelo, así como la elaboración del mapa de bitemporalidad.

4.2.1. BASE DE DATOS VECTORIAL BÁSICA DE COLOMBIA ESCALA 1:100.000

Para el proyecto de investigación se descargó una base de datos vectorial básica de Colombia, en formato Shapefile, a escala 1:100.000. Esta base de datos vectorial se obtuvo directamente de la plataforma “Colombia en Mapas”.

“Colombia en Mapas” es una plataforma virtual, desarrollada por el IGAC en el año 2021. Esta plataforma dispone un atlas digital de diversos mapas del país. Su objetivo es el de “integrar y disponer de datos geográficos en una plataforma abierta y fácil de usar para ciudadanos y entidades” (IGAC, 2021). Dentro de sus diversos productos se encuentra información de varios portales y entidades como el ANLA, IDEAM, INVEMAR, entre otras. Con esta propuesta, el IGAC busca que la apertura de información oficial permita una toma de decisiones acertadas por parte de entidades del orden nacional, regional y local.

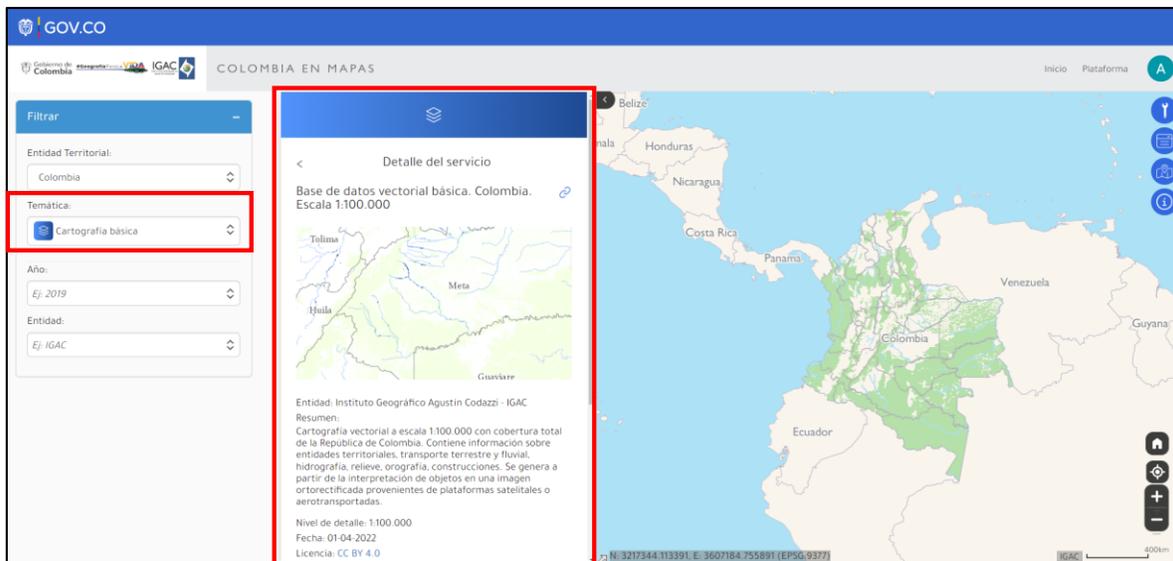
Figura 4. Plataforma Virtual "Colombia en Mapas"



Fuente: Autores

Para acceder a descargar la base de datos vectorial se ingresó directamente a través del link <https://www.colombiaenmapas.gov.co/>. Al ingresar a este link, se despliega la plataforma virtual con su respectiva interfaz como se muestra en la **Figura 4**. Una vez en la plataforma, en la pestaña Temáticas, se procede a buscar la información requerida, para este caso, en la temática de Cartografía básica la opción de **Base de datos vectorial básica. Colombia. Escala 1:100.000 (2022)** **Figura 5**.

Figura 5. Base de Datos Vectorial Básica. Colombia. Escala 1:100.000



Fuente: Autores

Al ingresar al producto seleccionado de la respectiva temática, en la parte inferior de la ventana que despliega el “Detalle del servicio”, se encuentra disponible la opción con los diferentes formatos de descarga con los que cuenta el usuario. Para la investigación se seleccionó el formato Shapefile y se prosiguió a descargar la información, la cual es entregada en una carpeta comprimida.

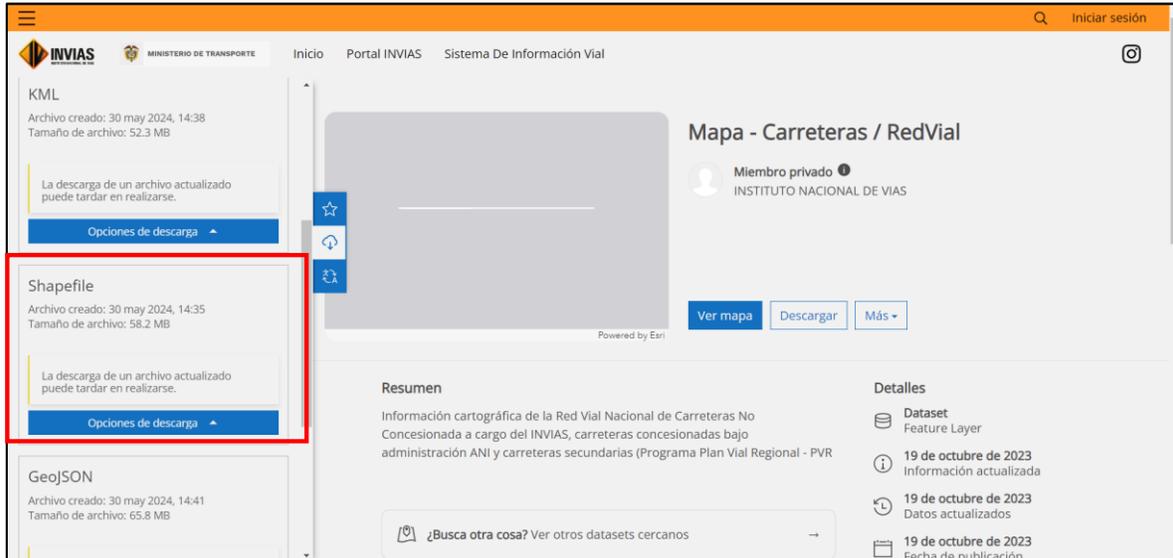
La base de datos vectorial de Colombia que se descargó contiene información de entidades territoriales, transporte terrestre y fluvial, hidrografía, relieve, orografía y construcciones con una cobertura del orden nacional. Esta base de datos se empleará para los diferentes mapas que se elaborarán a lo largo de la investigación usando herramientas SIG.

4.2.2. SHAPEFILE VÍAS NACIONALES (INVAS)

Como parte de la descarga de información existente, para la generación de la cartografía que se elaborará en el proyecto, se buscó y descargó información correspondiente a las vías nacionales de Colombia, datos abiertos suministrados por el INVIAS en su página web. Para acceder y descargar esta información se hizo

a través del siguiente link: <https://inviasopendata.invias.opendata.arcgis.com/datasets/699ebf3812e14b159edc2319f1fb800a/about>.

Figura 6. Plataforma de INVIAS



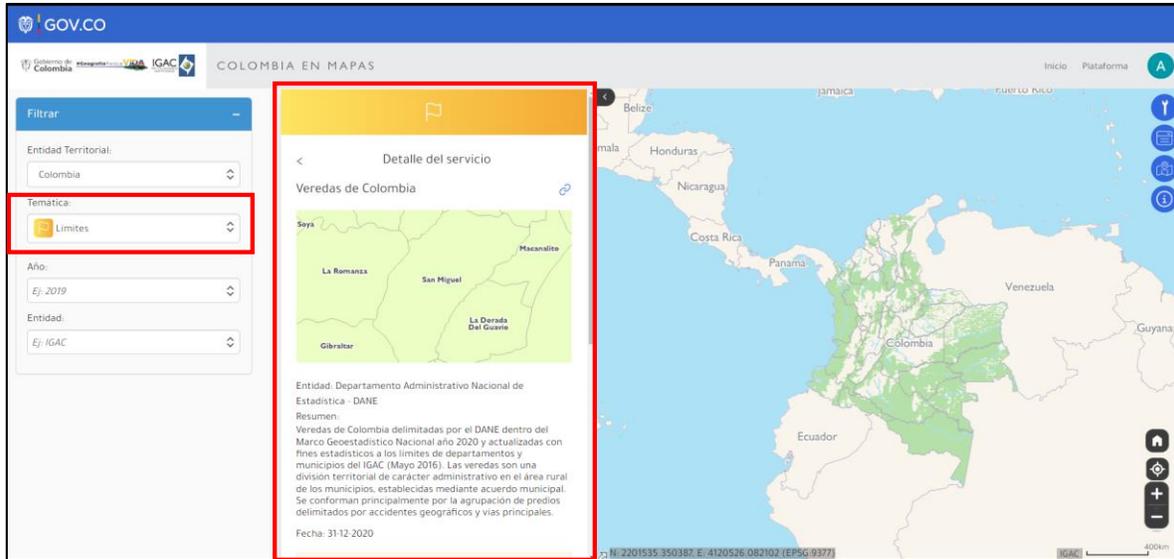
Fuente: Autores

Como se visualiza en la **Figura 6**, el INVIAS pone a disposición la “información cartográfica de la red vial nacional no concesionada a cargo del INVIAS, carreteras concesionadas bajo administración ANI y carreteras secundarias (Programa Plan Vial Regional)” (INVIAS, 2023). Este producto está disponible en diferentes formatos de descarga con fecha de actualización de octubre de 2023. Para el proyecto de investigación se descargó estos datos en formato tipo Shapefile debido a que se utilizará software SIG para su procesamiento. La información suministrada por el INVIAS se descarga en una carpeta comprimida.

4.2.3. SHAPEFILE VEREDAS NIVEL NACIONAL

Como parte de la búsqueda de información existente, en este caso para la elaboración de la cartografía del proyecto de investigación y para la delimitación del área de estudio, se descargó la información correspondiente a Veredas del nivel nacional por medio de la plataforma “Colombia en Mapas”.

Figura 7. Veredas Nivel Nacional



Fuente: Autores

Para descargar esta información, en la pestaña de temáticas de la plataforma, se buscó la temática correspondiente a “Límites”. Una vez se despliegan los diferentes productos de esta temática, se procede a buscar la información de Veredas como se observa en la Figura 7. Esta información que se encuentra en la plataforma hace parte del DANE, entidad que delimitó las veredas como parte del Marco Geoestadístico Nacional del año 2020. Una vez seleccionada la información, en la ventana “Detalle del Servicio”, en la parte inferior, se selecciona el formato de descarga que se requiera. Para el proyecto de investigación se seleccionó el formato Shapefile debido a que se trabajará el archivo con herramientas SIG.

4.2.4. CENTROS POBLADOS NIVEL NACIONAL

Continuando con la descarga de información existente, en este caso se buscó información correspondiente a los centros poblados que existen en Colombia. Dicha información se consultó por medio del geoportal del DANE, entidad que dispone datos geoestadísticos abiertos los cuales se pueden descargar libremente. Estos datos serán utilizados para la elaboración de la cartografía correspondiente al

proyecto de investigación. La búsqueda y descarga de estos datos se realizó por medio del siguiente link: <https://geoportal.dane.gov.co/servicios/descarga-y-metadatos/datos-geoestadisticos/>.

Figura 8. Centros Poblados – Plataforma DANE

Documento	Versión	Formato	Tamaño del archivo	Acción
Versión MGN2023-Nivel Sector rural	2023	shapefile	70 MB	Descargar
Versión MGN2023-Nivel Area censal urbana (cabeceras y centros poblados)	2023	shapefile	70 MB	Descargar
Versión MGN2018-Nivel Area censal urbana (cabeceras y centros poblados)	2018	shapefile	70 MB	Descargar
Versión MGN2022-Nivel Area censal urbana (cabeceras y centros poblados)	2022	shapefile	70 MB	Descargar

Fuente: Autores

Al ingresar al link anterior, se despliega una ventana con todos los datos geoestadísticos disponibles por parte del DANE, clasificados por años. Dentro de esta página se buscó el archivo que contenía los datos de las cabeceras y centros poblados de Colombia. Para el proyecto de investigación se descargó el archivo de Cabeceras y Centros poblados dentro del Marco Geoestadístico Nacional del año 2023, que se encuentra en la página tal como se ve en la **Figura 8**. Este archivo se descargó en formato Shapefile debido a que se trabajará y procesarán los datos con herramientas SIG.

4.2.5. RÁSTER DE COBERTURAS DEL SUELO AÑOS 2017 Y 2023

Avanzando en la búsqueda de información existente para realizar los diferentes procedimientos y actividades que permitan conseguir los objetivos planteados para el proyecto de investigación, se descargaron dos archivos ráster de la plataforma

de “ArcGIS Living Atlas of the World”, que contiene la clasificación de coberturas del suelo a nivel mundial por años.

La información de coberturas del suelo que dispone ESRI en la plataforma virtual de “ArcGIS Living Atlas of the World” contiene una capa a nivel global de las coberturas de uso del suelo, producto derivado de conjuntos de imágenes del satélite Sentinel 2 con resolución de 10 metros de la Agencia Espacial Europea (ESA). Los datos disponibles se encuentran clasificados desde el año 2017 al 2023 y son generados cada año por Impact Observatory y ESRI, quienes procesan cerca de 400.000 imágenes de la tierra por año. (ESRI, 2024)

La busca y descarga de los dos ráster para el área de estudio seleccionada, se realizó por medio del siguiente enlace:
<https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer/#mapCenter=55.24574%2C25.06542%2C11&mode=step&timeExtent=2017%2C2023&year=2023>.

Figura 9. Plataforma “ArcGIS Living Atlas of the World”

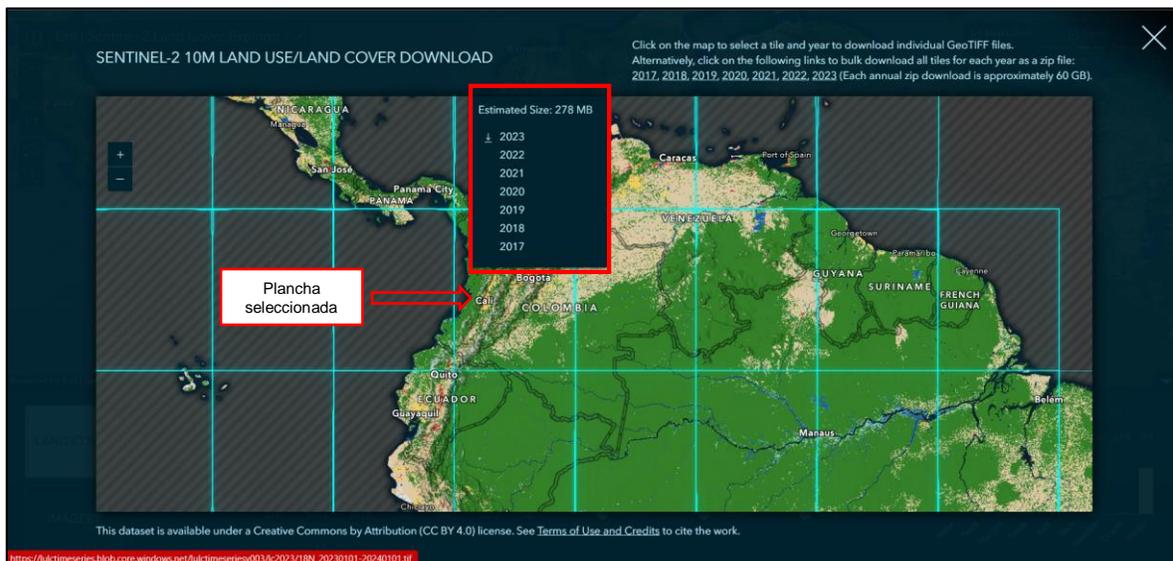


Fuente: Autores

Cuando se ingresa a la plataforma del “Living Atlas of the World” por medio del anterior enlace, se despliega una ventana con la información visual de las coberturas del suelo que lleva por nombre “Sentinel-2 Land Cover Explorer” tal como se visualiza en la **Figura 9**.

En esta ventana se pueden observar las diferentes coberturas que se presentan en el territorio, clasificadas con sus nombres y convenciones respectivamente. Asimismo, se presenta en la parte inferior derecha un gráfico de barras que representa los porcentajes de cobertura de la zona sobre la cual se encuentra centrado en el mapa. Para descargar el ráster con la información que se requiere, se selecciona la opción que dice “Download GeoTIFF”, localizada en la parte inferior de la ventana como se visualiza en el rectángulo rojo de la **Figura 9**.

Figura 10. Descarga de Ráster de Coberturas del Suelo



Fuente: Autores

Al seleccionar esta opción, la plataforma se dirige a una ventana en donde se muestra el mapa global dividido en planchas, las cuales cubren las zonas que tienen coberturas clasificadas. Después de localizarse en la plancha que contiene el área de estudio, se selecciona dicha plancha y se despliega una pequeña ventana con

los diferentes ráster clasificados por años como se ve en la **Figura 10** (rectángulo rojo).

Para el proyecto de investigación se descendieron de la plancha seleccionada los ráster correspondientes a los años 2017 y 2023 con los cuales se generará un mapa de bitemporalidad, que permita analizar y determinar cómo ha cambiado la cobertura del suelo en estos dos años en el área de estudio. Estos ráster se procesarán y trabajarán empleando herramientas SIG.

4.2.6. DESCARGA DE IMÁGENES SATELITALES

Como parte de la búsqueda de información existente, y como recurso necesario para el desarrollo del objetivo específico número dos y tres, para el proyecto de investigación se descendieron imágenes satelitales LANDSAT 8 y SENTINEL 2A por medio de la plataforma virtual de Google Earth Engine. Para la descarga de estas imágenes se utilizó programación orientada a objetos geográficos con la ayuda del lenguaje de programación de JavaScript.

Las imágenes satelitales LANDSAT 8 descendidas para el proyecto hacen parte de la colección de imágenes o Dataset provistas por el USGS (United States Geological Survey) y cargadas en la nube de la plataforma, y que lleva por nombre **“USGS Landsat 8 Level 2, Collection 2, Tier 1”**. Esta colección son un grupo de imágenes de alta calidad, procesadas y corregidas atmosféricamente tanto la reflectancia como la temperatura de la superficie, información que es capturada por el satélite por medio de sus sensores incorporados como lo son el OLI (Operational Land Imager) y el TIRS (Thermal Infrared Sensor).

Figura 11. Colección de Imágenes LANDSAT 8

USGS Landsat 8 Level 2, Collection 2, Tier 1



Dataset Availability
2013-03-18T15:58:14 -

Dataset Provider
[USGS](#)

Collection Snippet

```
ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C02/T1_L2")
```

[See example](#)

Tags

cfmask cloud fmask
global l8sr landsat lasrc

DESCRIPTION BANDS IMAGE PROPERTIES TERMS OF USE

This dataset contains atmospherically corrected surface reflectance and land surface temperature derived from the data produced by the Landsat 8 OLI/TIRS sensors. These images contain 5 visible and near-infrared (VNIR) bands and 2 short-wave infrared (SWIR) bands processed to orthorectified surface reflectance, and one thermal infrared (TIR) band processed to orthorectified surface temperature. They also contain intermediate bands used in calculation of the ST products, as well as QA bands.

Landsat 8 SR products are created with the Land Surface Reflectance Code (LaSRC). All Collection 2 ST products are created with a single-channel algorithm jointly created by the Rochester Institute of Technology (RIT) and National Aeronautics and Space Administration (NASA) Jet Propulsion Laboratory (JPL).

Strips of collected data are packaged into overlapping "scenes" covering approximately 170km x 183km using a [standardized reference grid](#).

Some assets have only SR data, in which case ST bands are present but empty. For assets with both ST and SR bands, 'PROCESSING_LEVEL' is set to 'L2SP'. For assets with only SR bands, 'PROCESSING_LEVEL' is set to 'L2SR'.

[Additional documentation and usage examples.](#)

Data provider notes:

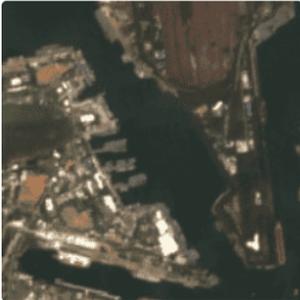
[CLOSE](#) [IMPORT](#)

Fuente: Autores

La imagen de SENTINEL 2 descargada para el proyecto forma parte del Dataset provisto por la ESA (European Space Agency) y que lleva por nombre "Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A". Este grupo de imágenes son de alta calidad y al igual que LANDSAT 8, están procesadas y corregidas atmosféricamente.

Figura 12. Colección de Imágenes SENTINEL 2

Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument,...



Dataset Availability
2017-03-28T00:00:00 -

Dataset Provider
[European Union/ESA/Copernicus](#)

Collection Snippet

```
ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED")
```

[See example](#)

Tags

copernicus

esa

eu

msi

reflectance

sentinel

sr

DESCRIPTION
BANDS
IMAGE PROPERTIES
TERMS OF USE

After 2022-01-25, Sentinel-2 scenes with PROCESSING_BASELINE '04.00' or above have their DN (value) range shifted by 1000. The HARMONIZED collection shifts data in newer scenes to be in the same range as in older scenes.

Sentinel-2 is a wide-swath, high-resolution, multi-spectral imaging mission supporting Copernicus Land Monitoring studies, including the monitoring of vegetation, soil and water cover, as well as observation of inland waterways and coastal areas.

The Sentinel-2 L2 data are downloaded from scihub. They were computed by running sen2cor. WARNING: ESA did not produce L2 data for all L1 assets, and earlier L2 coverage is not global.

The assets contain 12 UINT16 spectral bands representing SR scaled by 10000 (unlike in L1 data, there is no B10). There are also several more L2-specific bands (see band list for details). See the [Sentinel-2 User Handbook](#) for details. In addition, three QA bands are present where one (QA60) is a bitmask band with cloud mask information. For more details, [see the full explanation of how cloud masks are computed](#).

EE asset ids for Sentinel-2 L2 assets have the following format: COPERNICUS/S2_SR/20151128T002653_20151128T102149_T56MNN. Here the first numeric part represents the sensing date and time, the second numeric part represents the

CLOSE
IMPORT

Fuente: Autores

Las imágenes LANDSAT 8 están conformadas por un total de 11 bandas espectrales, donde ocho bandas tienen una resolución espacial de 30 metros, otra banda 15 metros y dos de 100 metros. Por su parte, las imágenes SENTINEL 2 tienen un total de 13 bandas espectrales, donde cuatro bandas cuentan con una resolución espacial de 10 metros, seis bandas con resolución de 20 metros y finalmente, tres bandas con 60 metros de resolución espacial. Cada una de estas bandas almacena información específica recopilada por el satélite tanto del espectro visible como del infrarrojo cercano y del infrarrojo de onda corta. A continuación, se presentan dos tablas con información general de cada una de las bandas espectrales de los satélites LANDSAT 8 y SENTINEL 2:

Tabla 4. Bandas Imágenes LANDSAT 8

BANDAS LANDSAT 8				
BANDA	NOMBRE	LONG. DE ONDA	RESOLUCIÓN	INSTRUMENTO
Band 1	Coastal Aerosol	(0,43 - 0,45 μm)	30 m	OLI
Band 2	Blue	(0,45 - 0,51 μm)	30 m	OLI
Band 3	Green	(0,53 - 0,59 μm)	30 m	OLI
Band 4	Red	(0,64 - 0,67 μm)	30 m	OLI
Band 5	Near-Infrared	(0,85 - 0,88 μm)	30 m	OLI
Band 6	SWIR 1	(1,57 - 1,65 μm)	30 m	OLI
Band 7	SWIR 2	(2,11 - 2,29 μm)	30 m	OLI
Band 8	Panchromatic	(0,50 - 0,68 μm)	15 m	OLI
Band 9	Cirrus	(1,36 - 1,38 μm)	30 m	OLI
Band 10	TIRS 1	(10,6 - 11,19 μm)	100 m	TIRS
Band 11	TIRS 2	(11,5 - 12,51 μm)	100 m	TIRS
*SWIR: Shorth Wavelength Infrared				
*TIRS: Thermal Infrared Sensor				
*OLI: Operational Land Imager				

Fuente: (USGS, 2023)

Tabla 5. Bandas Imágenes SENTINEL 2

BANDAS SENTINEL 2				
BANDA	NOMBRE	L. ONDA CENTRAL	RESOLUCIÓN	INSTRUMENTO
B1	Coastal Aerosol	(443 nm)	60 m	MSI
B2	Blue	(490 nm)	10 m	MSI
B3	Green	(560 nm)	10 m	MSI
B4	Red	(665 nm)	10 m	MSI
B5	VNIR	(705 nm)	20 m	MSI
B6	VNIR	(740 nm)	20 m	MSI
B7	VNIR	(783 nm)	20 m	MSI
B8	VNIR	(842 nm)	10 m	MSI
B8A	VNIR	(865 nm)	20 m	MSI
B9	SWIR	(940 nm)	60 m	MSI
B10	SWIR	(1375 nm)	60 m	MSI
B11	SWIR	(1610 nm)	20 m	MSI
B12	SWIR	(2190 nm)	20 m	MSI
*VNIR: Visible and Near Infrared				
*SWIR: Shorth Wave Infrared				
*MSI: MultiSpectral Instrument				

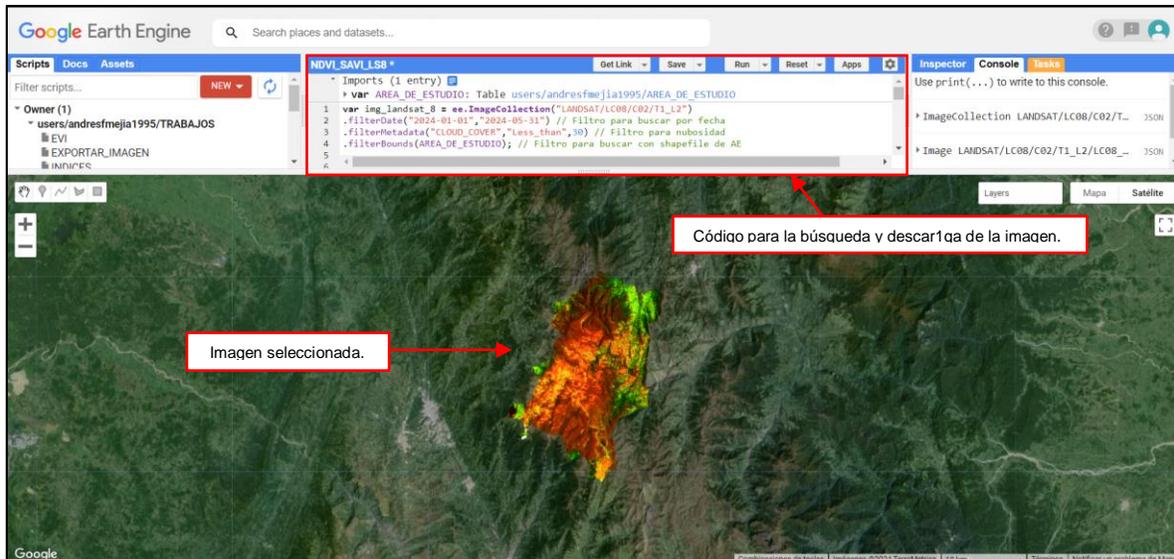
Fuente: (ESA, 2024)

Para la búsqueda y descarga de las imágenes satelitales se crearon varias líneas de código en el Script de la plataforma de Google Earth Engine. Como primer paso, en la búsqueda de las imágenes, se creó una primera variable en el código para buscar en la colección o Dataset, mostrados en las figuras anteriores, una imagen con una cobertura de nubes inferior al 20%. Para esta parte dentro del código se aplicaron tres filtros de búsqueda que fueron: Fecha (inicio: 2024-01-01 y fin: 2024-05-31), Cobertura de nubes (menos del 20%) y Límites (Geometría o SHP del área de estudio).

