

Análisis del riesgo por incendios forestales en el Parque Nacional Natural Tinigua

Jaime Francisco Cabrera Hurtado

Nathalia Andrea Vivas Diaz

Diego Mauricio García Rojas

Adrián Nicolas Nuncira Chaves

Jairo Alejandro Quintero Chamorro

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

Territorios Inteligentes y Sostenibles

Grupo de Investigación y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Manizales, 2025

Resumen

El medio ambiente está en constante riesgo por diferentes fenómenos naturales que se presentan en los territorios, el presente trabajo permite obtener herramientas técnicas mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el fortalecimiento de la gestión ambiental y del riesgo en el Parque Nacional Natural (PNN) Tinigua en Jurisdicción de los municipios de la Macarena, Uribe y Mesetas, Meta. El objetivo es identificar las zonas con mayor riesgo por incendios forestales de origen natural y antrópico, hacer usos de la información disponible en plataformas de datos abiertos y establecer la zonificación por riesgo asociados a los incendios forestales.

Para identificar las zonas susceptibles a incendios forestales, se analizó información geoespacial de variables que inciden en esta problemática, por tal razón, mediante el uso de tecnologías geoespaciales, se trabajó con capas de coberturas de la tierra y datos climáticos (precipitación, humedad, brillo solar) disponibles en formato shapefile y RASTER en las plataformas abiertas del IDEAM, IGAC y Colombia en Mapas.

Se obtuvo la zonificación de riesgo de áreas susceptibles a incendios forestales, mediante el análisis y cruces de variables utilizando la metodología del IDEAM, es así como, se categorizaron las zonas por amenaza baja, zonas por amenazas media y zonas por amenaza alta en las áreas de los municipios de la Macarena, Uribe y Mesetas que hacen parte del PNN Tinigua

Palabras clave: incendio, amenaza, susceptibilidad, riesgo y clima.

Abstract

The environment is at constant risk due to different natural phenomena that occur in the territories, this work allows to obtain technical tools through Geographic Information Systems (GIS) for the strengthening of environmental and risk management in the Tinigua National Park in the jurisdiction of the municipalities of Macarena, Uribe and Mesetas, Meta. The objective is to identify the areas with the greatest susceptibility to threats from natural and man-made forest fires, make use of the information available on open data platforms and establish zoning by threats associated with forest fires.

To identify areas susceptible to forest fires, geospatial information on variables that affect this problem will be analyzed. For this reason, geospatial technologies will be used to work with land cover layers and climate data (precipitation, humidity, sunshine) available in shapefile and RASTER format in the open platforms of IDEAM, IGAC and Colombia in Maps.

The zoning of areas susceptible to forest fires will be obtained by analyzing and cross-referencing variables using IDEAM's methodology. Thus, low, medium and high threat zones will be categorized in the areas of the municipalities of La Macarena, Uribe and Mesetas that are part of Tinigua National Natural Park.

Keywords: fire, threat, susceptibility, risk, climate.

Contenido

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	9
2.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN	11
2.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA.....	11
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
2.3 JUSTIFICACIÓN	15
3. OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GENERAL	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4. ANTECEDENTES.....	17
5. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL	28
5.1 MARCO CONSTITUCIONAL	28
5.2 MARCO LEGAL	29
6.REFERENTE TEÓRICO	34
6.1. AMENAZA	34
6.2. GESTIÓN DE RIESGO	36
6.3 INFORMACIÓN GEOESPACIAL	36
6.4 INCENDIO FORESTAL	36
6.5 PROTOCOLO PARA LA REALIZACIÓN DE MAPAS DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL.....	37
6.6 RIESGO.....	38
6.7 VULNERABILIDAD	38
7. METODOLOGÍA.....	41
7.1 ENFOQUE METODOLÓGICO	42
7.2 TIPO DE ESTUDIO	43
7.3 PROCEDIMIENTO	43
<i>Fase 1 - Utilizar los recursos de información geoespacial de fuentes oficiales disponibles para análisis de riesgo por incendio forestal.</i>	<i>44</i>
<i>Fase 2 - Analizar la amenaza y vulnerabilidad con herramientas SIG de las áreas afectadas por incendios forestales de origen natural y antrópicos.</i>	<i>48</i>
<i>Fase 3 - Generar un mapa actualizado para la zonificación del riesgo de incendios forestales.</i>	<i>56</i>
8. RESULTADOS	59
8.1 FASE 1.....	59
<i>Recopilar información geoespacial disponible por fuentes oficiales.....</i>	<i>59</i>
<i>Filtrar la información geoespacial relevante para la investigación.....</i>	<i>60</i>
<i>Integrar variables y factores con procedimientos de normalización, ponderación y categorización</i>	<i>61</i>
<i>Generar la cartografía base de la investigación</i>	<i>63</i>