En segundo lugar, y en otra línea del código, se declaró una nueva variable para realizar la selección final de la imagen que tuviera el valor menor de la cobertura de nubes con respecto al valor indicado de 20%.

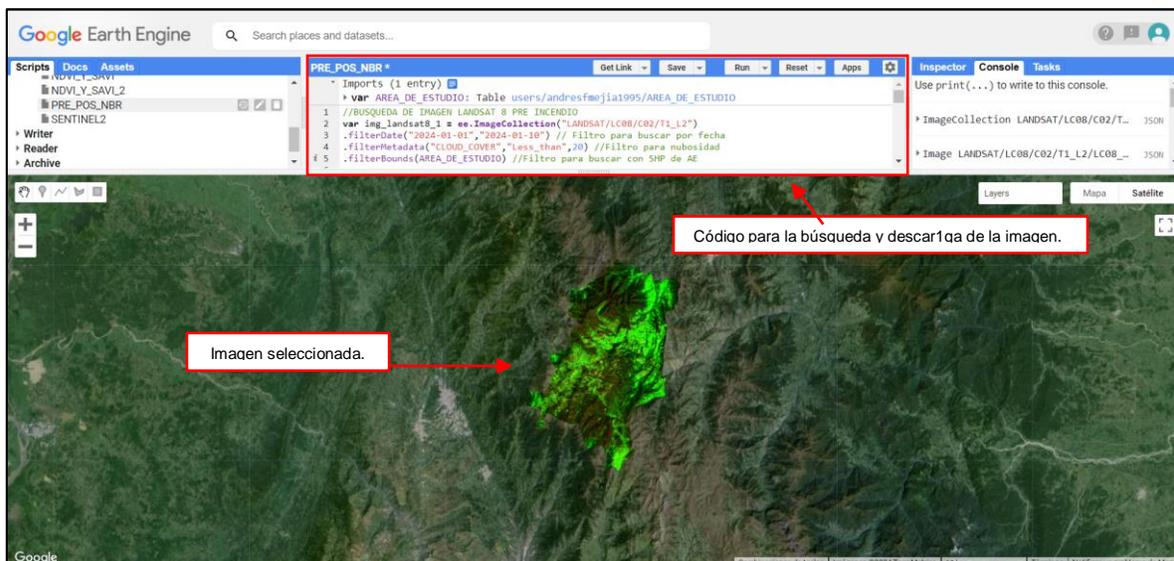
Después de seleccionada la imagen correspondiente, se realizó en otra línea de código un clip con el Shapefile del área de estudio guardándose el resultado del procedimiento en una nueva variable. Finalmente, para mostrar la imagen seleccionada y recortada previamente, en otra línea de código se agregó la variable que contiene la imagen con el recorte y se configuraron los mínimos y máximos de visualización de la imagen, así como la selección de la combinación de bandas que se deseaba mostrar y su respectivo nombre para ser mostrado en las capas. Para este proyecto se combinaron las bandas (6 - 5 - 4) para análisis de vegetación y (7 - 5 - 4) para análisis de incendios en LANDSAT 8, y las bandas 11, 8 y 4 para SENTINEL 2, combinación que permite el Análisis de la Vegetación e incendios tal como se observa en las siguientes figuras.

Figura 13. Imagen 1 - LANDSAT 8



Fuente: Autores

Figura 14. Imagen 2 - LANDSAT 8

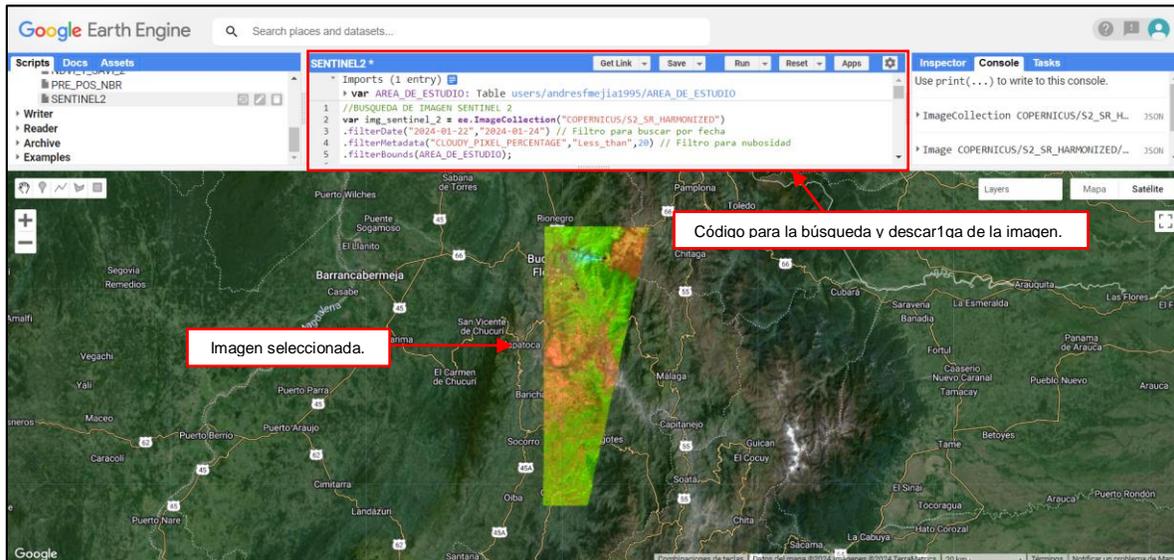


Fuente: Autores

Las imágenes seleccionadas del satélite LANDSAT 8 tienen fecha de adquisición del 06 de enero y 11 de abril de 2024 con una cobertura de nubes del 17.05% y del

15.45% respectivamente; la imagen SENTINEL 2 es del 23 de enero del 2024 con un porcentaje de nubes por pixel de 0.02%.

Figura 15. Imagen SENTINEL 2



Fuente: Autores

Para el proyecto se seleccionó la combinación de bandas que permite analizar vegetación e incendios ya que se iba a trabajar, observar y analizar este tipo cobertura y evento, sin embargo, existen diversas combinaciones de bandas tanto para LANDSAT 8 como SENTINEL 2, que permiten analizar diversos aspectos en las imágenes satelitales como se muestran a continuación:

Tabla 6. Combinación de Bandas LANDSAT 8

COMBINACIÓN DE BANDAS LANDSAT 8	
NOMBRE	BANDAS
Color Natural	4 3 2
Falso Color (Urbano)	7 6 4
Color Infrarrojo (Vegetación)	5 4 3
Agricultura	6 5 2
Penetración Atmosférica	7 6 5
Vegetación Saludable	5 6 2
Tierra/Agua	5 6 4
Natural con Remoción Atmosférica	7 5 3
Infrarrojo de Onda Corta	7 5 4
Análisis de Vegetación	6 5 4

Fuente: (Pucha, 2022)

Tabla 7. Combinación de Bandas SENTINEL 2

COMBINACIÓN DE BANDAS SENTINEL 2	
NOMBRE	BANDAS
Color Natural	4 3 2
Falso Color Infrarrojo	8 4 3
Falso Color Urbano	12 11 4
Agricultura	11 8 2
Penetración Atmosférica	12 11 8a
Vegetación Saludable	8 11 2
Tierra/Agua	8 11 4
Natural con Remoción Atmosférica	12 8 3
Infrarrojo de Onda Corta	12 8 4
Análisis de Vegetación	11 8 4

Fuente: (Pucha, 2019)

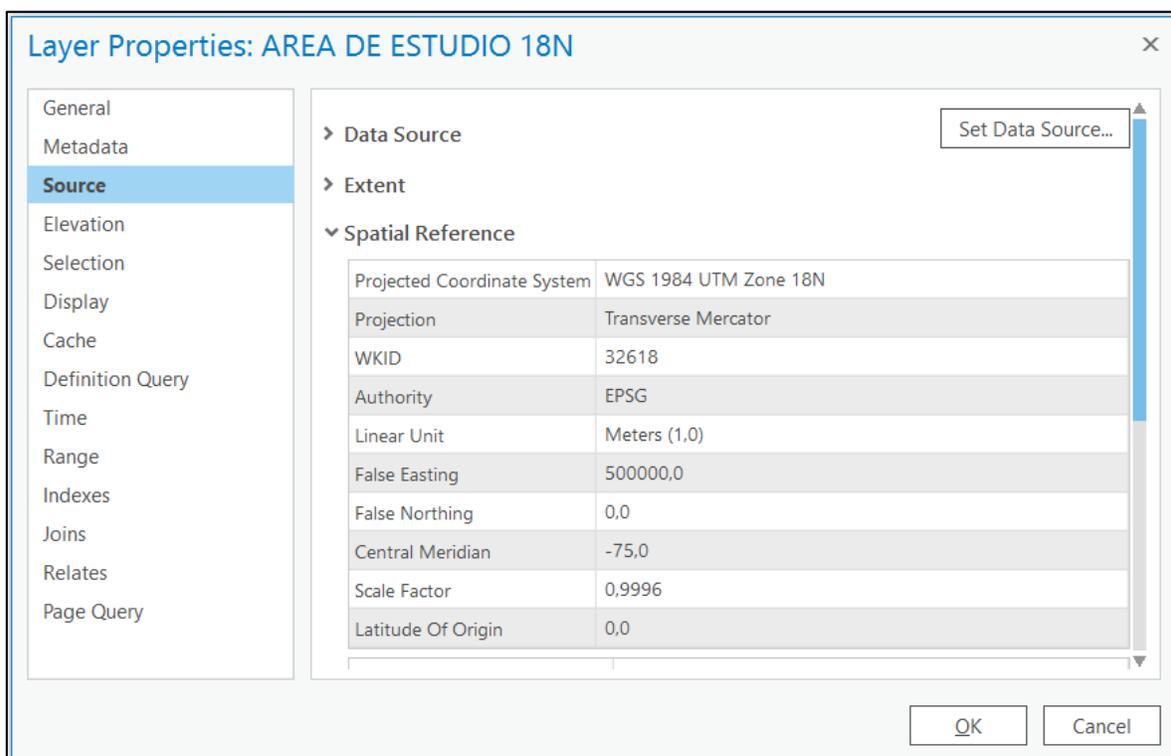
Cabe aclarar que, la imagen de SENTINEL 2 a diferencia de la imagen de LANDSAT 8, no se le hizo el respectivo recorte ya que la imagen no abarca la totalidad del área de estudio, sin embargo, se seleccionó para posteriormente realizar los cálculos y comparación del índice NBR en la zona específica del incendio. Una vez seleccionadas las imágenes que se requerían para el proyecto de investigación, por medio de otra línea de código se descargaron las tres

imágenes satelitales en el Google Drive para posteriormente ser trabajadas en el software de ArcGIS Pro.

4.2.7. GENERACIÓN DEL MAPA DE BITEMPORALIDAD

Como parte de las actividades que corresponden a la Fase 1, además de la búsqueda y descarga de información digital existente en diversas plataformas virtuales, se elaboró un mapa de bitemporalidad con base en los dos ráster de coberturas del suelo descargados del “Living Atlas of the World” de ESRI. Para el desarrollo de este procedimiento se empleó el software desarrollado por ESRI denominado ArcGIS Pro 2.5. Durante este procedimiento y a lo largo de las demás actividades que involucran el uso de este software para el desarrollo de la investigación, se seleccionó como sistema de referencia de coordenadas proyectadas el **WGS 1984 UTM Zona 18N**, con las siguientes características:

Figura 16. SR (WGS 1984) Software ArcGIS Pro

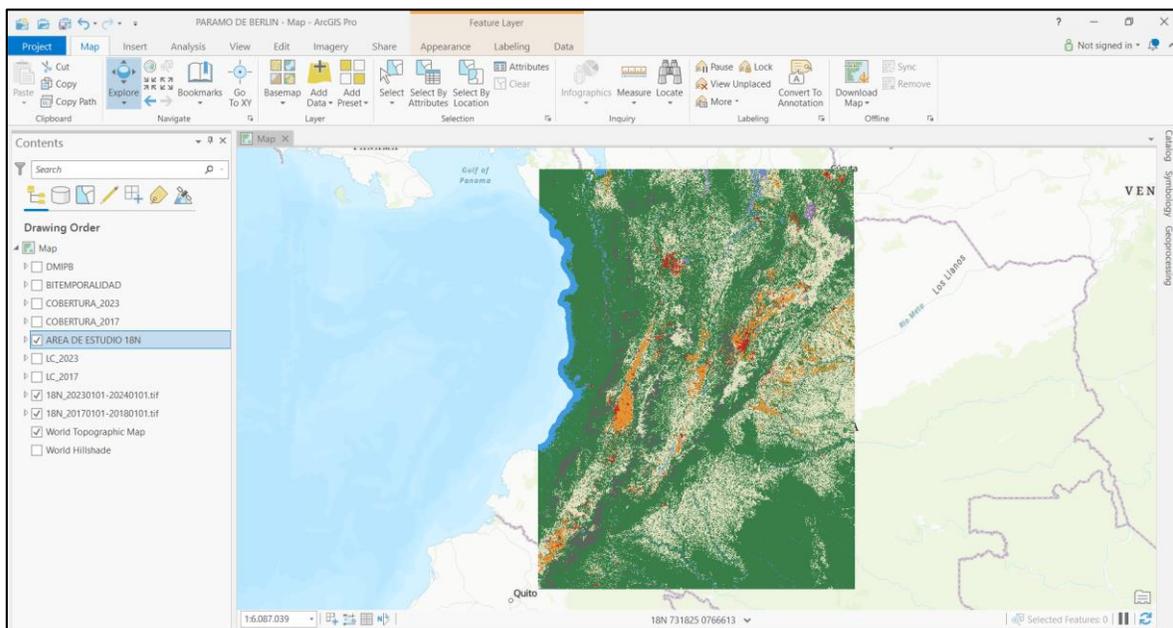


Fuente: Autores

Para realizar el mapa de bitemporalidad, en el software ArcGIS Pro, se desarrollaron los siguientes pasos:

- a) **Carga de información al software:** Para empezar con el desarrollo de la bitemporalidad, primero se creó un nuevo proyecto en el software ArcGIS Pro llamado “PARAMO DE BERLÍN”, con su respectiva carpeta de archivos y su geodatabase. Después de crear el nuevo proyecto, se cargaron los ráster de las coberturas del suelo para el año 2017 y 2023, así como el Shapefile del área de estudio delimitada; asimismo, se añadió un mapa base topográfico global, incorporado en el software, como se observa en la siguiente figura:

Figura 17. Ingreso de información al ArcGIS Pro

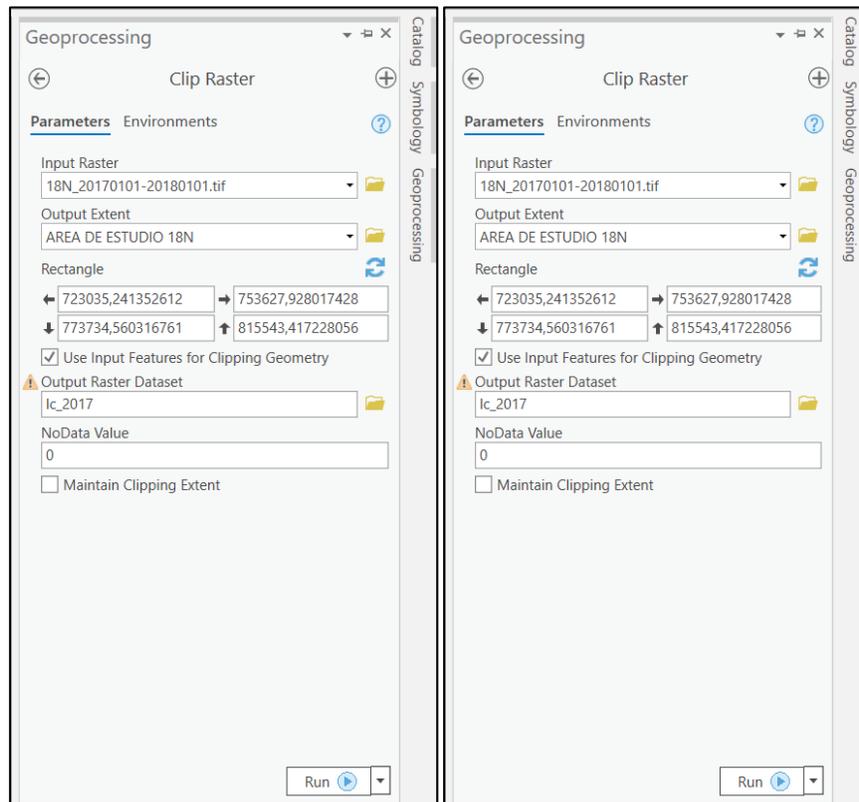


Fuente: Autores

- b) **Recorte de los ráster de cobertura del suelo:** Después de cargada la información de los ráster de la cobertura del suelo, empleando el Shapefile de la zona de estudio, y apoyándose en el geoproceto denominado “Clip Raster”, que se encuentra dentro de la caja de herramientas “Geoprocessing” del software, se procedió a cortar cada uno de los ráster de cobertura para trabajar con la información que se encuentra en el área de estudio. Para

hacer correctamente el recorte de cada ráster, primero se añadió el archivo en este formato, en la entrada “Input Raster”; segundo, en el campo “Output Extent”, se ingresa el Shapefile del área de estudio, y para este caso seleccionando la opción “Use Input Features for Clipping Geometry” para que el software emplee este Shapefile como máscara de recorte tal como se observa en la siguiente figura:

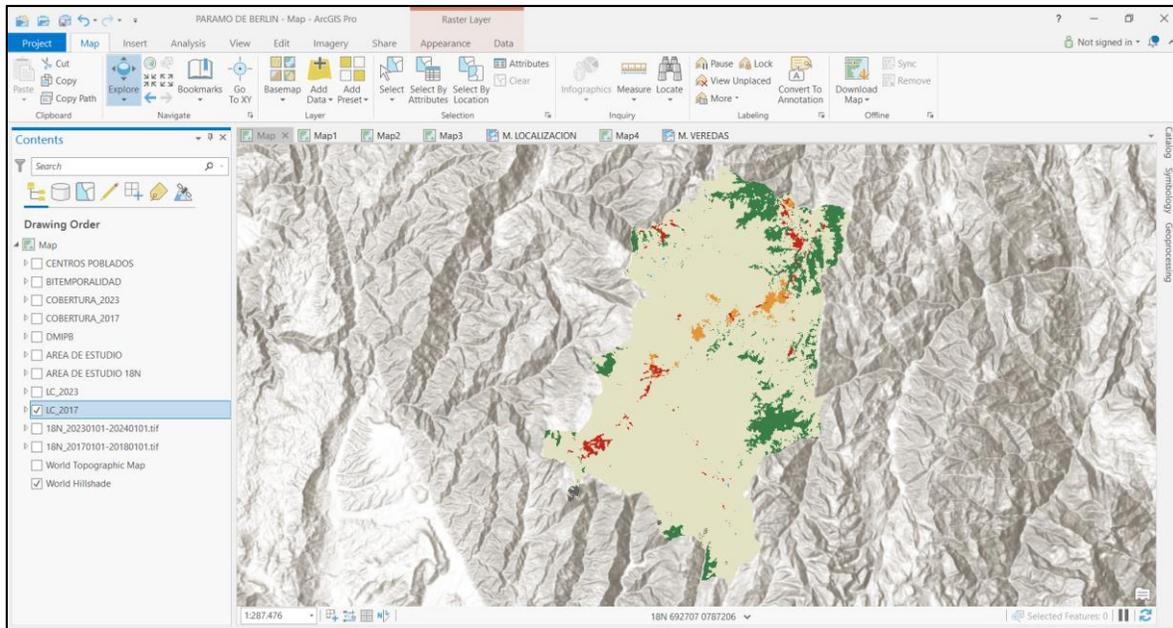
Figura 18. Recorte (Clip) de los Ráster



Fuente: Autores

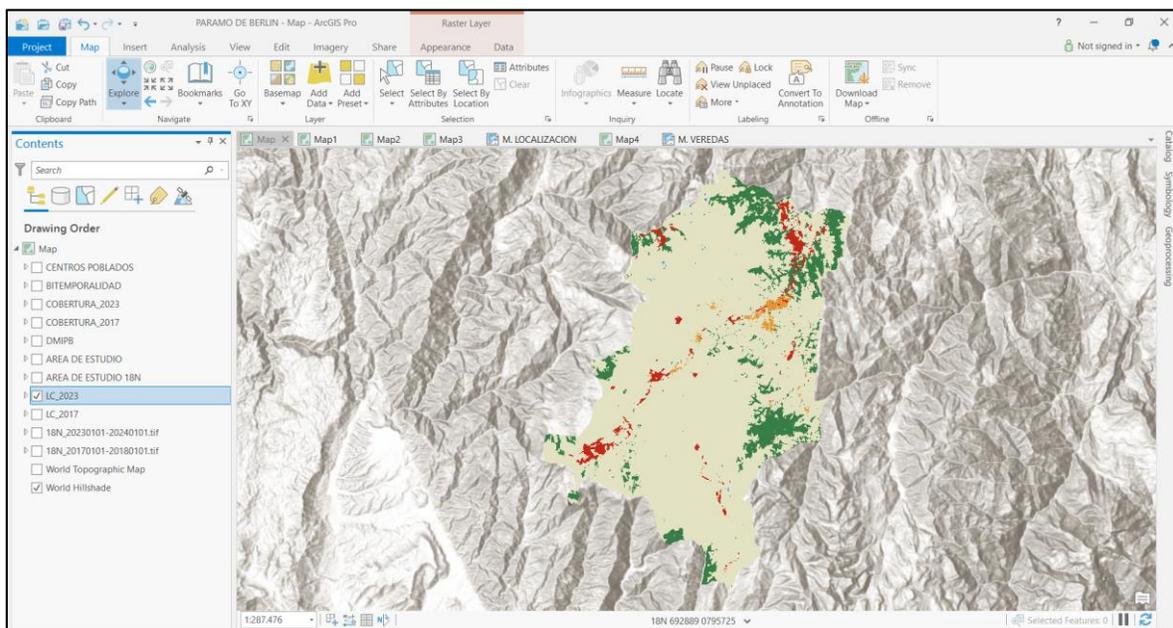
Después de cargados los archivos, y seleccionada la carpeta de destino para el nuevo archivo con su respectivo nombre, en la entrada “Output Raster Dataset”, se seleccionó la opción “Run” para que el software realizara el recorte de cada ráster, dando como resultados los que se presentan en la **Figura 19 y Figura 20:**

Figura 19. Ráster 2017 Recortado



Fuente: Autores

Figura 20. Ráster 2023 Recortado



Fuente: Autores

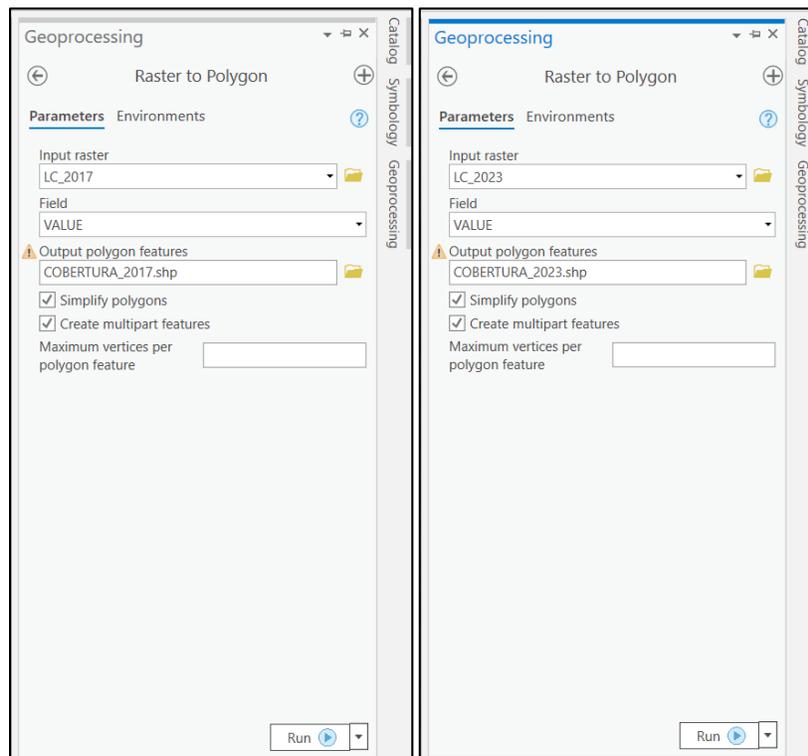
ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

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

c) Vectorización de los ráster: Continuando el proceso, y después de finalizado el recorte de los ráster para el año 2017 y 2023, el siguiente paso fue vectorizar las dos capas de ráster recortadas. Para realizar este geoproceso, se hizo uso de la herramienta denominada “Raster to Polygon” que se encuentra disponible en la caja de herramientas de “Geoprocessing”. Al ingresar a esta herramienta, primero se ingresó, por aparte, los ráster recortados del paso anterior en la entrada “Input Raster”; segundo, en el campo “Field” se seleccionó el atributo VALUE para asignar valores de los píxeles a los polígonos creados; tercero, se asignó la carpeta de destino y el respectivo nombre para cada nuevo archivo, y a su vez seleccionando la opción “Create multipart features”, para que el software al vectorizar reuniera en un solo polígono los datos que tuvieran igual valor.

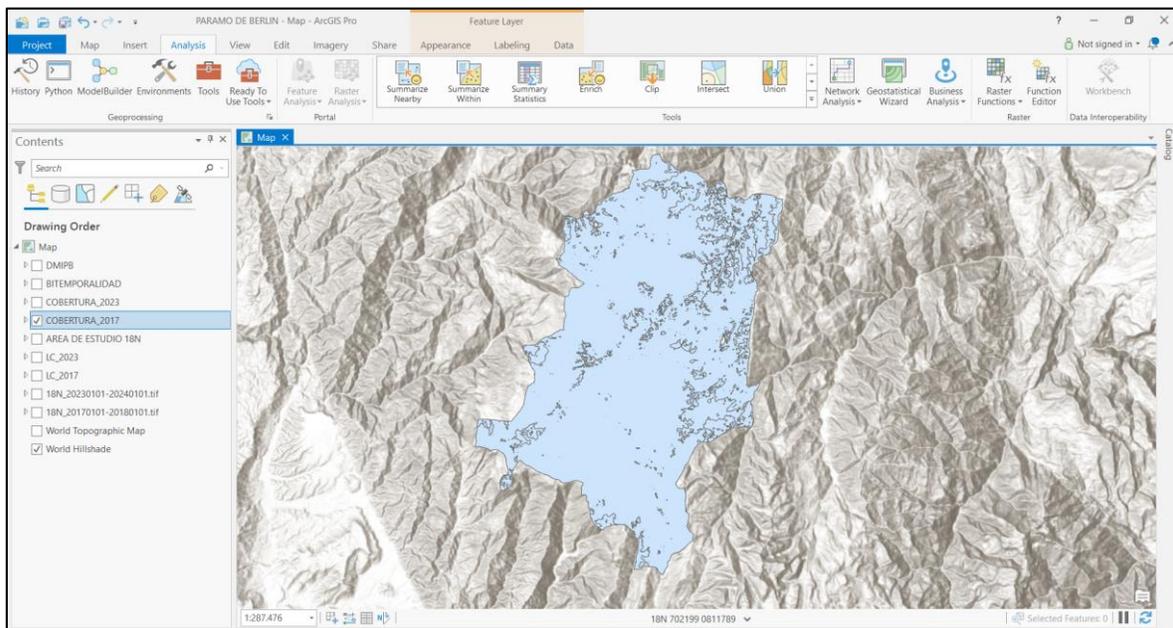
Figura 21. Vectorización (Raster to Polygon) de Ráster Recortados



Fuente: Autores

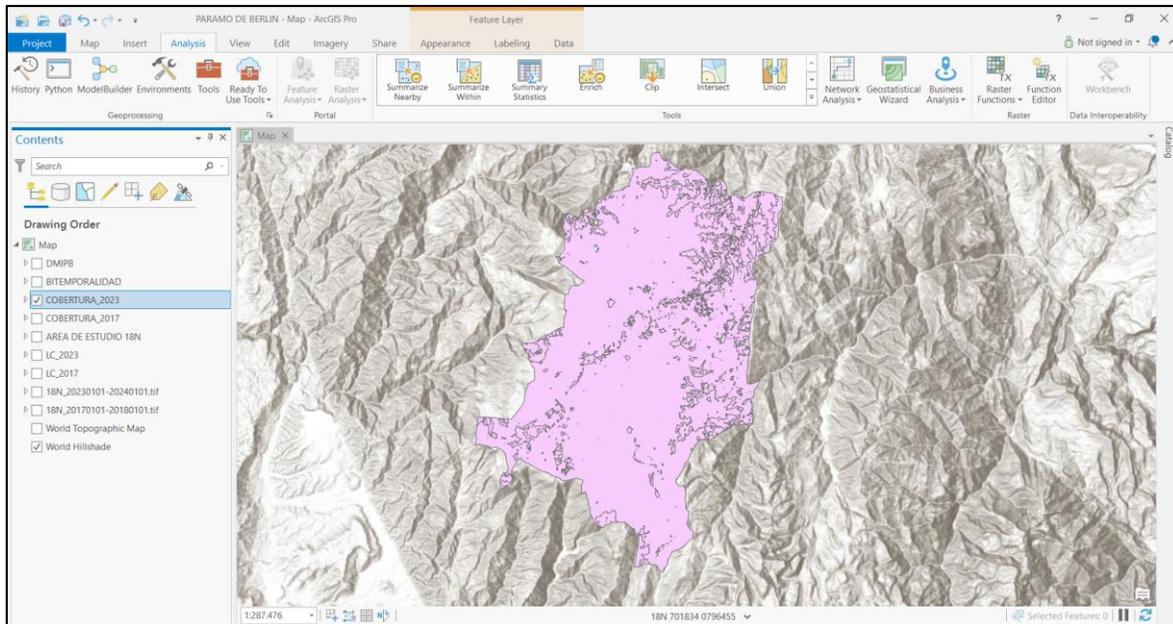
Finalmente, y después de cargados los archivos al geoproceso, se seleccionó la opción “Run”, creando así el software las nuevas capas vectoriales de coberturas del suelo como se visualiza en la **Figura 22** y **Figura 23**:

Figura 22. Ráster 2017 Vectorizado



Fuente: Autores

Figura 23. Ráster 2023 Vectorizado



Fuente: Autores

- d) Clasificación de coberturas por simbología:** Con las capas de coberturas vectorizadas para el año 2017 y 2023, el siguiente paso que se desarrolló fue la clasificación de coberturas por simbología, según el campo “gridcode” de la tabla atributos de cada capa. Antes de clasificar cada una de las coberturas de las dos capas vectoriales, se presenta a continuación una tabla con los códigos del gridcode y su respectivo nombre para cada cobertura, así como su definición obtenida de la página de ArcGIS y que fue creado por ESRI en el siguiente enlace: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=cfc7609de5f478eb7666240902d4d3d>.

Tabla 8. Clasificación de Coberturas del Suelo

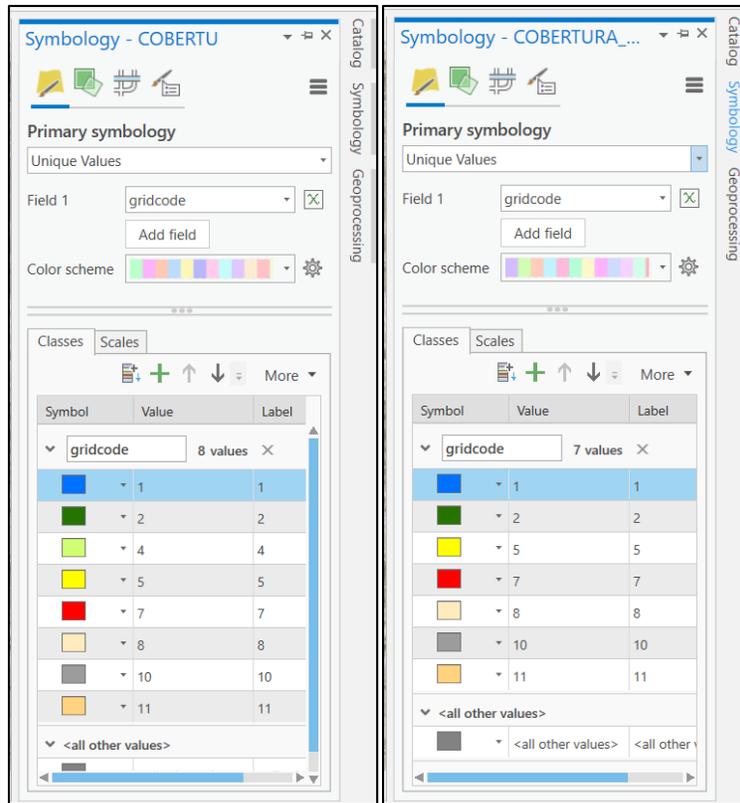
CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS		
CÓDIGO	COBERTURA	DEFINICIÓN
1	Water (Agua)	Áreas donde el agua ha estado predominantemente presente durante todo el año. Pueda que no cubra áreas con agua esporádica o efímera. Contiene poca o vegetación escasa, sin afloramiento de rocas ni características constructivas. Ejemplos: Ríos, estanques, lagunas, lagos, océanos y llanuras saldas inundadas).
2	Trees (Árboles)	Áreas con agrupación significativa de vegetación densa alta (~15 pies o más), con un dosel cerrado o denso. Ejemplos: Vegetación boscosa, grupos de vegetación densa y alta en las savanas, plantaciones, pantanos o manglares (vegetación densa y alta con agua efímera o cubierta demasiado gruesa para detectar agua por debajo).
4	Flooded Vegetation (Vegetación Inundada)	Áreas con cualquier tipo de vegetación con mezcla de agua durante la mayor parte del año. Área inundada estacionalmente que es una mezcla de hierba/arbustos/árboles/terreno descubierto. Ejemplos: Manglares inundados, vegetación emergente, campos de arroz y otras actividades agrícolas con riego intensivo e inundación.
5	Crops (Cultivos)	Cultivos, cereales y hierbas plantados/trazados por el hombre no a la altura de los árboles. Ejemplos: Maíz, trigo, soya, parcelas estructuradas.
7	Built Area (Área Construida)	Estructuras hechas por el hombre; carreteras principales y redes ferroviarias; grandes superficies homogéneas incluyendo parqueaderos, edificios de oficinas, viviendas residenciales. Ejemplos: Casas, poblados/villas/ciudades densas, carreteras pavimentadas, asfalto.
8	Bare Ground (Terreno Descubierta)	Áreas de roca o suelo con poca o sin nada de vegetación durante todo el año; grandes extensiones de tierra y desierto con poca o nada de vegetación. Ejemplos: Roca o suelo expuesto, desierto, dunas, salares secos, lechos de lagos secos, minas.
9	Snow/Ice (Hielo/Nieve)	Grandes áreas homogéneas con nieve o hielo permanente; generalmente, solo en áreas montañosas o latitudes altas. Ejemplos: Glaciares, capas de nieve permanente, campos de nieve.
10	Clouds (Nubes)	Sin información de cobertura del suelo debido a la presencia de nubes.

CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS		
CÓDIGO	COBERTURA	DEFINICIÓN
11	Rangeland (Pastizales)	Áreas abiertas cubiertas por pastos homogéneos con poca vegetación alta; cereales silvestres y pastos sin intervención humana. Ejemplos: Praderas naturales y campos con escasa cobertura de árboles, sabanas con pocos o nada de árboles, parques/campos de golf/césped, pastizales. Mezcla de pequeños grupos de plantas o plantas individuales dispersas en el paisaje que muestra suelo o roca expuesta; claros llenos de matorrales en bosques densos que no son más altos que los árboles. Ejemplo: Moderada o escasa cobertura de arbustos, arbustos y matas de hierba, sabanas con escasos pastos, árboles u otras plantas.

Fuente: (ESRI, 2024)

Con base en la tabla anterior y dentro del proyecto en ArcGIS Pro, se realizó la clasificación de las coberturas para cada capa vectorial del 2017 y 2023, dentro de la opción “Symbology”. Una vez en esta ventana, en el campo de “Primary symbology”, se seleccionó la opción de “Unique Values” para de esta forma poder clasificar los valores por el atributo “gridcode” de la tabla de atributos. Cabe resaltar, que no aparecerán la misma cantidad de códigos para las dos capas, debido a que se ha presentado cambios en la cobertura del suelo en los dos años seleccionados. Después de seleccionar en el campo “Field 1” la opción de “gridcode”, en la parte inferior de la ventana se despliegan los códigos y valores para cada cobertura como se observa a continuación:

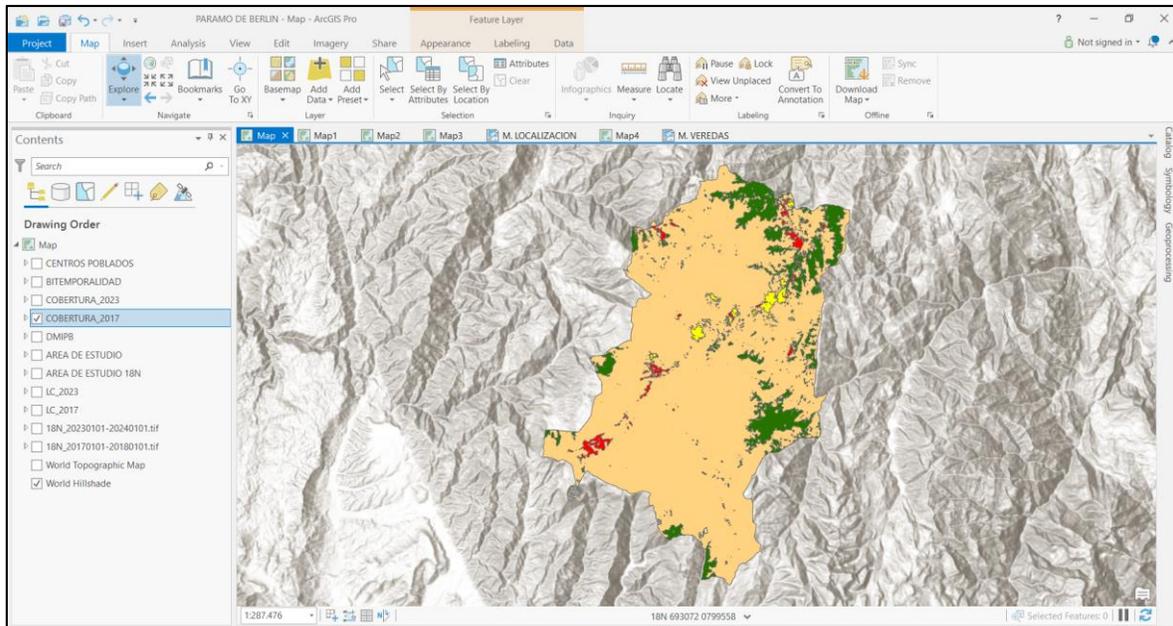
Figura 24. Clasificación por Simbología de Coberturas del Suelo



Fuente: Autores

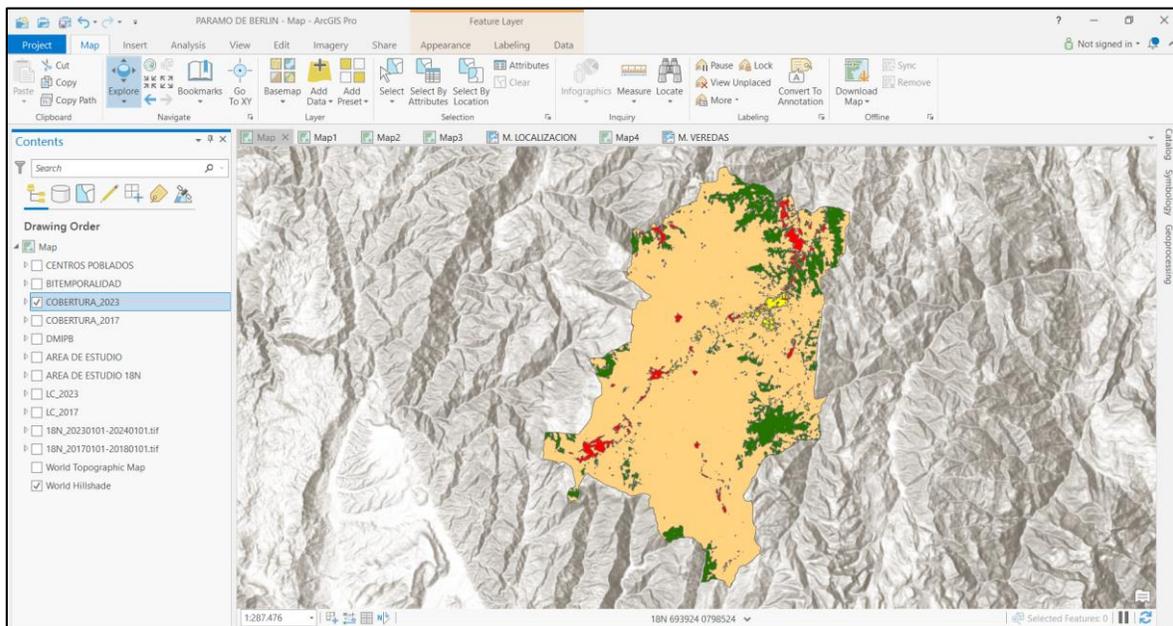
En esta sección, se asignó a cada polígono, según su código, un color que representará en el mapa cada cobertura. Como resultado final, se obtuvo la siguiente clasificación como se observa en la **Figura 25** y **Figura 26**.

Figura 25. Clasificación por Simbología Coberturas 2017



Fuente: Autores

Figura 26. Clasificación por Simbología Coberturas 2023



Fuente: Autores

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

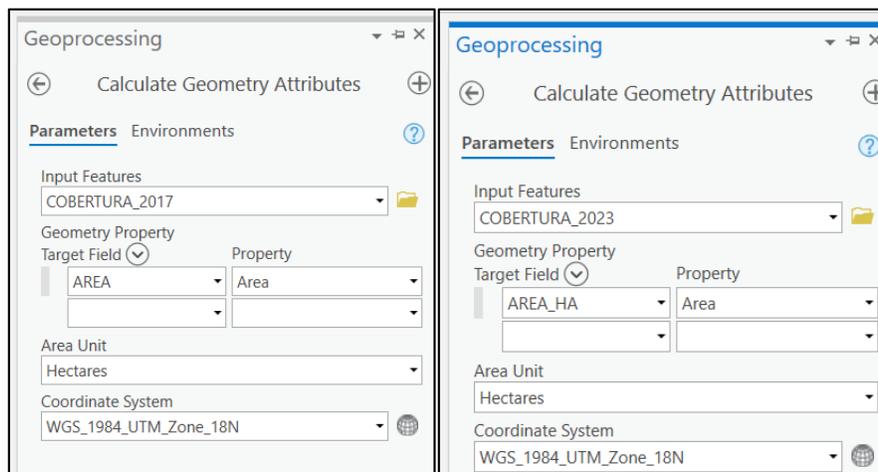
APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

e) Creación de los campos “Área” y “Cobertura” en la tabla de atributos:

Después de asignar colores y clasificar cada una de las coberturas de las capas vectoriales, en la tabla de atributos de cada capa se crearon los campos “Área” y “Cobertura”, de tipo “double” y “text” respectivamente, campos creados para realizar posteriormente un análisis estadístico.

Una vez creados los dos nuevos campos en la tabla de atributos, se continuó con el cálculo del área y asignación de nombre para cada cobertura según el gridcode de la tabla “Clasificación de coberturas” del inciso (d). Para calcular el área de cada polígono al que corresponde cada cobertura, se empleó la opción de “Calculate Geometry”, opción que se despliega al hacer clic derecho sobre la columna “Area”. En esta opción se seleccionó cada capa de coberturas, la propiedad a calcular, en este caso la opción de Área que dispone el software, las unidades de medida y el sistema de coordenadas, como se observa en la siguiente figura:

Figura 27. Cálculo de Geometría para el Campo “AREA_HA”



Fuente: Autores

Finalmente, con los datos asignados correctamente para cada capa, se calcularon las áreas para cada polígono y, de igual manera, se le asignó a cada código su respectivo nombre de cobertura como se visualiza en la **Figura 28 y Figura 29.**

Figura 28. Tabla de Atributos "Cobertura 2017"

FID	Shape	Id	gridcode	AREA_HA	COBERTURA
0	Polygon	1	1	31,319	Agua
1	Polygon	2	2	6.865,219	Arboles
2	Polygon	3	4	0,075	Vegetacion Inundada
3	Polygon	4	5	856,022	Cultivos
4	Polygon	5	7	1.032,743	Area Construida
5	Polygon	6	8	80,244	Terreno Descubierta
6	Polygon	7	10	151,135	Nubes
7	Polygon	8	11	57.458,794	Pastizales

Fuente: Autores

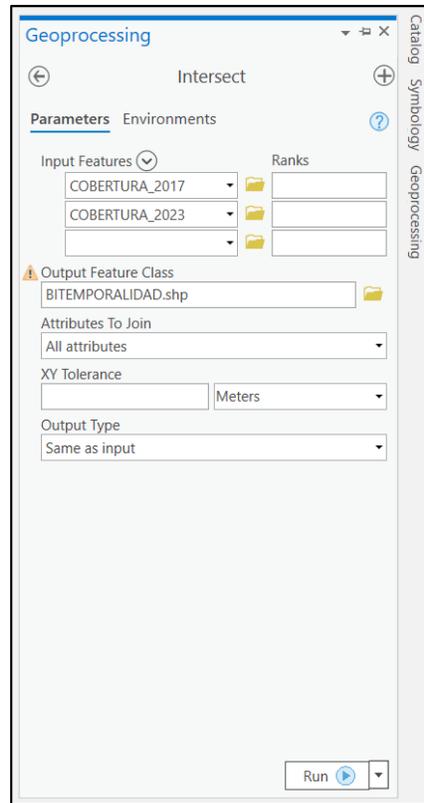
Figura 29. Tabla de Atributos "Cobertura 2023"

FID	Shape	Id	gridcode	AREA_HA	COBERTURA
0	Polygon	1	1	48,146	Agua
1	Polygon	2	2	7.660,431	Arboles
2	Polygon	3	5	581,05	Cultivos
3	Polygon	4	7	1.759,187	Area Construida
4	Polygon	5	8	0,781	Terreno Descubierta
5	Polygon	6	10	21,923	Nubes
6	Polygon	7	11	56.404,064	Pastizales

Fuente: Autores

f) Intersección de Coberturas del año 2017 y 2023 (Bitemporalidad): Para realizar el proceso de intersección de capas como parte del mapa de bitemporalidad, se utilizó de la caja de herramientas “Geoprocessing” el geoproceso “Intersect”. Este proceso permite calcular una intersección geométrica de las entidades de las capas de entrada, en donde las entidades o partes de ellas que se superpongan con entidades o con otra capa se escribirán en la capa resultante (ESRI, 2023).