8.2. FASE 2.....	64
<i>Análisis de la amenaza</i>	65
<i>Análisis de la vulnerabilidad</i>	89
8.3. FASE 3.....	107
<i>Análisis del riesgo</i>	107
9. DISCUSIONES	110
10. CONCLUSIONES	113
11. RECOMENDACIONES	115
12. REFERENCIAS	117
ANEXOS	130

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 Mapa de localización general del PNN Tinigua.	12
Figura 2 Esquema fases de la investigación	44
Figura 3 Información en GDB definitiva, filtrada.	61
Figura 4 Cartografía Base	63
Figura 5 Número de capas de fuentes oficiales del área de estudio.	64
Figura 6 Mapa tipo de combustible del área de estudio	66
Figura 7 Mapa de duración de combustibles del área de estudio	68
Figura 8 Mapa carga de combustible en el área de estudio	70
Figura 9 Suma de susceptibilidad total de la vegetación.....	72
Figura 10 Esquema de la suma realizada susceptibilidad.....	72
Figura 11 Mapa de susceptibilidad de la vegetación a incendios	74
Figura 12 Mapa de amenaza por precipitación en el área de estudio.....	75
Figura 13 Mapa de amenaza por temperatura en el área de estudio	77
Figura 14 Mapa de amenaza por radiación en el área de estudio	78
Figura 15 Mapa de amenaza por velocidad del viento en el área de estudio.....	80
Figura 16 Mapa de pendientes en el área de estudio.....	82
Figura 17 Mapa factor histórico en el área de estudio.....	84
Figura 18 Mapa Distancia a la vía en el área de estudio	86
Figura 19 Mapa Densidad Vial en el área de estudio.....	87
Figura 20. Mapa de amenaza en el área de estudio.....	89
Figura 21 Mapa de vulnerabilidad poblacional en el área de estudio	91
Figura 22 Mapa de colindancia en el área de estudio.....	92
Figura 23 Mapa de vulnerabilidad física.....	94
Figura 24 Mapa de vulnerabilidad ecológica	97
Figura 25 Mapa de vulnerabilidad territorial en el área de estudio.	99
Figura 26 Mapa Vulnerabilidad Infraestructura en el área de estudio.	100
Figura 27 Vulnerabilidad Patrimonial.....	102
Figura 28 Mapa vulnerabilidad económica en el área de estudio.	103
Figura 29 Mapa Vulnerabilidad Institucional	105
Figura 30 Mapa vulnerabilidad	107
Figura 31 Mapa riesgo por incendios forestales	109
Figura 32 Mapa riesgo por incendios forestales comparativo UNGRD y la investigación.	112

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Constitución de 1991</i>	28
Tabla 2 <i>Ley 1575 del 2012</i>	29
Tabla 3 <i>Ley 1523 del 2012</i>	30
Tabla 4 <i>Ley 99 del 1993</i>	31
Tabla 5 <i>Ley 2111 de 2021</i>	31
Tabla 6 <i>Decreto – Ley 2811 de 1974</i>	32
Tabla 7 <i>Resolución 373 de 2020</i>	32
Tabla 8 <i>Resolución 532 de 2005</i>	33
Tabla 9 <i>Categorización de la amenaza de pendiente</i>	51
Tabla 10 <i>Categorización de la amenaza protocolo</i>	61
Tabla 11 <i>Categorización tipo de combustible del protocolo</i>	65
Tabla 12 <i>Categorización duración de combustible del protocolo</i>	67
Tabla 13 <i>Clasificación Carga de Combustible protocolo</i>	69
Tabla 14 <i>Clasificación Carga de Combustible en el área de estudio</i>	70
Tabla 15 <i>Clasificación susceptibilidad de la vegetación a incendios</i>	73
Tabla 16 <i>Categorización de la amenaza de Precipitación</i>	74
Tabla 17 <i>Categorización de amenazas por temperatura</i>	76
Tabla 18 <i>Categorización de la amenaza de Radiación</i>	77
Tabla 19 <i>Categorización de la amenaza por Velocidad del viento</i>	79
Tabla 20 <i>Categorización de la amenaza de pendiente</i>	80
Tabla 21 <i>Categorización de susceptibilidad a incendios forestales</i>	82
Tabla 22 <i>Frecuencia de eventos históricos</i>	83
Tabla 23 <i>Clasificación Distancia a la vía protocolo</i>	85
Tabla 24 <i>Resultados mapa de densidad vial</i>	86
Tabla 25 <i>Resultados mapa de amenaza</i>	88
Tabla 26 <i>Categorización vulnerabilidad poblacional</i>	89
Tabla 27 <i>Resultados mapa de colindancia</i>	91
Tabla 28 <i>Categorización de la vulnerabilidad física</i>	93
Tabla 29 <i>Categorización de la vulnerabilidad ecológica por influencia del fuego</i>	94
Tabla 30 <i>Clasificación de los biomas y ecosistemas presentes en el Parque Nacional</i>	95
Tabla 31 <i>Categorización de vulnerabilidad territorial</i>	97
Tabla 32 <i>Vulnerabilidad Infraestructura</i>	99
Tabla 33 <i>Categorización de vulnerabilidad patrimonial</i>	101
Tabla 34 <i>Clasificación económica del territorio</i>	102
Tabla 35 <i>Categorización de vulnerabilidad institucional</i>	104
Tabla 36 <i>Resultado vulnerabilidad</i>	105
Tabla 37 <i>Resultado zonificación riesgo de incendios a cobertura vegetal</i>	108