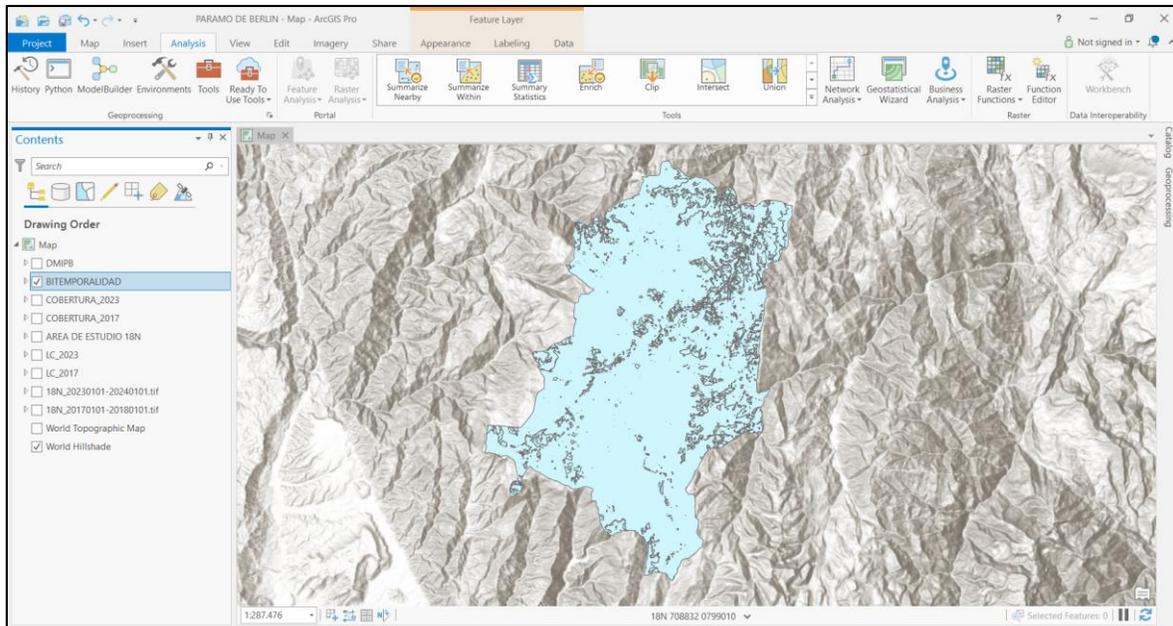
Figura 30. Intersección (Intersect) de Coberturas 2017 y 2023



Fuente: Autores

Después de seleccionado el geoproceto “Intersect”, como se observa en la figura anterior, en el campo “Input Features” se ingresaron las dos capas vectoriales correspondientes a las coberturas de los años 2017 y 2023. Después, en el campo “Output Feature Class” se le asignó una ubicación y nombre al nuevo archivo. Los demás campos se dejaron por defecto y, finalmente, se seleccionó la opción “Run” dando como resultado la siguiente figura:

Figura 31. Intersección de Coberturas 2017 y 2023

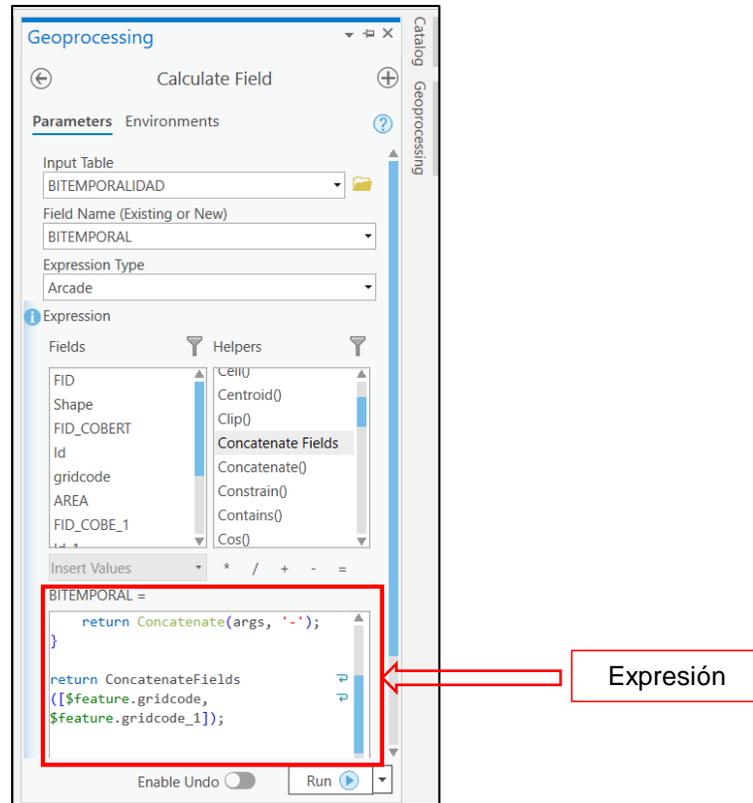


Fuente: Autores

g) **Creación y cálculo del campo “Bitemporal”**: Con la obtención de la nueva capa llamada Bitemporalidad, se crearon dos nuevos campos en su tabla de atributos. El primer campo denominado “BITEMPORAL”, calculado por medio de una expresión, y el segundo campo denominado “BITEMP_2” que muestra las coberturas obtenidas en la bitemporalidad.

Para calcular el campo de “Bitemporalidad” en la tabla de atributos, primero se hizo clic derecho sobre esta columna, segundo se seleccionó la opción de “Calculate Field” desplegando una ventana como la de la **Figura 32**.

Figura 32. Cálculo del Campo "BITEMPORAL"



Fuente: Autores

Dentro de esta ventana, se seleccionó en la entrada "Field Name" el campo mencionado; en la entrada "Expression Type" se utilizó la opción "Arcade". Finalmente, para obtener el cálculo definitivo, con la ayuda del "Helper" denominado "Concatenate Fields" y los atributos "gridcode" y "gridcode_1" se construyó la expresión señalada en el recuadro rojo de la figura anterior, dando como resultado la bitemporalidad en la tabla de atributos como se muestra en la siguiente figura:

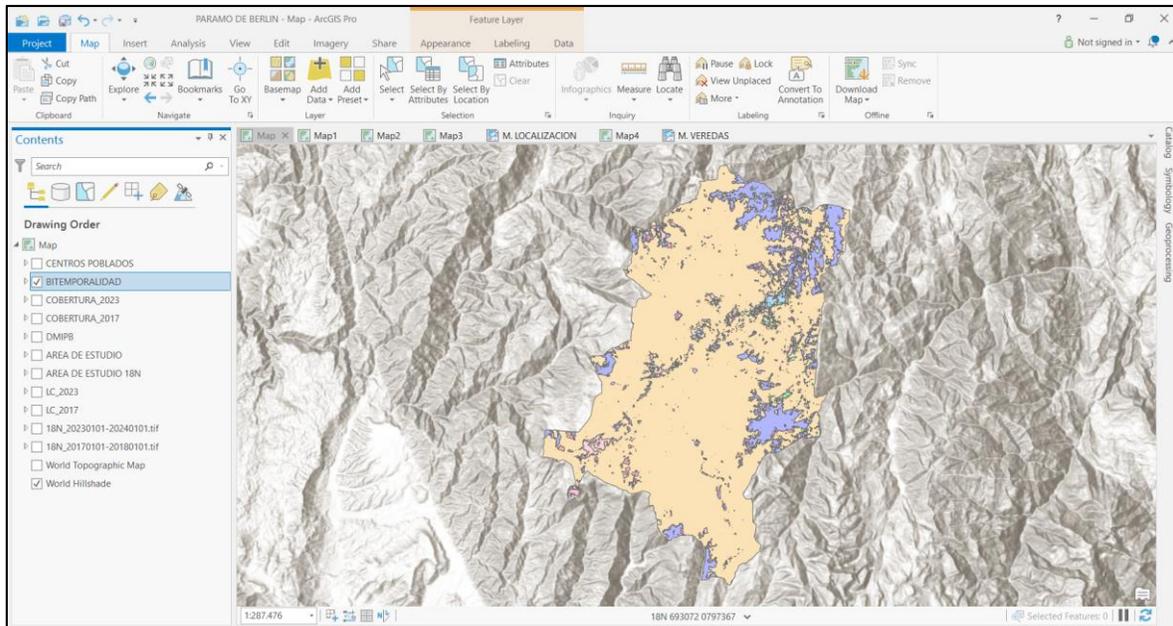
Figura 33. Tabla de Atributos Capa Bitemporalidad

FID	Shape	FID_COBERT	Id	gridcode	AREA_HA	COBERTURA	FID_COBE_1	Id_1	gridcode_1	AREA_HA_1	COBERTUR_1	BITEMPORAL	BITEMP_2
0	Polygon	0	1	1	31,318812	Agua	0	1	1	48,146039	Agua	1-1	Agua - Agua
1	Polygon	0	1	1	31,318812	Agua	1	2	2	7660,430716	Arboles	1-2	Agua - Arboles
2	Polygon	0	1	1	31,318812	Agua	3	4	7	1759,187446	Area Construida	1-7	Agua - Area Construida
3	Polygon	0	1	1	31,318812	Agua	6	7	11	56404,063611	Pastizales	1-11	Agua - Pastizales
4	Polygon	1	2	2	6865,218562	Arboles	0	1	1	48,146039	Agua	2-1	Arboles - Agua
5	Polygon	1	2	2	6865,218562	Arboles	1	2	2	7660,430716	Arboles	2-2	Arboles - Arboles
6	Polygon	1	2	2	6865,218562	Arboles	2	3	5	581,050216	Cultivos	2-5	Arboles - Cultivos
7	Polygon	1	2	2	6865,218562	Arboles	3	4	7	1759,187446	Area Construida	2-7	Arboles - Area Construida
8	Polygon	1	2	2	6865,218562	Arboles	4	5	8	0,781378	Terreno Descubierta	2-8	Arboles - Terreno Desc...
9	Polygon	1	2	2	6865,218562	Arboles	5	6	10	21,922757	Nubes	2-10	Arboles - Nubes
10	Polygon	1	2	2	6865,218562	Arboles	6	7	11	56404,063611	Pastizales	2-11	Arboles - Pastizales
11	Polygon	2	3	4	0,074983	Vegetacion Inundada	6	7	11	56404,063611	Pastizales	4-11	Vegetacion Inundada - ...
12	Polygon	3	4	5	856,022362	Cultivos	1	2	2	7660,430716	Arboles	5-2	Cultivos - Arboles
13	Polygon	3	4	5	856,022362	Cultivos	2	3	5	581,050216	Cultivos	5-5	Cultivos - Cultivos
14	Polygon	3	4	5	856,022362	Cultivos	3	4	7	1759,187446	Area Construida	5-7	Cultivos - Area Construida
15	Polygon	3	4	5	856,022362	Cultivos	5	6	10	21,922757	Nubes	5-10	Cultivos - Nubes
16	Polygon	3	4	5	856,022362	Cultivos	6	7	11	56404,063611	Pastizales	5-11	Cultivos - Pastizales
17	Polygon	4	5	7	1032,743432	Area Construida	0	1	1	48,146039	Agua	7-1	Area Construida - Agua
18	Polygon	4	5	7	1032,743432	Area Construida	1	2	2	7660,430716	Arboles	7-2	Area Construida - Arb...
19	Polygon	4	5	7	1032,743432	Area Construida	2	3	5	581,050216	Cultivos	7-5	Area Construida - Cult...
20	Polygon	4	5	7	1032,743432	Area Construida	3	4	7	1759,187446	Area Construida	7-7	Area Construida - Area...
21	Polygon	4	5	7	1032,743432	Area Construida	4	5	8	0,781378	Terreno Descubierta	7-8	Area Construida - Terr...
22	Polygon	4	5	7	1032,743432	Area Construida	5	6	10	21,922757	Nubes	7-10	Area Construida - Nubes

Fuente: Autores

Como se observa en la figura anterior, para cada polígono de la capa se le calculó un valor en donde muestra el cambio en la cobertura a través de los dos años estudiados. Por último, el campo “BITEMP_2” se rellena manualmente, asignando, según los resultados obtenidos en el campo “BITEMPORAL”, el nombre a cada cobertura de acuerdo a la clasificación expuesta en el inciso (d) tal como se visualiza en el recuadro rojo de la **Figura 33**. Para una mejor visualización de la capa de bitemporalidad, en la opción de simbología, se clasificó por valores únicos y por medio del campo “BITEMP_2” todos los polígonos de la capa arrojando como resultado el que se observa en la **Figura 34**.

Figura 34. Bitemporalidad



Fuente: Autores/ArcGIS Pro

4.3. FASE 2: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE INFORMACIÓN

Concluida la primera fase en donde se descargó la información existente y se desarrolló el mapa de coberturas y de bitemporalidad con su respectivo análisis, se procede al desarrollo de la segunda fase que tiene como fin el cálculo de los índices de vegetación NDVI, SAVI, EVI y NBR, su análisis e interpretación respectiva, esto empleando técnicas de teledetección mediante uso de imágenes satelitales y el uso de la plataforma de Google Earth Engine, con programación orientada a objetos geográficos y lenguaje JavaScript, así como cargar estos resultados al software ArcGIS Pro para la elaboración de los mapas en la fase tres como resultado final. Todos estos procedimientos se realizarán para dar cumplimiento al segundo objetivo específico que fue planteado para el proyecto de investigación, en el cual se espera reconocer efectos o cambios en la vegetación por deforestación en el área de estudio.

Para realizar el cálculo de los índices de vegetación NDVI, SAVI, EVI y NBR se utilizó como insumo fundamental las imágenes satelitales de LANDSAT 8 y SENTINEL 2 seleccionadas en la primera fase del proyecto, cuyo procedimiento de selección se menciona en el numeral **4.2.6. Descarga de Imágenes Satelitales**.

Todo el procedimiento que se llevó a cabo, tanto para la selección de las imágenes, cálculo de los índices y descarga de resultados, fue realizado mediante programación orientada a objetos geográficos con lenguaje JavaScript en la plataforma de Google Earth Engine.

Como primer paso, y en resumen de lo que se menciona en el numeral 4.2.6, se seleccionaron las imágenes satelitales aplicando filtros de búsqueda para obtener resultados más precisos, entre estos filtros están: fecha, nubosidad y límites; asimismo, se recortó la imagen satelital con el Shapefile del área de estudio para solo realizar los cálculos en esta zona específica. La imagen LANDSAT 8 con sus respectivas bandas espectrales, se utilizó para realizar el cálculo de los 4 índices de vegetación mencionados anteriormente. La imagen SENTINEL 2 con sus bandas espectrales, se empleó para calcular solo el índice NBR, esto para realizar posteriormente una comparación con el mismo índice calculado con la imagen LANDSAT 8.

En segundo lugar, y empleando solo la imagen LANDSAT 8, se generaron nuevas líneas de código en el que se declararon otras cuatro variables con los nombres de los índices: NDVI, SAVI, EVI y NBR. Después de declaradas estas cuatro variables, y empleando la variable que contiene la imagen final recortada, se utilizó en el código la función **“.expression()”** para escribir la fórmula que permite realizar el cálculo de cada uno de los índices requeridos. Además de esto, en el código también se empleó dentro de una lista la función **“.select()”** para asignar a cada una de las variables de la fórmula, su respectiva banda según el índice que se fuera a calcular. Las fórmulas y las bandas empleadas para el cálculo de los cuatro

índices necesarios para el proyecto de investigación, se muestran en la siguiente tabla:

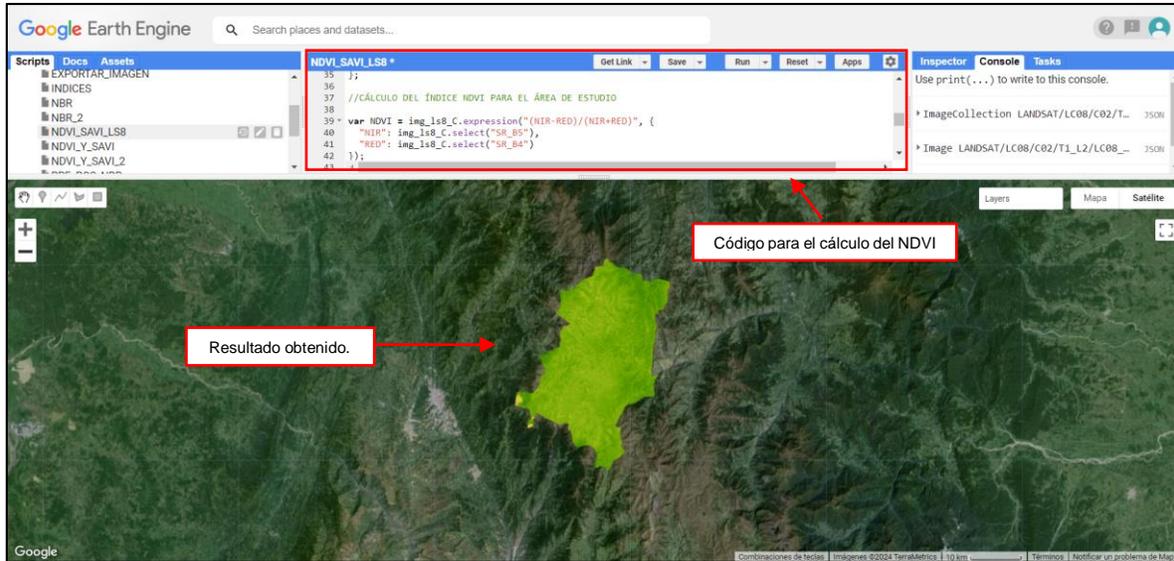
Tabla 9. Fórmulas y Bandas para Cálculo de índices

FÓRMULAS PARA CÁLCULO DE ÍNDICES			
ÍNDICE	FÓRMULA	BANDAS	SATELITE
NDVI	$\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$	NIR: SR_B5 (Near Infrared)	LANDSAT 8
		RED: SR_B4 (Red)	LANDSAT 8
SAVI	$\left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED + L}\right) * (1 + L)$	NIR: SR_B5 (Near Infrared)	LANDSAT 8
		RED: SR_B4 (Red)	
		L: 0,5 (Valor para ajuste del suelo)	
EVI	$(2,5) * \left(\frac{NIR - RED}{NIR + (6 * RED) - (7,5 * BLUE) + L}\right)$	NIR: SR_B5 (Near Infrared)	LANDSAT 8
		RED: SR_B4 (Red)	
		BLUE: SR_B2 (Blue)	
		L: 1 (Valor para ajuste del suelo)	
NBR	$\frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$	NIR: SR_B5 (Near Infrared)	LANDSAT 8
		SWIR: SR_B7 (Short Wavelength Infrared)	
		NIR: B8 (Visible and Near Infrared)	SENTINEL 2
		SWIR: B12 (Short Wave Infrared)	

Fuente: Autores

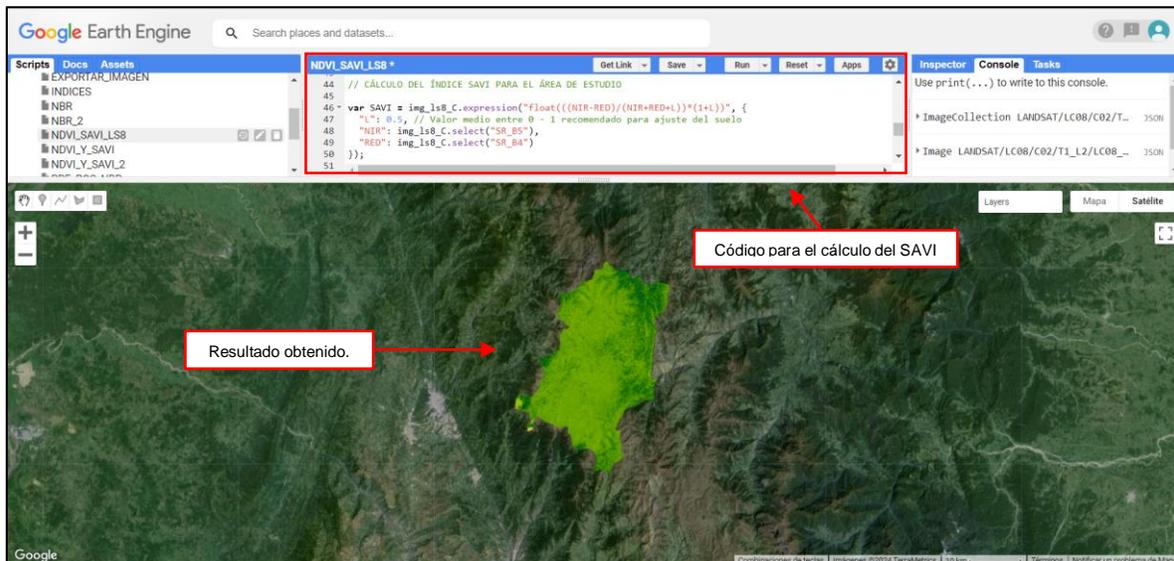
Para visualizar de una mejor manera los resultados esperados, previamente se cargaron a los Script por medio de diferentes variables, tres paletas de colores con sus respectivas tonalidades para visualizar mejor las características de la zona de estudio. En tercer lugar, y después de creados los códigos con las fórmulas para el cálculo de los índices, se crearon cinco líneas de código para visualizar y añadir los resultados obtenidos del segundo paso. Las funciones empleadas para este procedimiento fueron “**Map.addLayer()**” que permite añadir y dar un nombre a la variable a visualizar en el mapa; la segunda función “**Map.centerObject()**” que centra los resultados en el área de estudio; y, finalmente, “**Map.setOptions()**” para establecer el mapa base que se desee. Los resultados obtenidos para el cálculo de los diferentes índices, con las imágenes LANDSAT y SENTINEL 2, fueron los siguientes:

Figura 35. Índice NDVI Calculado



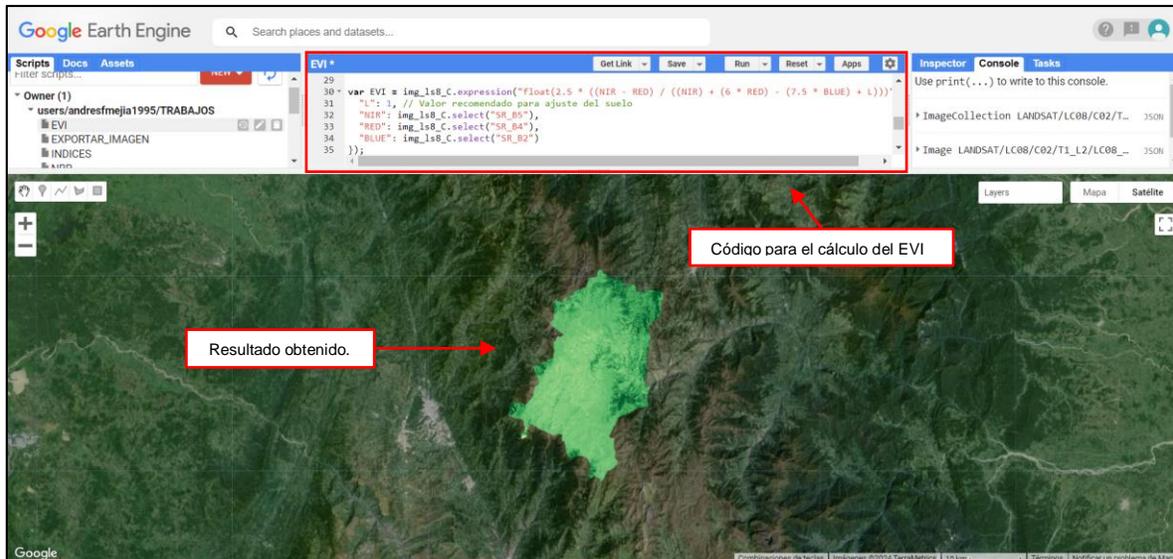
Fuente: Autores

Figura 36. Índice SAVI Calculado



Fuente: Autores

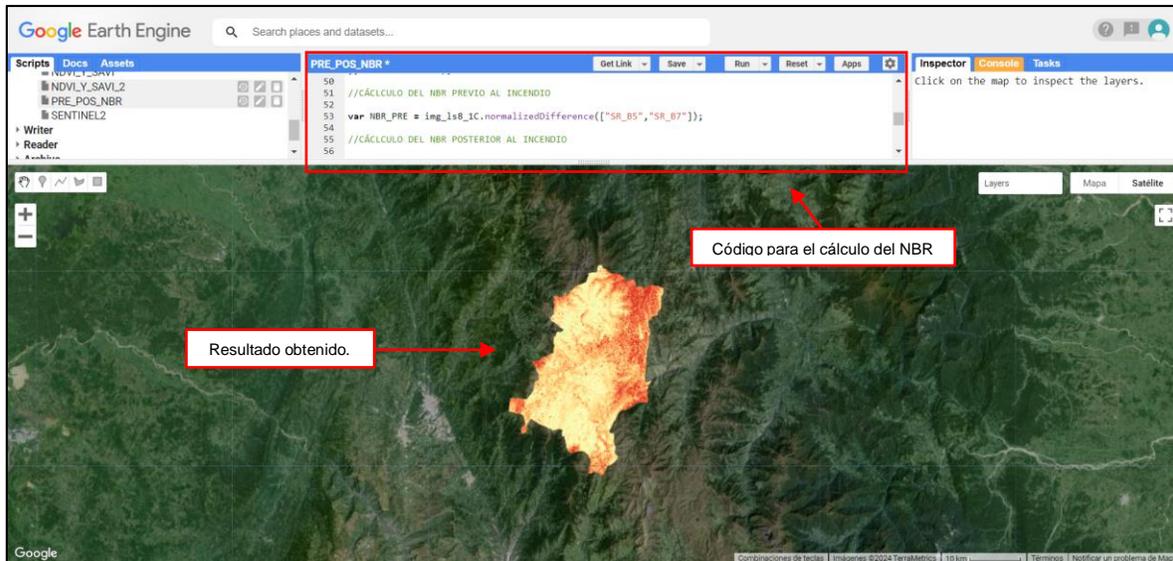
Figura 37. Índice EVI Calculado



Fuente: Autores

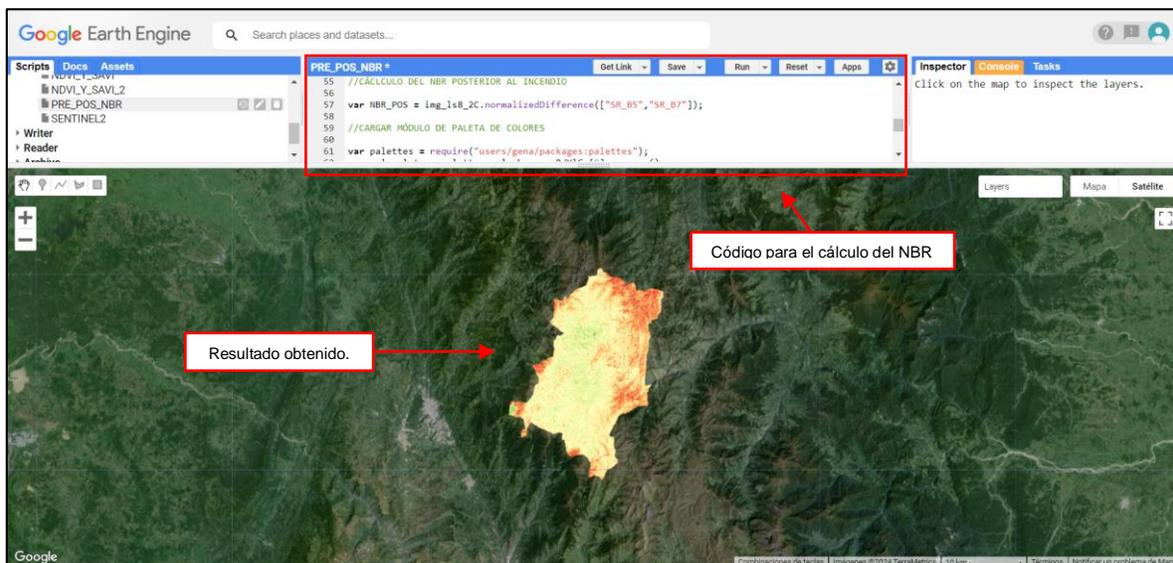
Para el caso del índice NBR se realizaron tres cálculos con las imágenes LANDSAT 8, esto para calcular el índice en toda el área, pero con énfasis especial en el área de incendio de enero del presente año razón por la que hay un cálculo previo al incendio, posterior al incendio y la severidad del incendio. Caso contrario para la imagen SENTINEL 2 en donde solo se calculó el índice una sola vez para realizar después una comparación con los otros resultados obtenidos. Con lo mencionado anteriormente, se presentan las imágenes con los índices calculados en las siguientes figuras:

Figura 38. Índice NBR Previo al Incendio



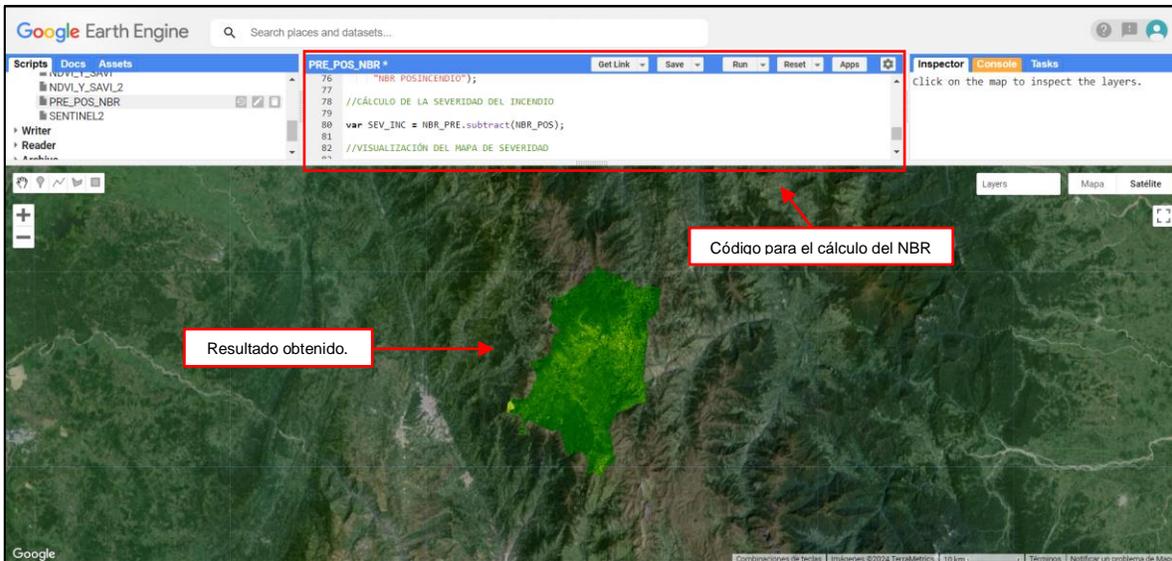
Fuente: Autores

Figura 39. Índice NBR Posterior al Incendio



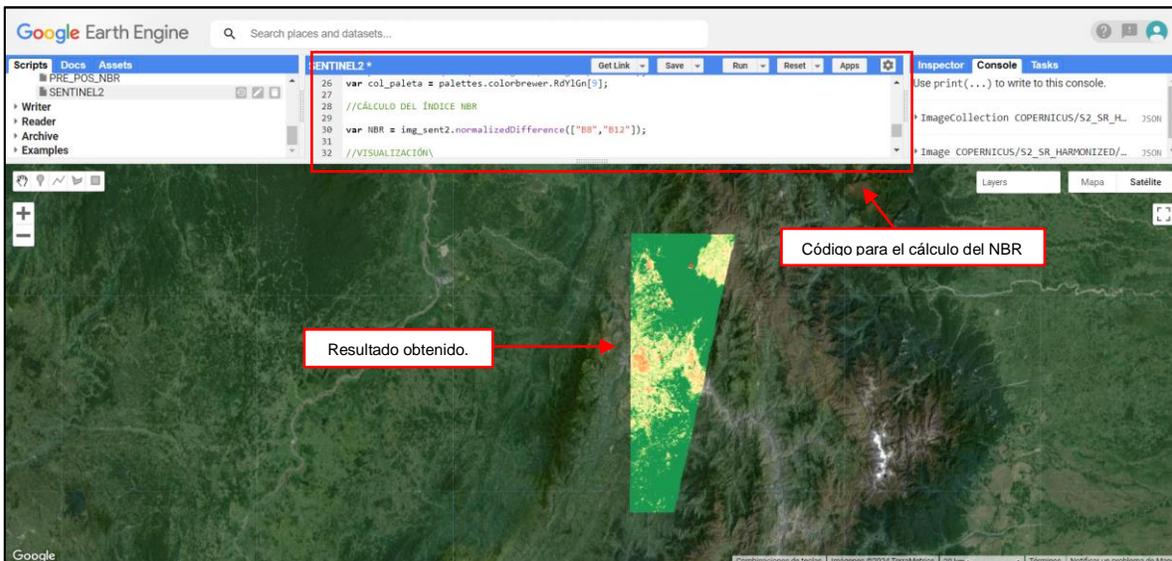
Fuente: Autores

Figura 40. Severidad del Incendio



Fuente: Autores

Figura 41. Índice NBR – Imagen SENTINEL 2



Fuente: Autores

Con los cálculos obtenidos, finalmente y mediante otras líneas de código, se descargaron estas siete imágenes para luego ser incorporadas al ArcGIS Pro y posteriormente realizar su interpretación y análisis. Cabe aclarar que, al momento

de cargar las imágenes al software de ArcGIS Pro la visualización de los colores va a cambiar de tonalidades debido a las paletas de colores que se seleccionen y los valores mínimos y máximos que arroje el software.

Para descargar las imágenes se utilizó el código **“Export.image.toDrive()”**, que se configuró con el nombre de cada uno de los índices calculados y se le asignó la resolución espacial de 30 metros para las imágenes LANDSAT 8 y 10 metros para la imagen SENTINEL 2. Adicionalmente, se le asignó el sistema de referencia de coordenadas WGS 84 UTM Zone 18 N.

En general, se crearon cuatro archivos con su respectivo script en los que se obtuvieron los resultados mencionados y presentados anteriormente, siendo las funciones utilizadas en las líneas del código las siguientes:

Tabla 10. Funciones en Google Earth Engine

FUNCIONES DE LOS CÓDIGOS EN GOOGLE EARTH ENGINE		
#	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
1	var	Declara una variable.
2	ee.ImageCollection()	Llama la colección o Dataset de imágenes a trabajar.
3	.filterDate()	Filtra las imágenes por fecha indicada.
4	.filterMetadata()	Filtra las imágenes según una propiedad de la misma.
5	.filterBounds()	Filtra y busca la imagen según geometría del área de estudio especificada.
6	.sort()	Clasifica las imágenes según una propiedad seleccionada.
7	.first()	Selecciona la primera opción de una colección de imágenes.
8	.clip()	Recorta una imagen según una geometría o shapefile.
9	.expression()	Permite ingresar y evaluar una fórmula específica para una imagen.
10	.select()	Selecciona las bandas de las imágenes satelitales para trabajar en las fórmulas.
11	.print()	Imprime los resultados en la consola.
12	.normalizedDifference()	Calcula los índices de vegetación asignando las bandas correspondientes.

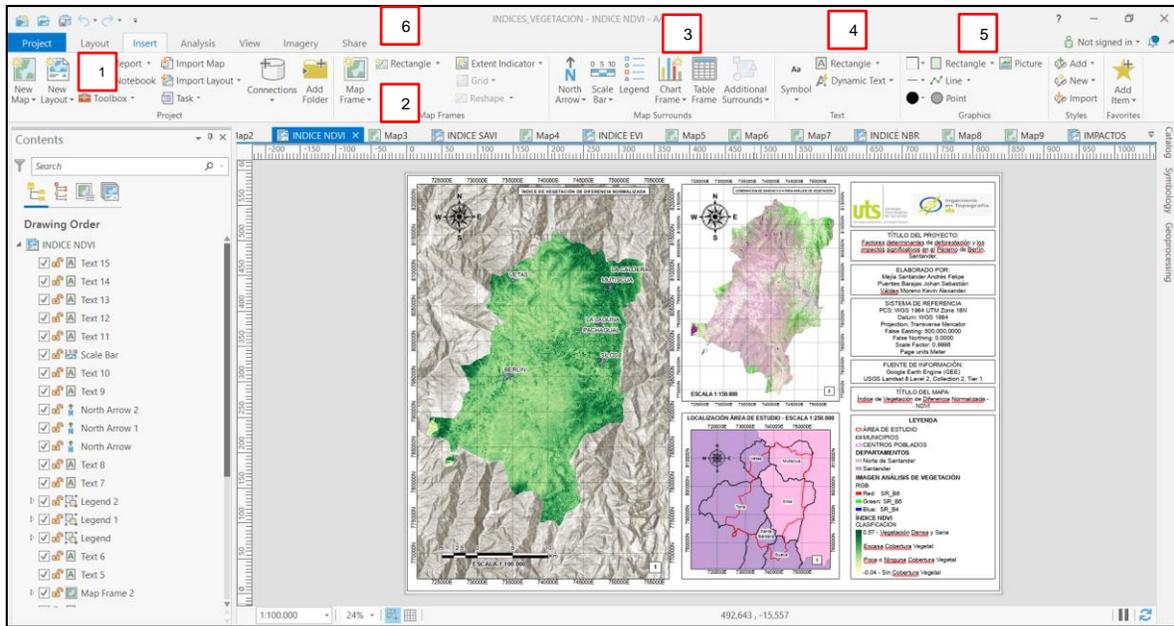
FUNCIONES DE LOS CÓDIGOS EN GOOGLE EARTH ENGINE		
#	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
13	require()	Permite seleccionar y agregar un módulo al script.
14	.reverse()	Invierte el orden de elementos en una lista.
15	.subtract()	Realiza una resta entre dos bandas de dos imágenes satelitales asignadas.
16	Map.addLayer()	Agrega los resultados obtenidos al mapa.
17	Map.centerObject()	Centra los resultados obtenidos con un zoom específico en el mapa.
18	Map.setOptions()	Establece el mapa base que se indique (ROADMAP, SATELLITE, HYBRID o TERRAIN).

Fuente: Autores

4.4. FASE 3: RESULTADOS

En la fase final del proyecto de investigación, se elaboró la cartografía general a partir de la información existente recolectada en la primera fase y con los resultados obtenidos durante las dos fases anteriores. La información empleada corresponde a los Shapefiles obtenidos de las plataformas de Colombia en Mapas, DANE, INVIAS y los ráster descargados del Living Atlas of the World de ESRI y de la plataforma de Google Earth Engine. Para la creación de los mapas se utilizó el software de ArcGIS Pro, mediante la interfaz de layout, empleando cada una de sus funciones disponibles en la barra de herramientas de manera que se presentara la información necesaria y que ilustrara correctamente todos los resultados obtenidos.

Figura 42. Interfaz del Layout para la Creación de Mapas



Fuente: Autores

Como se observa en la figura anterior, el software dispone de un gran número de herramientas para la creación de mapas. En la pestaña Layout (1) el software permite navegar en toda el área del mapa, así como centrar o activar las ventanas gráficas. En la pestaña Insert están las principales herramientas con las que se crearon los mapas. En la sección de Map Frames (2) se disponen de todos los mapas que están dentro del proyecto los cuales se agregan en la vista, como se observa en la figura anterior. En la sección de Map Surrounds (3) están las opciones que permiten ingresar al mapa los elementos de visualización de la norte, escala gráfica, leyenda, gráficos y las tablas de atributos de los Shapefiles. En la sección de Text (4) se dispone de la opción para agregar cuadros de texto y textos dinámicos que permiten incorporar las características del sistema de referencia entre otras cosas. En la sección Graphics (5), se encuentra las opciones para generar diferentes geometrías para enmarcar o referenciar elementos en el mapa, así como la opción de incorporar imágenes en diferentes formatos. Finalmente, en la pestaña

Share (6), se dispone de las herramientas para compartir el mapa creado o para exportarlo en formato PDF como resultado final.

En total para el proyecto de investigación se generaron nueve mapas con los diferentes resultados obtenidos a lo largo de la investigación, siendo estos la cartografía general del proyecto.

Tabla 11. Cartografía del Proyecto

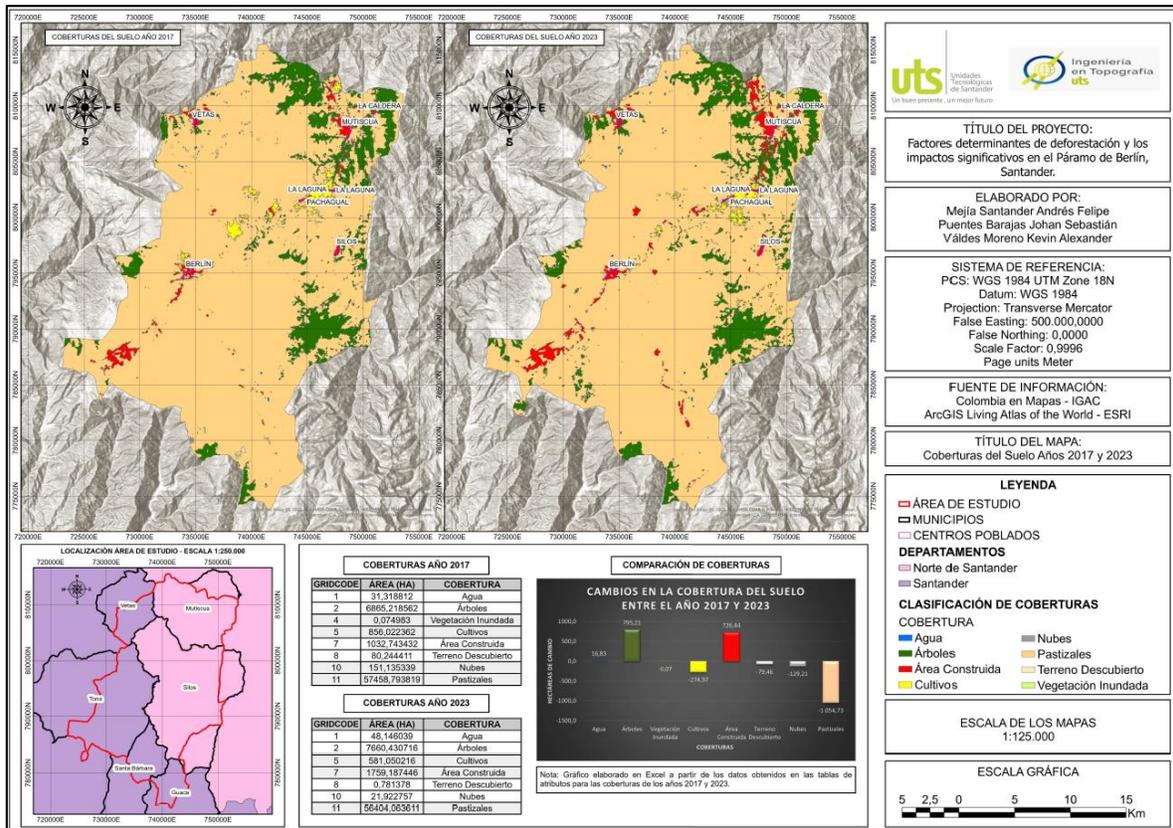
CARTOGRAFÍA	
#	MAPA
1	Área de estudio
2	Veredas del Área de Estudio
3	Coberturas del Suelo
4	Bitemporalidad
5	Índice NDVI
6	Índice SAVI
7	Índices EVI
8	Índice NBR y Severidad del Incendio
9	Impactos Significativos de Deforestación

Fuente: Autores

5. RESULTADOS

5.1. MAPA DE COBERTURAS DEL SUELO

Figura 43. Mapa de Coberturas del Suelo años 2017 y 2023



Fuente: Autores

Con los ráster de coberturas del suelo descargados de la plataforma de “ArcGIS Living Atlas of the World” y con el procesamiento que se realizó con ayuda del software ArcGIS Pro, tal como se describe en la fase 1 en el desarrollo de la investigación, se logró obtener el Mapa de Coberturas del Suelo para la zona de estudio donde se puede observar que tipo de coberturas son las que hay presentes en esta zona. Con estos resultados obtenidos y con el cálculo de las áreas para cada cobertura por cada año, en la tabla de atributos correspondiente, se realizó un

análisis estadístico y descriptivo por año y, finalmente, una comparación entre las dos tablas tal como se presenta en los siguientes incisos:

5.1.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO COBERTURAS DEL SUELO AÑO 2017

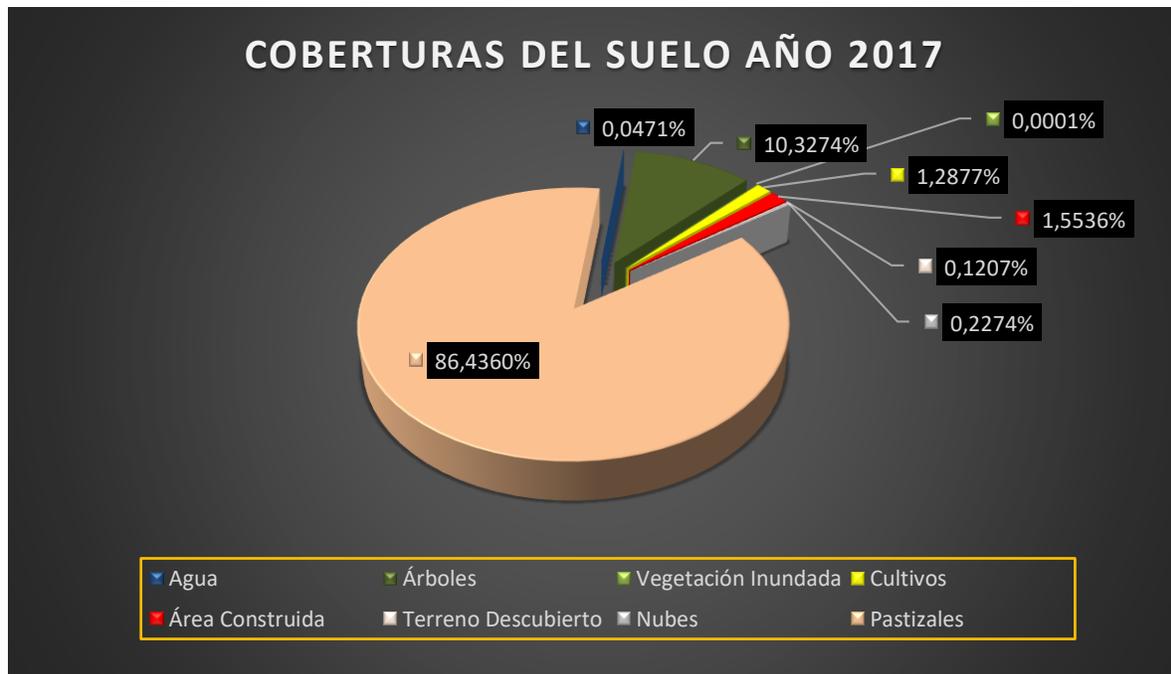
Tabla 12. Coberturas del Suelo año 2017

COBERTURAS DEL SUELO 2017				
ID	GRIDCODE	ÁREA (Ha)	%	COBERTURA
1	1	31,319	0,0471%	Agua
2	2	6865,219	10,3274%	Árboles
3	4	0,075	0,0001%	Vegetación Inundada
4	5	856,022	1,2877%	Cultivos
5	7	1032,743	1,5536%	Área Construida
6	8	80,244	0,1207%	Terreno Descubierto
7	10	151,135	0,2274%	Nubes
8	11	57458,794	86,4360%	Pastizales

TOTAL 66475,552

Fuente: Autores

Figura 44. Porcentajes de Coberturas del Suelo año 2017



Fuente: Autores

A partir de la clasificación de coberturas del suelo para el año 2017 y como se observa en la **Tabla 12**, el gráfico circular (**Figura 44**) y el Mapa de Coberturas (**Figura 43**), en el área de estudio se identificaron un total de ocho coberturas del suelo, en donde la mayor parte del terreno está cubierta por pastizales con un total de 57458,7 hectáreas, lo que equivale a un 86,4% del total de coberturas presentes en el área y distribuida por toda la zona estudiada. Esta condición se debe a que la zona de estudio está localizada sobre la zona bioclimática de páramo donde son característicos este tipo de vegetación.

En segundo lugar, la zona de estudio presenta una gran cantidad de vegetación con un total de 6868,2 hectáreas equivalentes a un 10,3% de la extensión de terreno estudiada, localizadas mayormente en la parte norte y oriente de la zona y en menor medida hacia la parte sur y occidente de la misma. Esta vegetación está representada por zonas boscosas y por vegetación densa que se presenta en toda la zona del páramo. Continuando, la zona de estudio presenta un total de 1032,7 hectáreas de área construida lo que representa un porcentaje de 1,5% del total del área seleccionada, distribuidas la mayor parte al nororiente y suroccidente de la zona y en menor proporción en el centro y occidente de la misma. Es un porcentaje bajo pero que a su vez es significativo para el estudio porque muestra que en la zona hay un número considerable de construcciones representados por los centros poblados, cabeceras municipales, cabañas y vías que atraviesan la zona de páramo, lo cual demuestra la alta intervención del hombre en esta zona lo que contribuye a la deforestación de zonas de páramo.

También, dentro de las coberturas que más hectáreas contienen dentro del área de estudio, y que ayudan a la deforestación, se encuentra los cultivos con 856,02 hectáreas lo que equivale a un 1,2% de la extensión de la zona, localizados en la parte central y nororiental de la misma. Estos cultivos son principalmente sembradíos de papa y cebolla, entre otros cultivos, que se dan fácilmente en la zona

del páramo debido a las condiciones y características climáticas que facilitan el crecimiento de este tipo de cultivos.

Después de analizar las coberturas que mayor área presentan en la zona de estudio, se identificaron cuatro coberturas con un número menor de hectáreas en comparación con las anteriormente analizadas, en este caso son las coberturas de Nubes, Terreno descubierto, Agua y Vegetación inundada. Inicialmente, se observa que se presentan 151,1 hectáreas de cobertura de nubes lo que equivale a un 0,2% del total de la extensión del área de estudio, localizadas la mayor parte en el sur y suroccidente, y en menor medida en el centro y norte de la zona. Este tipo de información se presenta en la zona por la alta nubosidad debido a que se encuentra sobre zona de páramo y a una gran altitud sobre el nivel del mar.

En segundo lugar, se identifica terreno descubierto en el área con 80,2 hectáreas para un 0,1% de la extensión total de área estudiada, distribuidas la mayor proporción hacia el noroccidente y en menor proporción hacia el suroriente de la zona. Este tipo de cobertura se da en la zona por la presencia de áreas con rocas expuestas y terrenos con vegetación escasa. En tercer lugar, la zona presenta áreas cubiertas por agua, las cuales para ser tenidas en cuenta en este tipo de cobertura deben estar permanentes a lo largo del año. Como se ve en la tabla, se identificaron 31,3 hectáreas equivalentes a un 0,04% de la extensión de la zona de estudio dentro de las cuales se encuentran los ríos, lagos y lagunas presentes en la zona del páramo de Berlín que son fuente abastecedora de las poblaciones cercanas al área de estudio. Estas zonas están ubicadas hacia la parte noroccidental mayoritariamente, y en menor cantidad hacia el sur tanto del oriente como occidente. Finalmente, y en menor cantidad, se observa vegetación inundada con un total de 0,075 hectáreas para un porcentaje inferior al cero por ciento, localizada en la zona suroriental de la zona. Estas áreas que se observan en la tabla se presentan en zonas de cultivos en donde se hacen riegos permanentemente y zonas que se inundan estacionalmente por lluvias fuertes.

5.1.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO COBERTURAS DEL SUELO AÑO 2023

Tabla 13. Coberturas del Suelo año 2023

COBERTURAS DEL SUELO AÑO 2023				
ID	GRIDCODE	ÁREA (Ha)	%	COBERTURA
1	1	48,146	0,0724%	Agua
2	2	7660,431	11,5237%	Árboles
3	5	581,050	0,8741%	Cultivos
4	7	1759,187	2,6464%	Área Construida
5	8	0,781	0,0012%	Terreno Descubierta
6	10	21,923	0,0330%	Nubes
7	11	56404,064	84,8493%	Pastizales

TOTAL 66475,582

Fuente: Autores

Figura 45. Porcentajes de Coberturas del Suelo año 2023



Fuente: Autores

Como resultado de la clasificación de coberturas del suelo para el año 2023, se identificaron un total de siete coberturas dentro del área de estudio como se ve en la **Tabla 13**, el gráfico circular (**Figura 45**) y el Mapa de Coberturas (**Figura 43**). En el área a estudiar, la mayor parte del terreno está cubierta por pastizales con un total de 56404,06 hectáreas distribuidas por toda el área, lo que equivale a un 84,8% del total de coberturas del suelo presentes en la zona estudiada. Esta condición, como se mencionó en el análisis del año 2017, se debe a que la zona de estudio está localizada sobre la zona bioclimática de páramo donde son característicos este tipo de pastos. En segundo lugar, la zona de estudio presenta zonas con gran vegetación que suman un total de 7660,4 hectáreas localizadas en gran parte al norte y oriente del área y en menor medida, hacia el sur y occidente de la misma. Esta cobertura equivale a un 11,5% de la extensión del área que se estudia. Esta vegetación está representada por zonas boscosas y por vegetación densa que se presenta en toda la zona del páramo.

Continuando, la zona de estudio presenta un total de 1759,1 hectáreas de área construida lo que representa un porcentaje de 2,6% del total del área de estudio. Esta cobertura está concentrada en mayor medida en la parte nororiental y suroccidental de la zona y con algunas presencias en la parte central y noroccidental de la misma. Este porcentaje es significativo para el estudio porque muestra que en la zona hay un número considerable de construcciones representados por los centros poblados, cabeceras municipales, cabañas y vías que atraviesan la zona de páramo, lo cual demuestra la alta intervención del hombre en esta zona lo que contribuye a la deforestación de zonas de páramo.

Por último, dentro de las coberturas que más hectáreas contienen dentro del área de estudio para el año 2023, se encuentra los cultivos con 581 hectáreas lo que equivale a un 1,2% de la extensión de la zona, localizados en la zona centro y oriente cerca de los centros poblados de la zona. Estos cultivos son principalmente sembradíos de papa y cebolla que se dan fácilmente en la zona del páramo debido

a las condiciones y características climáticas de la zona que facilitan el crecimiento de este tipo de cultivos.

Después de analizar las coberturas que mayor área presentan en la zona de estudio, se identificaron tres coberturas con un número menor de hectáreas en comparación con las anteriormente analizadas, en este caso son las coberturas de Agua, Nubes y Terreno descubierto. Para empezar, se observa que se presentan 48,1 hectáreas de cobertura de agua lo que equivale a un 0,07% del total de la extensión del área de estudio, localizadas en pequeños polígonos hacia el noroccidente y suroccidente de esta zona.

En esta cobertura se encuentran los ríos, lagos y lagunas presentes en la zona del páramo de Berlín que son fuente abastecedora de las poblaciones cercanas al área de estudio y que a lo largo del año tienen presencia permanente de agua. Continuando, se observa la existencia de nubes hacia la parte suroccidental de la zona de estudio, cobertura que presenta un total de 21,9 hectáreas y equivale a un 0,03% de la extensión general. Este tipo de cobertura se presenta en la zona por la alta nubosidad, lo cual imposibilita la toma de información, debido a que se encuentra sobre zona de páramo y a una gran altitud sobre el nivel del mar. Finalmente, se identifica terreno descubierto en el área con 0,781 hectáreas para un 0,001% de la extensión total del área estudiada localizadas en la parte nororiental y suroccidental en pequeños polígonos. Este tipo de cobertura se da en la zona por la presencia de suelo con poca vegetación o áreas con roca expuesta. A diferencia de las coberturas del suelo del 2017, en el año 2023 no se identificaron áreas con vegetación inundada.

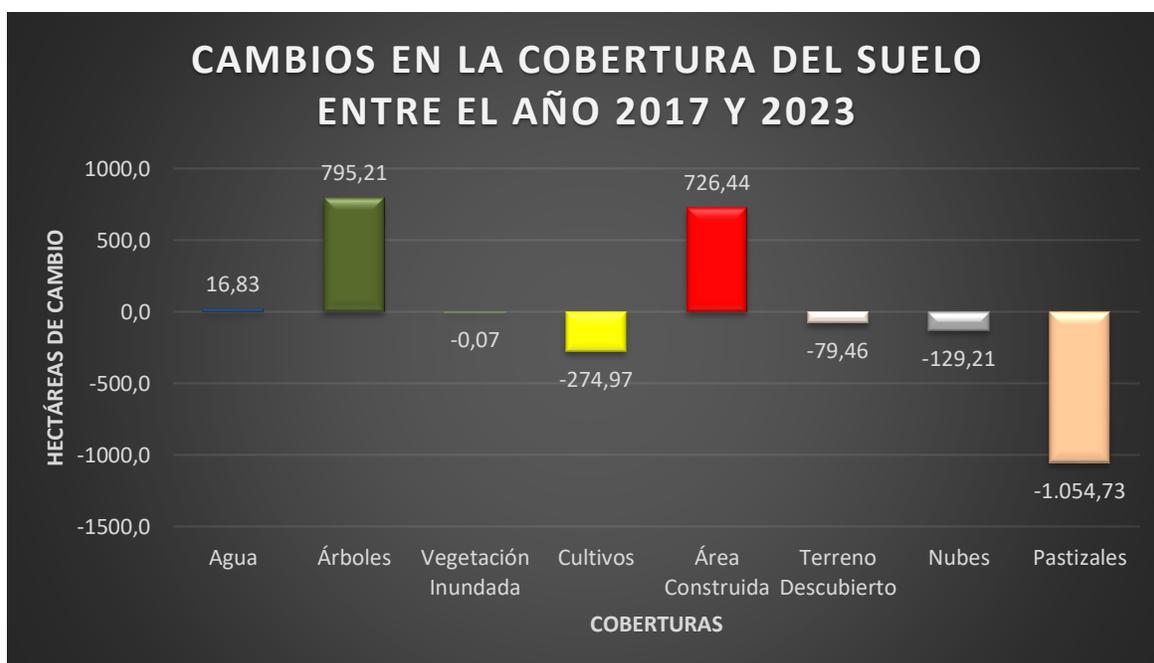
5.1.3. ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS DE COBERTURA ENTRE 2017 - 2023

Tabla 14. Cambios de Coberturas entre los años 2017 y 2023

CAMBIO EN LAS COBERTURAS DEL SUELO ENTRE EL AÑO 2017 Y 2023						
ID	GRIDCODE	ÁREA 2017 (Ha)	ÁREA 2023 (Ha)	DIFERENCIA (Ha)	% CAMBIO	COBERTURA
1	1	31,319	48,146	16,827	53,7%	Agua
2	2	6865,219	7660,431	795,212	11,6%	Árboles
3	4	0,075	0,000	-0,075	-100,0%	Vegetación Inundada
4	5	856,022	581,050	-274,972	-32,1%	Cultivos
5	7	1032,743	1759,187	726,444	70,3%	Área Construida
6	8	80,244	0,781	-79,463	-99,0%	Terreno Descubierta
7	10	151,135	21,923	-129,213	-85,5%	Nubes
8	11	57458,794	56404,064	-1054,730	-1,8%	Pastizales

Fuente: Autores

Figura 46. Diferencia de Coberturas entre los años 2017 y 2023



Fuente: Autores

Después de realizar un análisis de las clasificaciones de coberturas del suelo para la zona de estudio durante los años 2017 y 2023, se observa, a partir de la **Tabla 14** y gráfico de barras anterior (**Figura 46**), los respectivos cambios, tanto en hectáreas como en porcentajes, de las coberturas del suelo en el transcurso de los

seis años. Como se detalla en el gráfico, de las ocho coberturas analizadas cinco de ellas tuvieron una disminución en el intervalo de tiempo estudiado, siendo la que más disminuyó la cobertura de pastizales con una reducción superior a las mil hectáreas equivalente a un 1,8% de cambio con respecto al 2017. La segunda cobertura que más hectáreas disminuyó fue la de los cultivos con aproximadamente 275 hectáreas menos en el 2023 que en comparación con el año 2017, lo que equivale a un 32% menos de áreas cultivadas en la zona. Esta disminución se observa en la **Figura 43**, Mapa de coberturas, en la zona central del mapa. Primero, cerca del centro poblado de Berlín, se observa como los polígonos amarillos disminuyen considerablemente quedando una porción más pequeña de esta cobertura en esa zona para el año 2023. En segundo lugar, en los centros poblados de La Laguna y Pachagual, se presenta una reducción menor. En estos puntos, los cultivos se redistribuyen y se localizan más sobre la parte sur de Pachagual. Para el año 2023, la cobertura de nubes disminuyó un 85,5% en comparación con el año 2017, pasó de 151,1 hectáreas a 21,9 respectivamente. Esta disminución permite ver que en las zonas donde por condiciones climáticas propias de la zona no se pudo obtener información para el año 2017, en el año 2023 estas zonas están cubiertas principalmente por pastizales y por vegetación tal como se observa en la **Figura 43** en la parte suroccidental del mapa.

Continuando con el análisis y observando el gráfico de barras, un resultado importante se observa en la cobertura de área construida debido al aumento de 726,4 hectáreas del año 2017 al 2023 para un total del 70,3% de incremento de las construcciones en la zona de estudio. Como se observa en el Mapa de Coberturas del Suelo, las zonas con mayor crecimiento en área construida están localizadas hacia la parte nororiental y suroccidental de la zona de estudio. Cabe resaltar que, hacia la parte noroccidental, centro y suroriente del área de estudio también se presentan cambios menores en área construida. En la parte nororiental de la zona de estudio, más exactamente en el municipio de Mutiscua, es donde más se ve

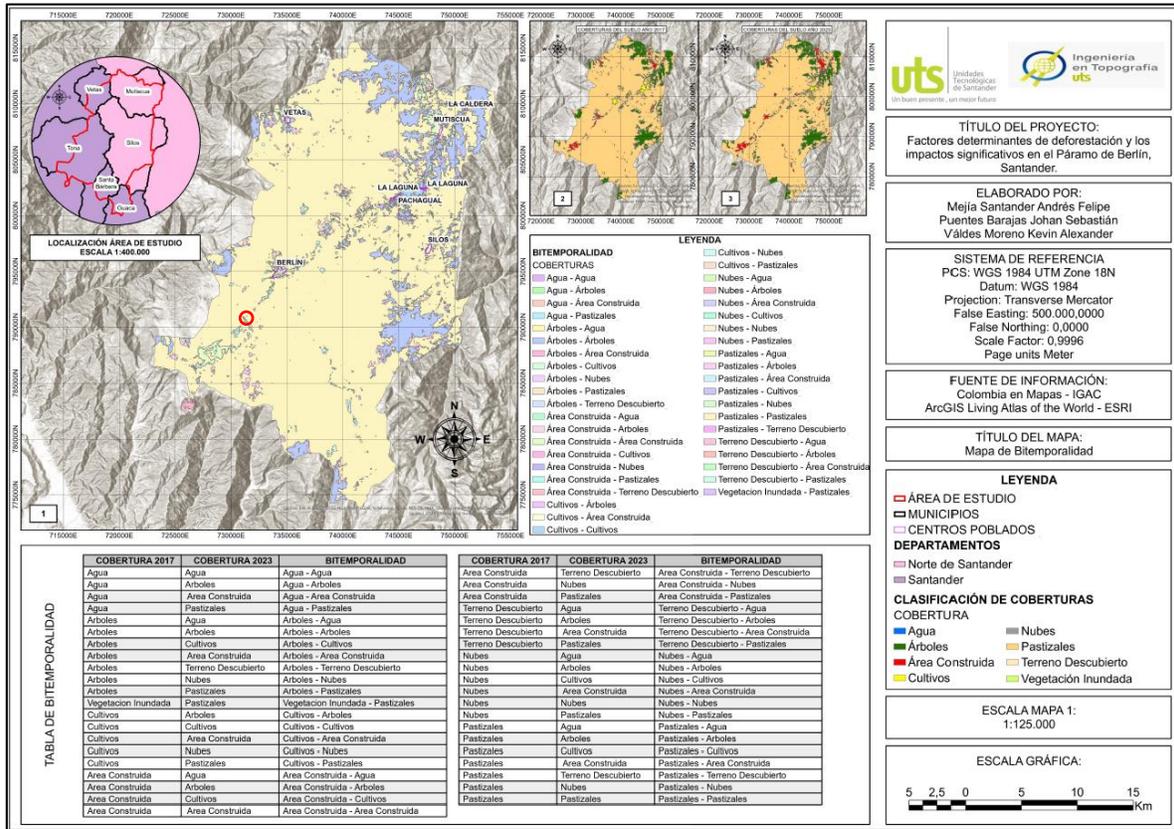
reflejado el aumento del área construida cerca de los centros poblados La Caldera y Mutiscua. En el centro poblado de Silos, localizado en la parte oriental del área de estudio, se observa que también se presenta un aumento leve del área construida hacia la parte norte de este mismo. Hacia la parte suroriental de la zona de estudio, entre los límites de Silos y Santa Bárbara, se visualiza un cambio considerable en donde el área construida aumenta significativamente del año 2017 al 2023, tal como se observa en el mapa de la **Figura 43**.

En el centro del área de estudio, en el corregimiento de Berlín y de su centro poblado, se observa como aumentó el área construida del año 2017 al 2023 evidenciando como algunas zonas que eran de cultivos pasaron a ser áreas construidas por el hombre. Finalmente, en la parte noroccidental del área de estudio, en el centro poblado de Vetas se contempla como aumentó en parte el tamaño del área construida para el año 2023 en comparación con el año 2017.

Otro resultado destacado en la comparación del cambio de coberturas en la zona de estudio entre los años estudiados se da en cuanto al aumento de la cobertura vegetal registrando 795,2 hectáreas más de vegetación para el año 2023. Estos cambios se detallan en el Mapa de Coberturas en la parte noroccidental, en el centro poblado del municipio de Vetas, así como hacia la parte suroccidental en el corregimiento de Berlín del municipio de Tona.

5.2. MAPA DE BITEMPORALIDAD

Figura 47. Mapa de Bitemporalidad



Fuente: Autores

Con la elaboración del Mapa de Bitemporalidad, a partir de la intercepción de las coberturas del suelo para el año 2017 y 2023 con el software ArcGIS Pro, se identificaron, entre los resultados más relevantes, el cambio de coberturas de Cultivos a Pastizales, y de Árboles, Cultivos y Pastizales por cobertura de Área construida. Esta última modificación representa un ejemplo del cambio en el uso del suelo especialmente por el crecimiento y la expansión urbana que se ha dado en la zona de estudio, principalmente, por la construcción de viviendas, cabañas, y glampings para el disfrute turístico en la zona, debido a las condiciones climáticas que ofrece estas áreas sobre las cuales se han desarrollado estos proyectos

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

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

urbanísticos. Este aumento en el área construida se da cerca de los principales centros poblados que se encuentran en la zona de estudio y que se facilita gracias a la existencia del corredor vial nacional que comunica a Bucaramanga con Pamplona y por la topografía plana que se presenta en gran parte del área estudiada.

El cambio de cobertura de Árboles a Área construida, se presenta sobre tres puntos en la zona de estudio. La primera zona en donde se evidencia el cambio está localizada hacia el nororiente en donde se logran ver algunos polígonos con este cambio como se observa en el Mapa de Bitemporalidad, y que están ubicados cerca del centro poblado de Mutiscua y la Caldera. La segunda zona se observa cerca del centro poblado de Silos, es decir al oriente de la zona, donde se evidencia el cambio en menor proporción que la zona anterior. La última zona, se localiza al noroccidente del área sobre el centro poblado de Vetas, donde el cambio es menor en comparación a la primera zona.

La modificación de Cultivos a cobertura de Área construida también se identificó en dos zonas dentro del área de estudio. La primera se observa hacia el nororiente de la zona cerca de los centros poblados de Mutiscua y la Caldera. En segundo lugar, y la zona donde es mayor el cambio, está localizada en el centro del área de estudio cerca de los centros poblados de la Laguna, Pachagual y Berlín, siendo este último el área sobre la cual se modificaron más cultivos por construcciones.

Otro de los cambios que más se presentan es la transformación de zonas de Cultivos por cobertura de Pastizales, observándose este cambio sobre dos zonas del área de estudio, cambio que se puede dar principalmente por la variación en las condiciones climáticas entre los dos años estudiados, una de esas variaciones puede ser el fenómeno del niño que se acentuó principalmente en el año 2023. La primera zona sobre la cual se observa esta modificación está localizada al nororiente del área cerca del centro poblado de Mutiscua. La segunda zona, y la que más modificación se observa, está ubicada en el centro del área de estudio,

cerca de los centros poblados de La Laguna, Pachagual y Berlín, siendo este último el área en que se ven más polígonos que representan la reducción de cultivos que se dan sobre este corregimiento.

Finalmente, la cobertura sobre la que más cambio se visualiza en el área de estudio es la de Pastizales por Área construida. En el Mapa de Bitemporalidad (**Figura 47**), se pueden observar zonas con este cambio sobre toda el área de estudio. La primera zona que se visualiza está localizada hacia el nororiente cerca los centros poblados de la Caldera y Mutiscua, siendo este último el área con más polígonos que representan el cambio de cobertura. La segunda zona está ubicada al oriente del área, más precisamente cerca del centro poblado de Silos, en donde el cambio es en menor cantidad que la primera zona. En tercer lugar, al suroriente del área se da un cambio considerable de pastizales a área construida sobre zonas rurales y limítrofes de los municipios de Guaca, Santa Bárbara y Silos. Continuando, al centro del área estudiada, se identificaron cambios en menor proporción cerca de los centros poblados de la Laguna, Pachagual y Berlín. Hacia el suroccidente del área, más precisamente en el corregimiento de Berlín, es donde se acentúa este cambio de Pastizales a Área construida tal como se observa en los polígonos en el Mapa de Bitemporalidad. Finalmente, y también con un cambio significativo, la última zona en la que se observó este cambio está ubicada hacia el noroccidente del área cerca del centro poblado de Vetas, zona en la que se identifican ciertos polígonos que representan este cambio de cobertura.

Como evidencia de lo mencionado en el párrafo anterior, a continuación, se presentan dos imágenes, una del 2017 y otra del 2023, de una zona sobre el corregimiento de Berlín donde se observa el cambio de la cobertura de Pastizales por la de Área construida, siendo el cambio por el aumento en la construcción humana. Estas dos imágenes fueron tomadas directamente de Google Earth, para el año 2017 y 2023, y modificadas para añadir el mapa de cobertura de cada año y el punto específico donde se encuentra la zona identificada.

Figura 48. Área Construida año 2017



Fuente: Autores

Figura 49. Área Construida año 2023



Fuente: Autores

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

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

El punto en específico para detallar el cambio de cobertura entre los dos años estudiados, se señala por medio de un círculo rojo hacia la parte suroccidental del Mapa de Bitemporalidad.

Como se observa en las dos imágenes anteriores, se logra visualizar un aumento del área construida para el año 2023 en comparación con el año 2017. En la primera imagen se observa la existencia de un hotel, para el disfrute de turistas, llamado “Refugio Piedra Parada”, el cual consta de cabañas y otras estructuras que fueron construidas inicialmente. En la segunda imagen, se identifica claramente como en el área que antes era destinada a pastizales fue construida una serie de cabañas denominadas villas, además de otras estructuras cercanas a lo construido en el año 2017, todas pertenecientes a este complejo turístico, situación que demuestra el impacto y el cambio en el uso del suelo producto de la expansión urbana y humana que busca nuevos sitios para su descanso, lo cual trae efectos adversos sobre el páramo ya que se puede afectar su condición natural y contaminar sus fuentes hídricas sino se da un buen manejo a las aguas residuales que se generan de estas construcciones.

5.3. FACTORES DESENCADENANTES DE DEFORESTACIÓN

Después del análisis de los mapas de coberturas y de bitemporalidad del área de estudio para los años 2017 y 2023 se identifica que entre los principales factores desencadenantes de deforestación están la Expansión Urbana, la Expansión de la frontera agrícola y el cambio en el uso del suelo. Estos factores en conjunto son los responsables de la disminución de la vegetación tal como se observa en los mapas de coberturas y de bitemporalidad.

La expansión urbana en el área de estudio se evidencia como un factor desencadenante producto del aumento de las construcciones por el desarrollo urbano y rural que ha venido incrementando en los últimos años convirtiendo áreas boscosas, cultivos y pastizales en terrenos edificables. Este desarrollo urbano tan

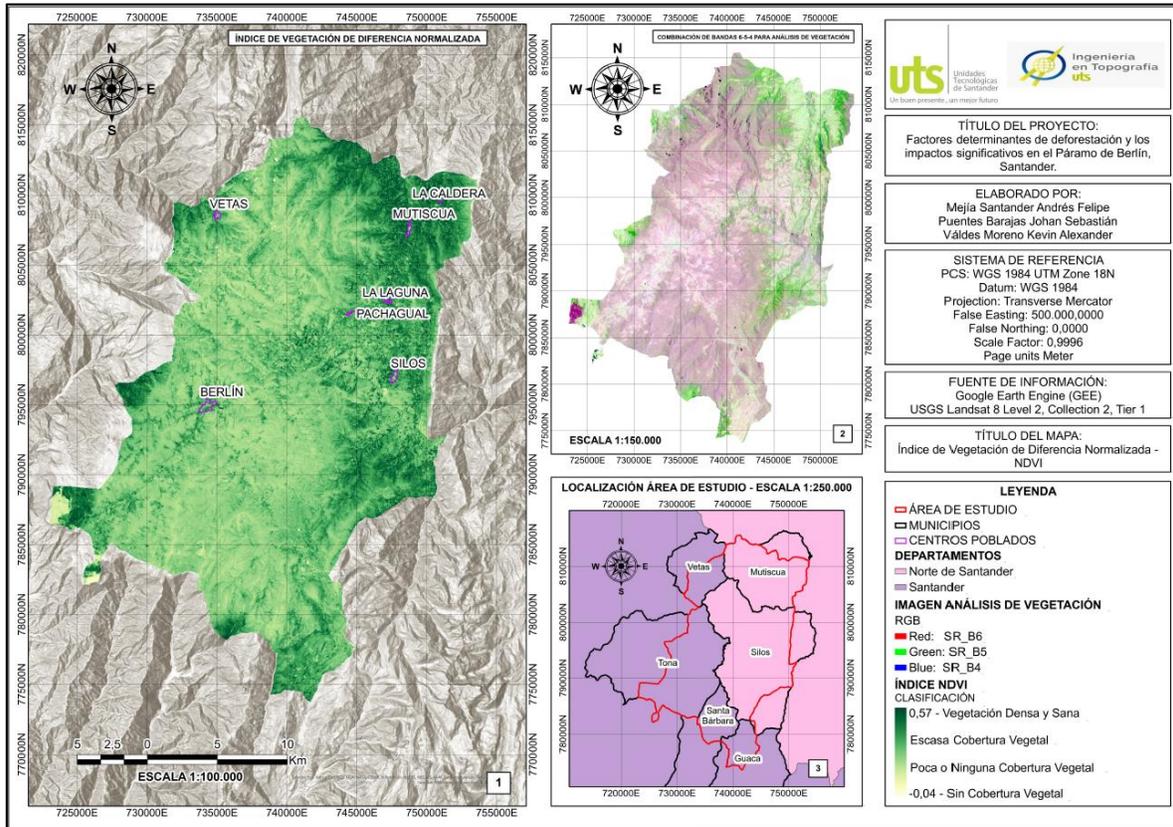
evidente impulsado por el crecimiento poblacional y por la presencia de la vía nacional que conduce de Bucaramanga a Pamplona, afecta negativamente las zonas de páramo las cuales no deberían ser destinadas para estos usos, sino que deberían ser áreas de conservación y protección nacional.

Asimismo, la expansión agrícola contribuye significativamente en el proceso de deforestación debido a que día a día aumenta la demanda de alimentos agrícolas para el consumo humano lo que conlleva a que diversas áreas de bosque y pastizales sean talados para preparar los terrenos para la agricultura, lo cual afecta negativamente el ecosistema de páramo y contribuye a la pérdida de la cobertura vegetal, hábitats de especies nativas de la región y al igual que afecta las fuentes hídricas de la zona debido al uso de elementos químicos que se emplean para los cultivos.

Por último, los cambios en el uso del suelo, impulsados por las diversas actividades humanas, transforman el paisaje forestal en áreas destinadas a otros usos para los cuales no están preparadas provocando así una evidente disminución en la cobertura vegetal. Estas transformaciones las podemos observar en el mapa de bitemporalidad al momento en el que zonas boscosas se transforman ya sea en zonas cultivables, edificables y pastizales, en donde esta última, puede ser destinada a la incorporación de actividades de pastoreo, hecho que puede desencadenar en afectaciones a estos terrenos y las fuentes hídricas próximas a estas actividades.

5.4. ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI)

Figura 50. Mapa del Índice NDVI



Fuente: Autores

En el Mapa del índice de Vegetación de Diferencia Normalizada – NDVI, se pueden evidenciar varias características dentro de la zona de estudio. La clasificación que se generó para la leyenda se hizo a partir de información recopilada de la página Farm21 en su artículo web “Ver más allá de lo que se ve a simple vista: Desbloquea el poder de las imágenes NDVI para la agricultura.” (Gelerter, 2023), donde se explican algunas directrices para interpretar estos valores. En la parte nororiental, cerca de los centros poblados de la Caldera y Mutiscua, se observa gran densidad de zona boscosa, vegetación alta y cultivos en estado saludable, zonas que se encuentran ubicadas sobre una topografía ondulada con pendientes leves, donde posiblemente existan nacimientos de fuentes

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

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

hídricas lo que hace que esta zona tenga una humedad alta que se evidencia en el mapa con una tonalidad de un verde más oscuro.

En la parte oriental de la zona de estudio, hacia los centros poblados de la Laguna, Pachagual y Silos, se aprecia que la vegetación en comparación con la descrita anteriormente, presenta una menor cobertura y calidad al evidenciarse zonas con terrenos descubiertos y pastizales, esto visualizándose en las tonalidades de verdes más claros.

Hacia la parte suroriental del centro poblado de Silos, el índice NDVI muestra que, la vegetación que se localiza sobre esta zona de montaña, la calidad de esta es similar, pero con una leve mejoría con respecto a la descrita en la zona anterior, ya que se presentan unos colores verdes más intensos, pero no tan notables como la primera zona analizada.

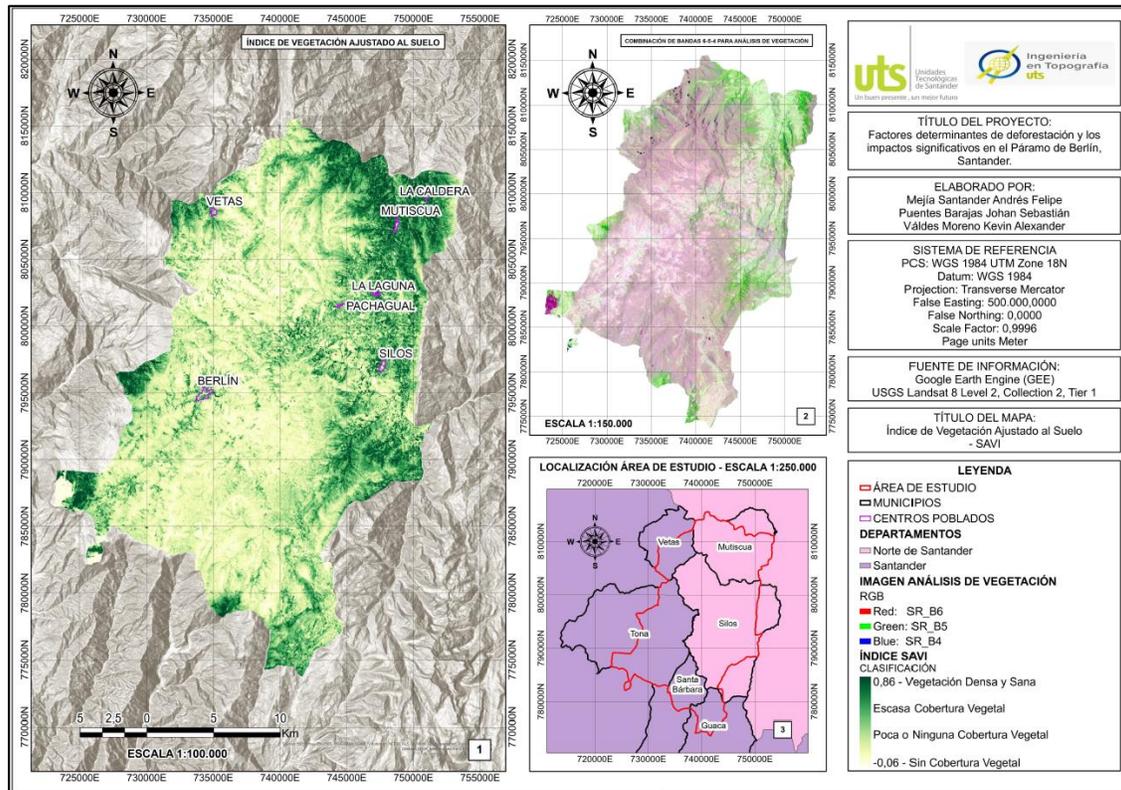
Para la parte sur de la zona de estudio, entre los municipios de Santa Bárbara y Guaca, se observa la presencia de vegetación variada entre zona boscosa y cultivos saludables en etapa de desarrollo, en este sector, en la zona donde se aprecia un verde más oscuro, corresponde a zona montañosa-boscosa. En la parte suroccidental del área de estudio, sobre el corregimiento de Berlín, se aprecia que la vegetación presenta dos tonalidades de colores muy diferenciadas. La zona de color verde oscuro, corresponde a zona de montaña y roca con una vegetación más saludable y en proceso de recuperación producto del incendio ocurrido para el mes de enero del presente año. Como consecuencia de dicho incendio, la zona con un color verde claro es la más afectada y la que presenta una mayor pérdida y afectación en la cobertura vegetal.

La zona central, sobre el centro poblado de Berlín, la vegetación presente corresponde en gran parte a zonas de cultivos en etapa de desarrollo saludable, que se observan en tonos verdes más oscuros, y las zonas que se visualizan en tonalidades verdes más claras corresponden a zonas de pastizales permanentes en el área donde la topografía es en general plana y ondulada.

Hacia la parte occidental del centro poblado de Berlín se identifica una zona de montaña con presencia de bosques lo que puede indicar la presencia de fuentes hídricas lo que ayuda a que la zona sea más húmeda por lo cual, el color de la zona es una tonalidad de verde más oscura. Para la zona noroccidental, sector de Vetas, se aprecia una zona montañosa con vegetación en estado saludable, tonalidad verde oscura, y hacia las terminaciones de la montaña zonas de cultivo y pastizales de una tonalidad de verdes más claros. Hacia el nororiente del centro poblado de Vetas, la zona del macizo rocoso se puede identificar con una tonalidad de verdes más claros dentro de la cual se logra observar la presencia de espejos de agua los cuales muestran una tonalidad de amarillo claro.

5.5. ÍNDICE DE VEGETACIÓN AJUSTADO AL SUELO (SAVI)

Figura 51. Mapa del Índice SAVI



Fuente: Autores

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

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

Analizando el mapa resultado del cálculo del índice de Vegetación Ajustado al Suelo – SAVI para la zona de estudio, el cual ajusta los efectos del suelo desnudo particularmente en las áreas de vegetación escasa y suelo descubierto se logra identificar algunos cambios significativos que conllevan a una mejor interpretación y análisis en comparación con los resultados obtenidos en el índice NDVI. Para la leyenda se apropió la trabajada para el índice NDVI, al ser similares en su forma de obtención. En la parte nororiental en los centros poblados de la Caldera y Mutiscua la corrección del suelo para la zona ubicada más al este de la Caldera permite apreciar una gama de color amarillo que podrían ser interpretados como zonas de pastizales y las zonas boscosas, de vegetación alta y cultivos mantienen la misma tonalidad, pero con un valor de índice superior al calculado en el NDVI.

En la parte oriental sobre los centros poblados de la Laguna, Pachagual y Silos los resultados obtenidos son similares a los de la zona descrita anteriormente, evidenciándose la aparición de zonas más amarillentas para los suelos desnudos y vegetación menos densa como los pastizales. La zona boscosa hacia la parte sur del centro poblado de Silos aumentó la tonalidad de verde al igual que el valor del índice debido al factor de corrección del suelo que se aplicó.

En la parte sur del área de estudio entre los municipios de Santa Bárbara y Guaca gracias a los ajustes del suelo que se producen sobre los suelos desnudos, se observa que la tonalidad de verde que aparecía en el NDVI disminuyó y ahora se observan tonalidades de colores verdes y amarillos claros identificando así las zonas de pastizales y terreno descubierto. En este mismo sector se logra apreciar ahora la zona boscosa en tonalidad verde más oscura en conjunto con zona de roca hacia las terminaciones de la montaña, es decir la tonalidad de colores verde amarillento.

Hacia la parte suroccidental del área de estudio, sobre el corregimiento de Berlín, en comparación con el NDVI se aprecia que gracias al factor de corrección del suelo en el índice SAVI, en el lugar del incendio los colores son amarillos casi blancos que

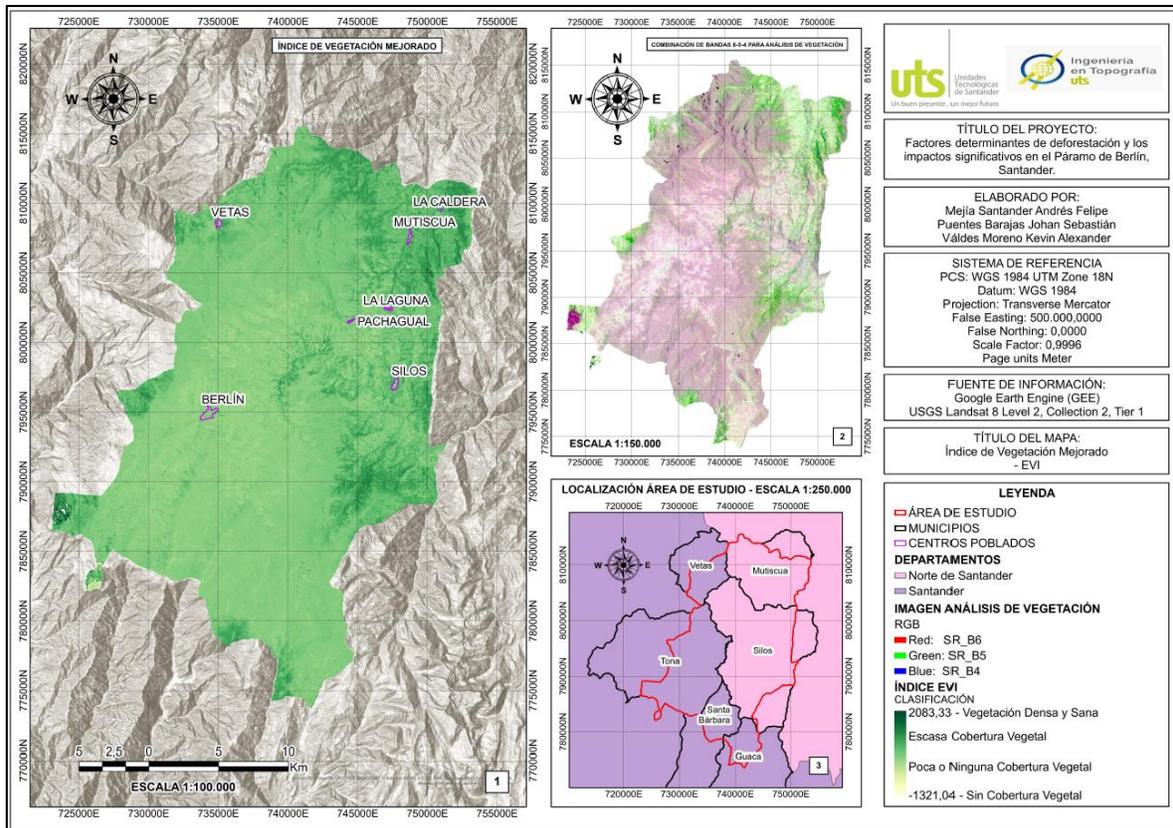
representan la zona de vegetación que más afectación tuvo como consecuencia del incendio de enero del presente año y a su alrededor unos colores de verdes más intensos que representa la vegetación en recuperación después del evento.

En el centro del área de estudio, más precisamente sobre el centro poblado de Berlín, es donde se evidencia un gran cambio de tonalidad de colores permitiendo ver con más claridad el suelo desnudo y los pastizales que se encuentran sobre esta zona. Los colores verdes oscuros que permanecen en esta área corresponden aún a zonas de cultivos saludables al igual que la zona de montaña y bosque que se observa hacia la parte occidental de este centro poblado. Otro de los grandes cambios que se producen en este índice en comparación con el NDVI, es que hacia el centro poblado de vetas se identifican suelos desnudos y pastizales y hacia la parte oriental, se puede visualizar de mejor manera el macizo rocoso en tonalidades de verdes y amarillos más claros. Todos estos cambios que se logran visualizar en este mapa con el cálculo de este índice se dan gracias a la aplicación de un factor de ajuste del suelo (L), que para el proyecto se escogió el valor de 0.5 que es el recomendado para este tipo de cálculos, lo que permite eliminar los ruidos del suelo como son la humedad, el color entre otros sobre suelos desnudos y de baja cobertura vegetal.

5.6. ÍNDICE DE VEGETACIÓN MEJORADO (EVI)

Analizando el mapa obtenido para el cálculo del Índice de Vegetación Mejorado – EVI, podemos observar que, con el cálculo de la radiancia entre las bandas del Azul y Rojo, y gracias a la corrección de los aerosoles de la atmósfera y de los ruidos del suelo con los coeficientes C1, C2 y L que contiene la fórmula de este índice, donde sus valores recomendados son (C1=6), (C2=7.5) y (L=1), las zonas con mejor biomasa o con vegetación densa y saludable están localizadas en mayor medida hacia la parte nororiental y oriental de la zona de estudio.

Figura 52. Mapa del Índice EVI



Fuente: Autores

Como se identifica en el mapa, hacia los centros poblados de la Caldera y Mutiscua se visualizan zonas con una tonalidad de verde más oscura que representa vegetación, zona boscosa o cultivos saludables, esto gracias a que el relieve no es tan fuerte y presenta zonas onduladas por lo que los valores del índice son cercanos a uno. Para la parte oriental, en los centros poblados de La Laguna, Pachagual y Silos, se puede identificar algunas zonas con una mejor biomasa que en otras, visualizándose en tonos verdes oscuros, y también se pueden divisar zonas con verdes más claros que representan las zonas de pastizales y áreas cultivadas con poca vegetación o terreno descubierto. Hacia la parte sur del centro poblado de Silos se puede identificar un área montañosa con presencia de vegetación densa y sana representada por la tonalidad de verde más oscura.

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

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

En la parte sur y suroriente del área de estudio, entre los municipios de Santa Bárbara y Guaca, con las correcciones aplicada en el índice se logran ver dos zonas bien definidas con vegetación sana ubicadas sobre zona montañosa y a diferencia de esta zona, en la parte baja o en las terminaciones de estas montañas se observan zonas con verdes claros que permiten determinar que son zonas con vegetación escasa, terrenos descubiertos o zona rocosa como se observó en el índice NDVI y SAVI.

En la parte suroccidental del área de estudio, más precisamente sobre la zona de la vereda Ucatá, municipio de Tona, en la que se desarrolló el incendio en enero del presente año que produjo una gran deforestación y afectación, se identifican varios cambios en la vegetación presente en la zona. Como se observa, hay partes del área con vegetación muy afectada, representada en colores verdes muy claros; por otra parte, hay puntos sobre el área en donde la vegetación se ve con un grado de recuperación mayor gracias a las mejoras de las condiciones climáticas sobre esta zona. Como consecuencia, esta zona es la más afectada por la deforestación sobre el área de estudio, sin embargo, se logra ver mejoría en la calidad de la vegetación.

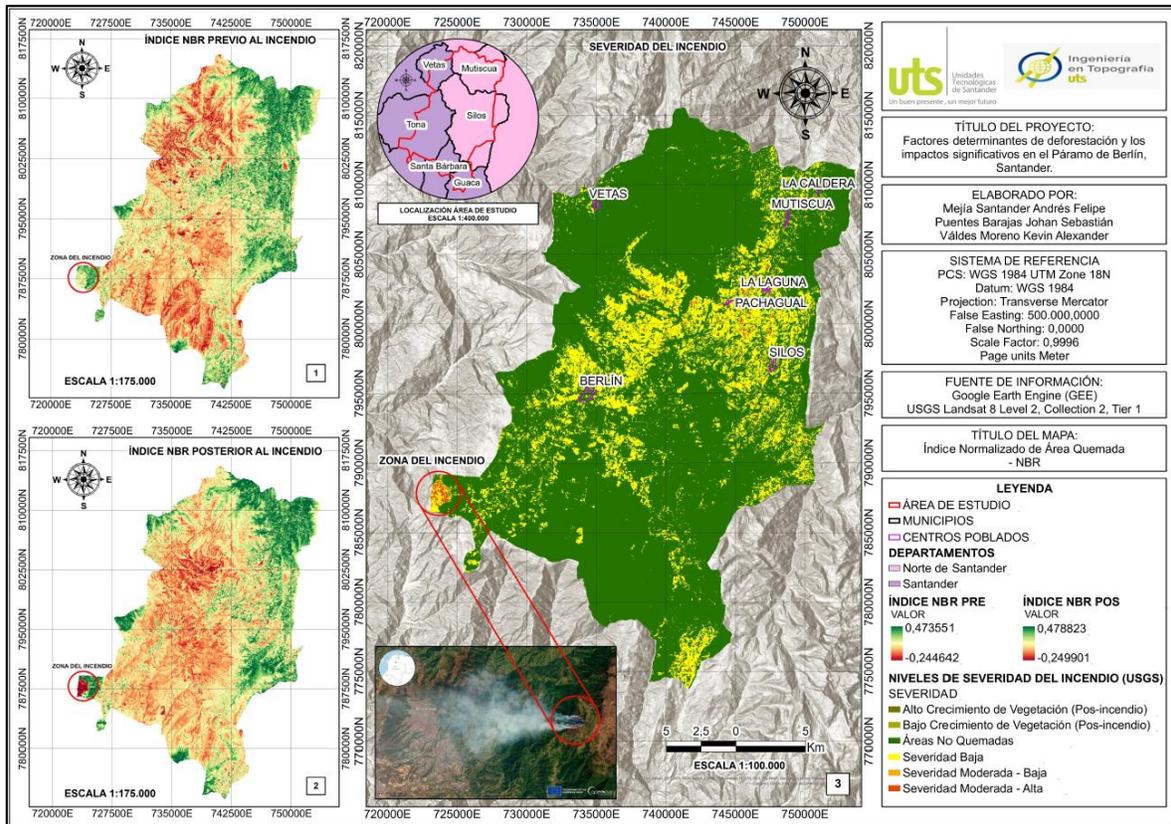
Hacia el centro del área de estudio, más que todo en el centro poblado de Berlín y sus alrededores, los resultados del índice nos evidencia claramente como esta zona está caracterizada en gran parte por la presencia de suelos con pastizales o vegetación escasa, visualizándose tonalidades de verdes más claros, sin embargo, se logran apreciar verdes con tonalidades más oscuras que representan la vegetación sana de algunos cultivos presentes en la región y de algunas zonas con árboles zona montañosa, hacia el occidente de este centro poblado.

Al igual que en los resultados de los anteriores índices, en la zona de Vetas se logra observar vegetación densa y sana hacia el occidente, sobre zona montañosa, y hacia la parte baja de esta zona pastizales representados en color verde claro. La parte del macizo rocoso, localizada hacia el oriente de Vetas, se puede divisar en

un color más claro, en donde se logran observar algunos puntos con colores amarillo claro que representan los cuerpos de agua que existen sobre esta región.

5.7. ÍNDICE NORMALIZADO DE ÁREA QUEMADA

Figura 53. Mapa del Índice NBR



Fuente: Autores

Para la elaboración del mapa del Índice Normalizado de Área Quemada (NBR) se realizó un procedimiento en el que se evalúa el impacto de posibles incendios en el área de estudio a partir de dos imágenes satelitales de LANDSAT 8, adquiridas para el 06 de enero y el 11 de abril del 2024 respectivamente. Como caso de estudio, se enfocará el procedimiento en el incendio ocurrido en la vereda Ucatá, municipio de Tona, para mediados de enero del presente año. Como primer paso del proceso, se calculó el índice NBR previo al incendio, es decir con la imagen

adquirida para enero, después se calculó el índice NBR posterior al evento, con la imagen adquirida para abril, y finalmente, fue evaluada la severidad del incendio, por medio de la resta entre los valores del índice previo y posterior al suceso, empleando la clasificación de niveles de severidad propuestos por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

Analizando los mapas donde se calcula el índice NBR previo y posterior al evento, se puede identificar que para la zona norte, oriente, centro, sur, suroriente y hacia el noroccidente del área de estudio se presentan unas tonalidades de colores rojo y amarillo con valores negativos y cercanos a cero, teniendo como valor mínimo menos 0,24, que se interpretarían como zonas quemadas, sin embargo, estas zonas no necesariamente representan afectaciones por incendios, por el contrario, pueden ser zonas con condiciones de terreno descubierto o que hacen parte del macizo rocoso que se encuentra dentro del área de estudio.

Las tonalidades de colores verdes representan áreas de cultivos, vegetación densa y bosques en montaña, que no han sido afectadas por algún incendio, por lo cual, los valores arrojados por el índice, tanto para el NBR previo y posterior al evento, son superiores a cero y teniendo un máximo valor cercano a los 0,47.

En el área de estudio afectada por el incendio en la vereda Ucatá, municipio de Tona, se puede observar que, para el índice calculado previo al incendio, la vegetación que se encontraba sobre el área se identifica con tonalidades de verdes claros y oscuros, donde los verdes claros y amarillos representan áreas que fueron impactadas drásticamente por las altas temperaturas a raíz del fenómeno del niño que se produjo en ese instante de tiempo. Posterior al evento, se calculó el índice NBR en el que la zona afectada se aprecia el impacto significativo que se produjo sobre la vegetación que se presentaba en la zona generando afectaciones en la biodiversidad, visualizándose esta área quemada en la tonalidad de color rojo oscuro.

Tabla 15. Niveles de Severidad del Incendio Propuesto por el USGS

Severity Level	dNBR Range (scaled by 10 ³)	dNBR Range (not scaled)
Enhanced Regrowth, high (post-fire)	(-500 to -251)	(-0,500 to -0,251)
Enhanced Regrowth, low (post-fire)	(-250 to -101)	(-0,250 to -0,101)
Unburned	(-100 to +099)	(-0,100 to +0,99)
Low Severity	(+100 to +269)	(+0,100 to +0,269)
Moderate-low Severity	(+270 to +439)	(+0,270 to +0,439)
Moderate-high Severity	(+440 to +659)	(+0,440 to +0,659)
High Severity	(+659 to +1300)	(+0,659 to +1,300)

Fuente: (Gis&Beers, 2019)

Después de analizados los índices NBR calculados previamente y posteriormente al incendio, el mapa de índice de severidad del incendio fue reclasificado en el software ArcGIS Pro según los rangos propuestos por el USGS (**Tabla 15**) para este tipo de casos, arrojando como resultado que en la zona de estudio se presenta desde el nivel de restauración alta (pos-incendio) hasta el nivel de severidad moderado-alto, esto como resultado de los valores obtenidos entre la resta del NBR previo y posterior al evento.

Para la parte nororiental del área cerca de los centros poblados de la Caldera y Mutiscua se identifica que la mayor parte de suelo son áreas no quemadas, sin embargo, se observan zonas clasificadas con severidad baja, pero se aclara que son sectores de terreno descubierto o rocoso. En el oriente del área de estudio, hacia los centros poblados la Laguna, Pachagual y Silos, se identifica que la mayor parte del suelo se clasifica en el nivel de severidad baja, y otros sectores pequeños en severidad media alta, sin embargo, al igual que la zona descrita anteriormente, estas áreas no representan afectaciones por incendios por el contrario son terrenos descubiertos o rocosos.

Analizando la parte sur y suroriente del área de estudio, correspondiente a los municipios de Santa Bárbara y Guaca, se logra identificar que gran parte del terreno corresponde a áreas no quemadas, visualizadas en color verde; el área que se observa en colores amarillo y puntos rojos corresponden a terrenos descubiertos o

zonas rocosas. A los alrededores del centro poblado de Berlín, se identifica el mismo comportamiento que los anteriores análisis, denotando que en gran parte se representan zonas de baja severidad. Cabe aclarar que, estos sectores no son áreas quemadas sino terrenos sin vegetación o rocosos. Además de estas áreas, hacia el occidente de Berlín se visualiza en la zona montañosa áreas que no han sido afectadas por ningún incendio forestal. Hacia la parte noroccidental, en el centro poblado de Vetas se visualiza que en mayor proporción los suelos representan áreas no quemadas. Cabe mencionar que debido a la reclasificación que se les hizo a los valores de la severidad del incendio, el macizo rocoso cerca a esa zona se visualiza en color verde, es decir como área no quemada.

Gracias a la reclasificación realizada con los valores propuesto por el USGS para la severidad del incendio, se pudo identificar que la zona afectada directamente por la conflagración en enero del presente año en la vereda Ucatá, obtuvo los valores más altos de la severidad del incendio clasificándose así en el nivel de Severidad Moderado Alto, con valores que oscilan entre 0,44 y 0,659, que se visualizan de una tonalidad rojiza indicando así que, después de tres meses de sucedido el evento hasta la adquisición de la imagen por el satélite, son las zonas más afectadas y con una pérdida considerable de biodiversidad propia de la zona. A su vez la zona presenta tonalidades de colores amarillos que representan un nivel de Severidad Bajo oscilando entre los valores 0,1 y 0,269, esto quiere decir que, en el transcurso del tiempo desde el suceso del evento a la toma de la imagen, la vegetación y el suelo se han venido recuperando levemente a raíz de las precipitaciones que se han presentado en la zona y a la finalización del fenómeno de la niña, tal como se puede observar en la imagen (**FIGURA 54**) captada por un dron de la CDMB para el día 20 de marzo de 2024 y publicada por el medio digital Vanguardia en su artículo llamado “Desde el aire: así se ve la maravillosa recuperación de frailejones en el páramo de Berlín” (Araque, 2024).

Figura 54. Zona de Afectación en Recuperación - CDMB



Fuente: Imagen tomada de Vanguardia

5.8. IMPACTOS SIGNIFICATIVOS DE LA DEFORESTACIÓN

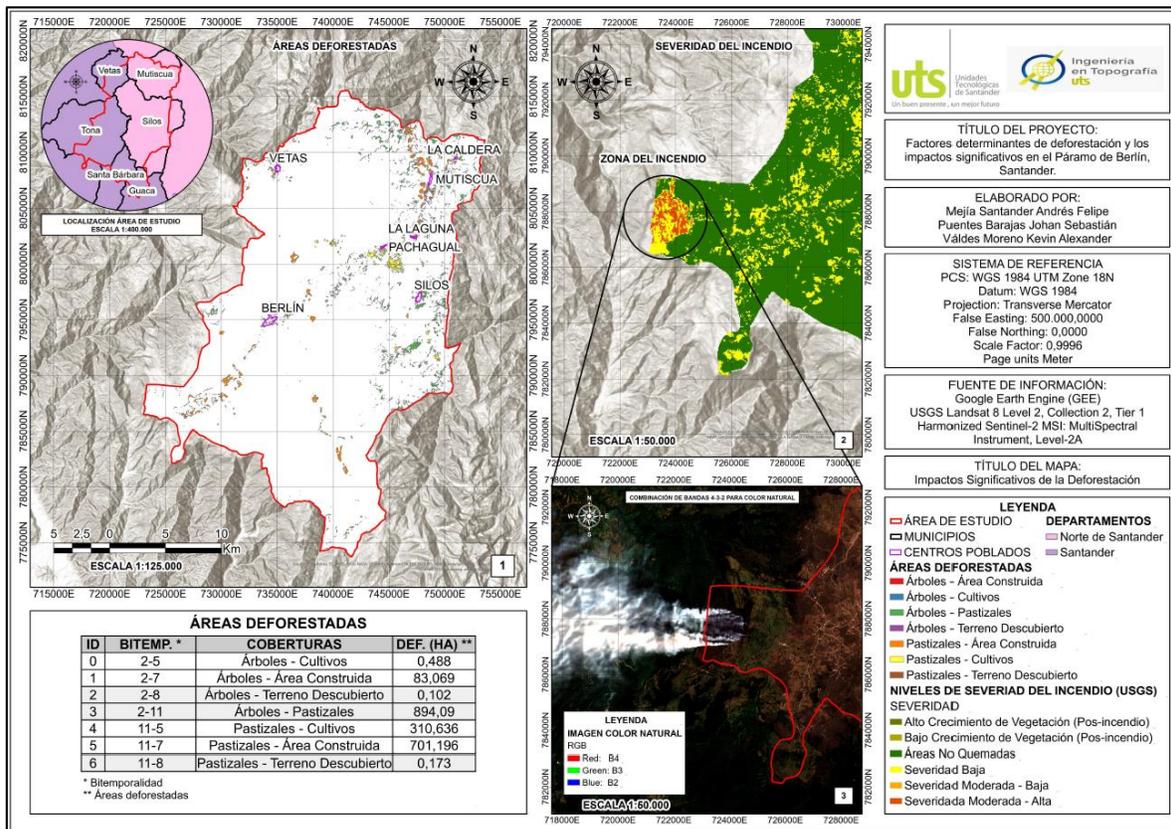
A partir de los resultados obtenidos para el cambio de coberturas entre el año 2017 y 2023, la clasificación de la severidad del incendio y con el uso de herramientas geomáticas, se logró identificar las zonas que han sido deforestadas por causas antrópicas o naturales en el área de estudio. Adicionalmente, se identificaron cuáles fueron las coberturas que fueron deforestadas para dar paso a construcciones, cultivos o pastizales calculando el total de áreas deforestadas para cada cobertura como se visualiza en la siguiente tabla:

Figura 55. Áreas Deforestadas

ID	BITEMPORALIDAD	COBERTURAS	AR. DEF. (HA)	% DEF
0	2-5	Arboles - Cultivos	0,488	0,02%
1	2-7	Arboles - Area Construida	83,069	4,17%
2	2-8	Arboles - Terreno Descubierta	0,102	0,01%
3	2-11	Arboles - Pastizales	894,090	44,93%
4	11-5	Pastizales - Cultivos	310,636	15,61%
5	11-7	Pastizales - Area Construida	701,196	35,24%
6	11-8	Pastizales - Terreno Descubierta	0,173	0,01%
TOTAL			1989,755	100,00%

Fuente: Autores

Figura 56. Mapa de Impactos Significativos de la Deforestación



Fuente: Autores

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

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

Como se observa en el mapa de impactos significativos de la deforestación, en el primer mapa se localizan estas zonas además de una tabla con las áreas deforestadas, en donde se obtuvo un total de 1989,755 hectáreas deforestadas por actividades antrópicas. Principalmente, se observa como la pérdida de árboles y vegetación propia de la zona causó un gran impacto en la deforestación con un total de 977,749 hectáreas deforestadas, lo que representa un 49,14% del total de áreas deforestadas siendo la principal razón la pérdida de esta cobertura para dar paso a pastizales y al incremento de áreas construidas debido a la expansión y el desarrollo urbano que ha tenido la zona, tal como se evidenció en el mapa de coberturas del año 2023.

Por otra parte, se observa como las zonas, que primero eran vegetación o bosques y que pasaron a ser pastizales, y las que en un primer momento eran pastizales, fueron deforestadas para convertirse en cultivos y áreas construidas o terrenos descubiertos, con una pérdida de 1012,006 hectáreas lo que equivale a un 50,86% del total de áreas deforestadas. Estas zonas que se identificaron como deforestadas causan un gran impacto sobre el suelo y el agua de la región al modificarse los usos para los cuales están destinados estos terrenos, al ser zona de páramo no debería existir ningún tipo de construcción o cultivo, sin embargo, la expansión urbana y de la frontera agrícola causa pérdidas de suelos destinados a conservación y protección al igual que las zonas hídricas aledañas a estos cultivos o construcciones sufren contaminaciones por malos manejos de aguas residuales o aguas contaminadas con productos de uso agrícola.

Como resultado del incendio ocurrido para enero del presente año en la vereda Ucatá, municipio de Tona, se pudo identificar a partir de las imágenes satelitales de LANDSAT 8 y SENTINEL 2 el área deforestada por este evento que sin duda causó un gran impacto sobre esta zona. Como se observa en el mapa dos, severidad del incendio, las áreas naranjas y rojas muestran el impacto grave que aún se presenta sobre esta área, sin embargo, con el paso de los meses, se ha podido observar una

leve mejoría en algunas zonas en donde se observa una severidad baja con respecto a la zona anterior. Este incendio trajo grandes impactos sobre las condiciones del suelo, clima y agua. Como impacto significativo para el clima, la propia zona y sus alrededores, en mayor medida el municipio de Bucaramanga, se vieron afectados por el humo que se expandió varios kilómetros hacia alrededor, tal como se observa en el mapa 3, causando afectaciones en la salud de las personas debido a la mala calidad del aire que se presentó para esos días del incendio. Con respecto a la parte suelo y agua, varias afectaciones graves se dieron sobre este punto tal como lo señala la CDMB después de varias visitas realizadas por grupos de expertos de la entidad, en donde encontraron que el total de hectáreas afectadas por el incendio fueron 317 en las cuales 17 fuentes hídricas dentro de la zona se vieron afectadas directamente, pertenecientes a la microcuenca río Tona - Subcuenca Suratá - cuenca Alto Lebrija. Asimismo, el suelo tuvo gran impacto, sobre todo en la pérdida de vegetación, donde identificaron que un total de 23 especies de flora fueron afectadas destacándose entre ellas el frailejón, espino amarillo, agraz, pegamosco, encenillo, puyas, orquídea, liquen, gaque, laurel de cera, chusque y pino, al igual que fauna propia de la región, encontrándose cadáveres calcinados (CDMB, 2024).

6. CONCLUSIONES

- Mediante el análisis del mapa de bitemporalidad entre las coberturas del año 2017 y 2023 se pudo identificar que el principal factor desencadenante de deforestación en el área de estudio fue el aumento del área construida, evidenciándose esto en la disminución de la cobertura vegetal, principalmente zona de árboles y pastizales, debido a la expansión y desarrollo urbano para finalidades de turismo y vivienda urbana y rural lo que causa un impacto negativo sobre esta área que debe estar destinada para protección y conservación natural.

- Con la aplicación de las técnicas de teledetección a partir de imágenes satelitales y herramientas SIG, para calcular los índices NDVI, SAVI, EVI, y NBR, se observa que estos índices no solo permiten identificar áreas deforestadas sino que también permite visualizar el cambio en las coberturas vegetales en un intervalo de tiempo determinado, tal como se observa que en el área de estudio existen zonas con vegetación sana y densa, al igual que cultivos saludables a raíz de condiciones favorables de humedad por la presencia de fuentes hídricas y por la topografía de la zona; asimismo, con estas técnicas se pueden determinar las zonas de terrenos descubiertos y rocosos, dentro de ellas el macizo rocoso que se observa en los mapas elaborados las cuales deben ser interpretadas adecuadamente teniendo en cuenta la topografía y demás características de la zona ya que se pueden dar malas interpretaciones por la simbología que se usa en el mapa.

- Como resultado de la reclasificación de la severidad del incendio a partir de los niveles e intervalos propuestos por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), se pudo identificar que con el paso del tiempo, en el área que se desencadenó el incendio ocurrido en enero del presente año en la vereda Ucatá, municipio de Tona, varias zonas de este incendio aún presentan un nivel de severidad moderado alto, sin embargo, se logra visualizar que en gran parte del suelo del evento se ha recuperado en los últimos meses, hasta la fecha de

adquisición de la imagen satelital, arrojando un nivel de severidad baja, esto a raíz de las precipitaciones que se han presentado y de la topografía de la zona que permite que el agua escurra por la zona, así como al cambio de las condiciones climáticas producto de la finalización del fenómeno de la niña.

- La deforestación en el páramo ha traído como consecuencia impactos significativos en las condiciones del suelo, clima y agua. Estos cambios son preocupantes debido a la vulnerabilidad de la biodiversidad que se ve afectada en este ecosistema y al ser una fuente hídrica natural abastecedora para la región oriental de Colombia. Como impactos evidenciados en la investigación se observó la contaminación del ambiente a raíz del humo generado por el incendio, ocasionando una disminución de la calidad del aire para la zona y sus alrededores. De igual manera, el suelo fue el más afectado al evidenciarse la pérdida de gran cobertura vegetal y de flora y fauna endémica de la región como pastizales y frailejones, cuya presencia es esencial para la regulación del flujo del agua y mantener la humedad de la región.

- La implementación de sistemas de información geográfica (SIG), plataformas como Google Earth Engine, imágenes satelitales y el uso de programación orientada a objetos geográficos con el uso de lenguaje JavaScript, juegan un papel importante a la hora de realizar proyectos de investigación en zonas de difícil acceso, ya sea por distancia o por sus condiciones topográficas. Con el uso de estas tecnologías, el acceso a la información en la nube y su procesamiento facilitan la ejecución de geoprosesos que ayudan a obtener resultados precisos acorde a los objetivos planteados para las investigaciones, mediante los que se pueden tomar acciones y crear estrategias, como en este caso, para combatir la deforestación y proteger las zonas de páramo.

7. RECOMENDACIONES

- Es importante aprender y desarrollar habilidades de programación orientadas a objetos geográficos, usando cualquier lenguaje, ya que es una herramienta muy poderosa que permite desarrollar actividades y procesos complejos empleando imágenes satelitales de alta resolución, con la aplicación de códigos y diversas funciones ya sea en plataformas como Google Earth Engine o en entornos de desarrollo como RStudio.
- Con los resultados obtenidos para el proyecto, se recomienda como continuación de este, identificar y evaluar como las diversas estrategias propuestas por las autoridades ambientales, como la CAS, CDMB y CORPONOR, han impactado positivamente o negativamente en la recuperación de las zonas afectadas por el incendio ocurrido en la vereda Ucatá, con la aplicación de técnicas de teledetección y el uso de Google Earth Engine.
- Como se observa la importancia del desarrollo de este tipo de proyecto, se recomienda, como caso de estudio, aplicar diversas técnicas de teledetección y procesos con herramientas geomáticas al incendio ocurrido en la zona de Ruitoque, municipio de Floridablanca, en enero del presente año, con el fin de evaluar los impactos que produjo el evento en la zona.
- A partir de los resultados obtenidos y evidenciando el gran impacto que ha tenido la deforestación en el área de estudio, es importante que los gobiernos locales, departamentales y nacional, implementen estrategias para conservación y protección de las zonas afectadas en el páramo de Berlín, con el fin de controlar la expansión urbana que viene en aumento en los últimos años y así asegurar que la zona de páramo cumpla con su función natural.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, D. (2015, 10 junio). NDVI: Qué es y cómo calcularlo con SAGA desde QGIS. mappingGIS. <https://mappinggis.com/2015/06/ndvi-que-es-y-como-calcularlo-con-saga-desde-qgis/>
- Alonso, D. (2020, 30 julio). Los 6 índices de vegetación para completar el NDVI. mappingGIS. https://mappinggis.com/2020/07/los-6-indices-de-vegetacion-para-completar-el-ndvi/#NBR_Indice_de_Calcinacion_Normalizado
- Araque, M. V. (2024, 20 marzo). Desde el aire: así se ve la maravillosa recuperación de frailejones en el páramo Berlín. www.vanguardia.com. <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/2024/03/20/desde-el-aire-asi-se-ve-la-maravillosa-recuperacion-de-frailejones-en-el-paramo-berlin/>
- Arguello Beltrán, L. P., García Gordillo, O., & Escobar Mojica, J. (2021). Análisis del cambio de cobertura vegetal por medio de una clasificación no supervisada para identificar el impacto de la deforestación, Caso de estudio municipio de Lebrija Departamento de Santander en el periodo 2013 a 2021. [Tesis de pregrado, Unidades Tecnológicas de Santander]. <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/10443>
- Asale, R.-., & Rae. (s. f.). deforestación | Diccionario de la lengua española. «Diccionario de la Lengua Española» - Edición del Tricentenario. Recuperado 14 de marzo de 2024, de <https://dle.rae.es/deforestaci%C3%B3n>

- Bello Mora, J. P., & Vidal Neira, D. (2021). Formulación de un plan de prevención de incendios forestales para un sector de la vereda Chuntame, Cajicá [Tesis de pregrado, Universidad El Bosque]. <https://repositorio.unbosque.edu.co/items/34237aec-9631-4afa-bee4-196b4988e171>
- CAS. (2022, 21 noviembre). Más de 1.400 hectáreas han sido recuperadas y rehabilitadas por la CAS, en Santander. <https://cas.gov.co/prensa/6530/>
- CDMB. (2024, 20 marzo). Paso a paso para la recuperación de 317 hectáreas afectadas por el fuego en el páramo de Berlín. <http://www.cdmb.gov.co/prensa/noticias/paso-a-paso-para-la-recuperacion-de-317-hectareas-afectadas-por-el-fuego-en-el-paramo-de-berlin>
- CORPONOR. (2007, noviembre). DECLARATORIA DE UN ÁREA DE MANEJO ESPECIAL EN EL PÁRAMO DE BERLÍN. Recuperado 29 de abril de 2024, de https://corponor.gov.co/areasnaturalesestrategicas/descargas/DMI_Berlin_Resumen%20Ejecutivo_noviembre2007.pdf
- CORPONOR. (2009, marzo). ESTADO ACTUAL DEL PÁRAMO REGIÓN NORORIENTAL UNIDAD BIOGEOGRÁFICA SANTURBÁN. MINAMBIENTE. https://santurban.minambiente.gov.co/images/Pdf_santurban/antecedentes/Estado-Actual-Paramo-Santurban_Capitulo5.pdf
- De La Rosa, M. D. (2017, 20 septiembre). Decreto 1257 de 2017. Derecho del Medio Ambiente. <https://medioambiente.uexternado.edu.co/decreto-1257-de-2017-por-el-cual-se-crea-la-comision-intersectorial-para-el-control-de-la-deforestacion-y-la-gestion-integral-para-la-proteccion-de-bosques-naturales-y-se-toman-otras-determinaciones/>

F-DC-125

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

VERSIÓN: 2.0

- ESA. (2024, 19 junio). S2 Mission. Copernicus.
<https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s2-mission#Spatial-Resolution>
- ESRI. (2023, 16 noviembre). Interseca (Análisis). ArcGIS Pro.
<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/analysis/intersect.htm>
- ESRI. (2024, 28 mayo). Sentinel-2 10m Land Use/Land Cover Time Series.
ARCGIS.
<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=cfc7609de5f478eb7666240902d4d3d>
- ESRI. (s. f.). Introducción a SIG. ArcGIS Resources. Recuperado 9 de mayo de 2024, de <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n000000t000000.htm>
- Función Pública. (2021, 17 junio). Ley 1930 de 2018.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87764>
- Función Pública. (2023, 8 junio). Ley 1523 de 2012.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>
- García, H. (2012, enero). Deforestación en Colombia: retos y perspectivas. FEDESARROLLO.
https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/337/KAS%20SOPLA_Deforestacion%20en%20Colombia%20retos%20y%20perspectivas.pdf?sequence=2&isAllowed=y#:~:text=En%20Colombia%20las%20principales%20causas,presi%C3%B3n%20por%20el%20crecimiento%20poblacional.
- Gelerter, D. (2023, 25 abril). Imágenes NDVI: Guía definitiva en 3 pasos para comprenderlas y utilizarlas. Farm21. <https://www.farm21.com/es/ndvi-images-ultimate-guia-de-3-pasos/>

- Ghebregabher, M. G., Yang, T., & Yang, X. (2014). Remote sensing and GIS analysis of deforestation and desertification in Central Highland and eastern region of Eritrea (1972-2014). ResearchGate. Recuperado 8 de abril de 2024, de https://www.researchgate.net/publication/304345686_Remote_Sensing_and_GIS_analysis_of_deforestation_and_desertification_in_central_highland_and_eastern_region_of_Eritrea_1972-2014
- Gis&Beers. (2019, 13 julio). Análisis de severidad de incendios con Google Earth Engine - Gis&Beers. <https://www.gisandbeers.com/analisis-severidad-de-incendios-nbr-google-earth-engine/>
- Gobernación de Santander, Gobernación Norte de Santander, CDMB, Instituto A. V. Humboldt, & CORPONOR. (2008, agosto). PLAN INTEGRAL DE MANEJO DEL DISTRITO DE MANEJO INTEGRADO DE LOS RECURSOS NATURALES “PÁRAMO DE BERLÍN”. CORPONOR. https://corponor.gov.co/areasnaturalesestrategicas/descargas/DMI_Berlin_PMA_aprobado_agosto2008.pdf
- González, C. A. (2024, 26 enero). Atención: Terminó el infierno en el Páramo de Santurbán. Caracol Radio. <https://caracol.com.co/2024/01/26/atencion-termino-el-infierno-en-el-paramo-de-santurban/>
- Google LLC. (s. f.). Platform – Google Earth Engine. Google Earth Engine. Recuperado 6 de julio de 2024, de <https://earthengine.google.com/platform/>
- Hoyos Zuleta, R. A., & Pérez Barrera, L. M. (2021). Evaluación de la utilización de imágenes satelitales de radar Sentinel 1 para determinar el impacto antrópico en el páramo de Santurbán [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/28026>

- IGAC. (2021, 9 julio). Sobre Colombia en Mapas (CeM). Colombia En Mapas. <https://igac-geo-app.gitbook.io/colombia-en-mapas/presentacion/untitled>
- INVIAS. (2023, 19 octubre). Mapa - Carreteras / RedVial. <https://inviasopendata.invias.opendata.arcgis.com/datasets/699ebf3812e14b159edc2319f1fb800a/about>
- Kogut, P. (2024, 13 mayo). Teledetección satelital: tipos, usos y aplicaciones. EOS Data Analytics. <https://eos.com/es/blog/teledeteccion/>
- Luna, M. (2003, 3 enero). EOT MUNICIPIO DE TONA. Alcaldía de Tona En Santander. https://tonasantander.micolombiadigital.gov.co/sites/tonasantander/content/files/000587/29344_eot-tona-proyecto-de-acuerdo-2.pdf
- M. C. Hansen, P. V. Potapov, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. o. Justice, & J. R. G. Townshend. (2013, 15 noviembre). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest cover change. *Science*, 342–6160, 850-853. Recuperado 8 de abril de 2024, de <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1244693>
- Márquez, M., & López, Y. Análisis de la deforestación en el Parque Nacional Natural Sierra de la Macarena mediante un estudio multitemporal, aplicando herramientas de los sistemas de información geográficas SIG. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/56354>
- MINAMBIENTE. (2021). COMO ORIENTAR LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR INCENDIOS FORESTALES a NIVEL MUNICIPAL. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/Como-orientar-la-gestion-del-riesgo-de-desastres-por-incendios-forestales-a-nivel-municipal.pdf>

MINAMBIENTE. (s. f.). CARTILLA ORIENTADORA PARA LA GESTIÓN DEL
RIESGO EN INCENDIOS FORESTALES.

https://archivo.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Los-Incendios-Forestales/250414_cart_incendios_forestales.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente]. (2022, 7 septiembre). En Colombia se han deforestado más de tres millones de hectáreas de bosque en las últimas dos décadas. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/en-colombia-se-han-deforestado-mas-de-tres-millones-de-hectareas-de-bosque-en-las-ultimas-dos-decadas/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente]. (2021, 3 marzo). Páramo de Santurbán: las 3 acciones que el Ministerio ejecuta tras incendio. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/paramo-de-santurban-las-3-acciones-que-el-ministerio-ejecuta-tras-incendio/>

Neger, C. (2021, julio). Causas antrópicas de los incendios forestales en la sierra de Los Tuxtlas, México. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/353756512_Causas_antropicas_de_los_incendios_forestales_en_la_sierra_de_los_Tuxtlas_Mexico

Puentes, P. (2024, 12 abril). Colombia: Disminuyó la deforestación en el 2023, pero va en aumento en el 2024. Noticias Ambientales. <https://es.mongabay.com/2024/04/colombia-disminuyo-deforestacion-2023-aumento-en-2024/>

Pucha, F. (2019, 1 agosto). Lista de combinaciones de bandas en Sentinel 2. El Blog de Franz. <https://acolita.com/lista-de-combinaciones-de-bandas-en-sentinel-2a/>

- Pucha, F. (2022, 17 febrero). Combinación de bandas para Landsat 8/9. El Blog de Franz. <https://acolita.com/combinacion-de-bandas-para-landsat-8/>
- Rodríguez Timaná, R. H. (2021, 20 septiembre). Política de deforestación en Colombia (CONPES 4021 de diciembre de 2020). Derecho del Medio Ambiente. <https://medioambiente.uexternado.edu.co/politica-de-deforestacion-en-colombia-conpes-4021-de-diciembre-de-2020/>
- Rodríguez, J. (2023, 8 mayo). En peligro, páramo de Santurbán por enorme incendio forestal entre California y Cucutilla. Blu Radio. <https://www.bluradio.com/blu360/santanderes/en-peligro-el-paramo-de-santurban-por-enorme-incendio-forestal-entre-california-y-cucutilla-rg10>
- Rueda Trujillo, M. A. (2018, 12 septiembre). Dinámica del clima y vegetación en el páramo de Berlín (Complejo Santurbán), norte de la cordillera oriental de Colombia, durante el período tardiglacial. Repositorio Institucional - UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78090>
- Solórzano Villegas, J. V., & Perilla Suárez, G. A. (2022). Cómo usar Google Earth Engine y no fallar en el intento. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <https://repository.humboldt.org.co/entities/publication/0578d233-51d5-4ae7-a256-fa62cf148e8f>
- Soto Rincón, L. (2021, 7 septiembre). Ley 2111 de 2021. Derecho del Medio Ambiente. <https://medioambiente.uexternado.edu.co/ley-2111-de-2021-por-medio-de-la-cual-se-sustituye-el-titulo-xi-de-los-delitos-contra-los-recursos-naturales-y-el-medio-ambiente-de-la-ley-599-de-2000-se-modifica-la-ley-90/>
- Sposob, G. (2024, 28 febrero). Deforestación: qué es, cuáles son sus causas y consecuencias. Enciclopedia Humanidades. <https://humanidades.com/deforestacion/>

- Teso, M., & Katcho, K. (2019). Assessing forest cover change and deforestation Hot-Spots in the North Kivu Province, DR-Congo using remote sensing and GIS. ResearchGate. <https://doi.org/10.5923/j.ajgis.20190802.01>
- Toala Bailón, J. A. (2018). Análisis multitemporal de la tasa de deforestación mediante sistemas de información geográfica (SIG) en la Microcuenca Cañas (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL). <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/879>
- UNGRD. (2023, octubre). Protocolo Nacional de Respuestas ante Incendios Forestales. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Protocolo-Nacional-de-Respuesta-ante-Incendios-Forestales.pdf>
- USGS. (2023, 21 febrero). Landsat 8 | U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>
- Villalobos, C. (2018, 11 diciembre). Resumen de la Ley 99 de 1993: Ley General Ambiental de Colombia. Justicia Ambiental. <https://justiciaambientalcolombia.org/resumen-de-la-ley-99-ambiental-colombiana/>
- World Wildlife Fund [WWF]. (2024, 12 febrero). Los impactos devastadores de la deforestación en Colombia. WWF. <https://www.wwf.org.co/?386550/deforestacion-colombia-causas-consecuencias#:~:text=La%20deforestaci%C3%B3n%20en%20Colombia%20no,los%20medios%20de%20vida%20sostenibles>

9. ANEXOS

- A. Shapefiles y archivo (.aprx) proyecto de grado páramo de berlín**
- B. Shapefile Páramo de Berlín**
- C. Imágenes ráster ESRI Land Cover**
- D. Imágenes Satelitales y archivo de índices de vegetación (.aprx)**