Lista de Anexos

Anexo A <i>Mapa de Amenaza por incendios forestales</i>	130
Anexo B <i>Ficha 2</i>	131
Anexo C <i>Esquema componentes de la Amenaza</i>	132
Anexo D <i>Esquema componentes de la Vulnerabilidad</i>	133
Anexo E <i>Matriz de recursos de información secundaria</i>	134
Anexo F <i>Informacion_Base_Tesis.gdb</i>	140
Anexo G <i>Informacio_Tematica_Tesis.gdb</i>	141

1. Introducción

En las recientes décadas, el riesgo a incendios forestales en el mundo se ha incrementado a causa del fenómeno de El Niño, la actividad humana y el cambio climático, el año 2024 en América del Sur registró un aumento de las temperaturas globales y sequías prologadas, las cuales propagaron incendios algunos provocados de manera intencional por la deforestación y la agricultura, generando graves impactos ambientales, sociales y económicos. Tal es el caso como lo ocurrido en Chile que un incendio forestal causó 383 fallecidos en Valparaíso, en Bolivia más de 16 millones de hectáreas quemadas representando el 15% del territorio nacional, en Brasil con más de 592.000 km² quemadas siendo una de las cifras más grandes, y en Venezuela 9% de su territorio afectado por incendios (Feron, y otros, 2024). En Estados Unidos ha registrado un promedio de 72,400 incendios anuales, quemando cerca de 2,8 millones de hectáreas, con el 85-90% atribuido a actividades humanas (ONU, 2025).

En Colombia se realizan monitoreos contantes sobre el riesgo de incendios forestales actualizando las alertas diariamente por parte del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), uno de los reportes más reciente indica que la temporada de menos lluvias se extenderá hasta marzo de 2025, circunstancia por la cual, junto con la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, UNGRD remiten reportes detallados. Según Boletín No 046 del 15 de febrero de 2025, debido a la precipitación y temperatura máxima de los últimos días se encuentra en el departamento del Meta en alerta alta los municipios Puerto Rico y Vistahermosa; y moderada La Macarena, Mapiripán y Puerto Lleras (IDEAM, 2025). Asimismo, en el transcurso del año 2025 se han reportado 177 incendios que han arrasado 30.000 hectáreas

en 103 municipios de 24 departamentos, siendo Vichada, Santander y Tolima los más perjudicados (Diario Occidente, 2025).

El 45% de los incendios anuales en Colombia que afectan a biomas se registran en sabanas, herbazales y arbustales tropicales (Armenteras, 2020), impactando áreas protegidas como PNN Tinigua, que desde su declaratoria en 1989 se han identificado presiones antrópicas en su interior, especialmente relacionadas con la expansión agrícola (Pastos y cultivos) y construcción de vías aumentando el riesgo (PNNC, 2021). Por consiguiente, con el fin de reducir estos impactos negativos al medio ambiente y la biodiversidad, se han utilizan métodos de estimación y zonificación del riesgo de incendios forestales (Martelo, 2022).

Por lo anterior, surge la necesidad de identificar las áreas con mayor riesgo a incendios forestales en el Parque Nacional Natural (PNN) Tinigua, aplicando los diferentes métodos y fórmulas de establecidos en el protocolo del IDEAM (Sanjuan, 2020), estructurando una base de datos con información geoespacial que permitió realizar los análisis de vulnerabilidad y amenaza. La vulnerabilidad establece el grado de fragilidad y posibles pérdidas ante la ocurrencia de un incendio forestal (IDEAM, 2011), mientras que la amenaza permite determinar el peligro latente de ocurrencia de un evento de incendio forestal (IDEAM, 2011). Para calcular la amenaza se realizó la suma ponderada de variables como temperatura, precipitación, accesibilidad, pendiente, frecuencia y susceptibilidad de la vegetación. La aplicación de este protocolo permitió clasificar las áreas con riesgo en las categorías Muy Alta, Alta, Moderada, Baja y Muy Baja.

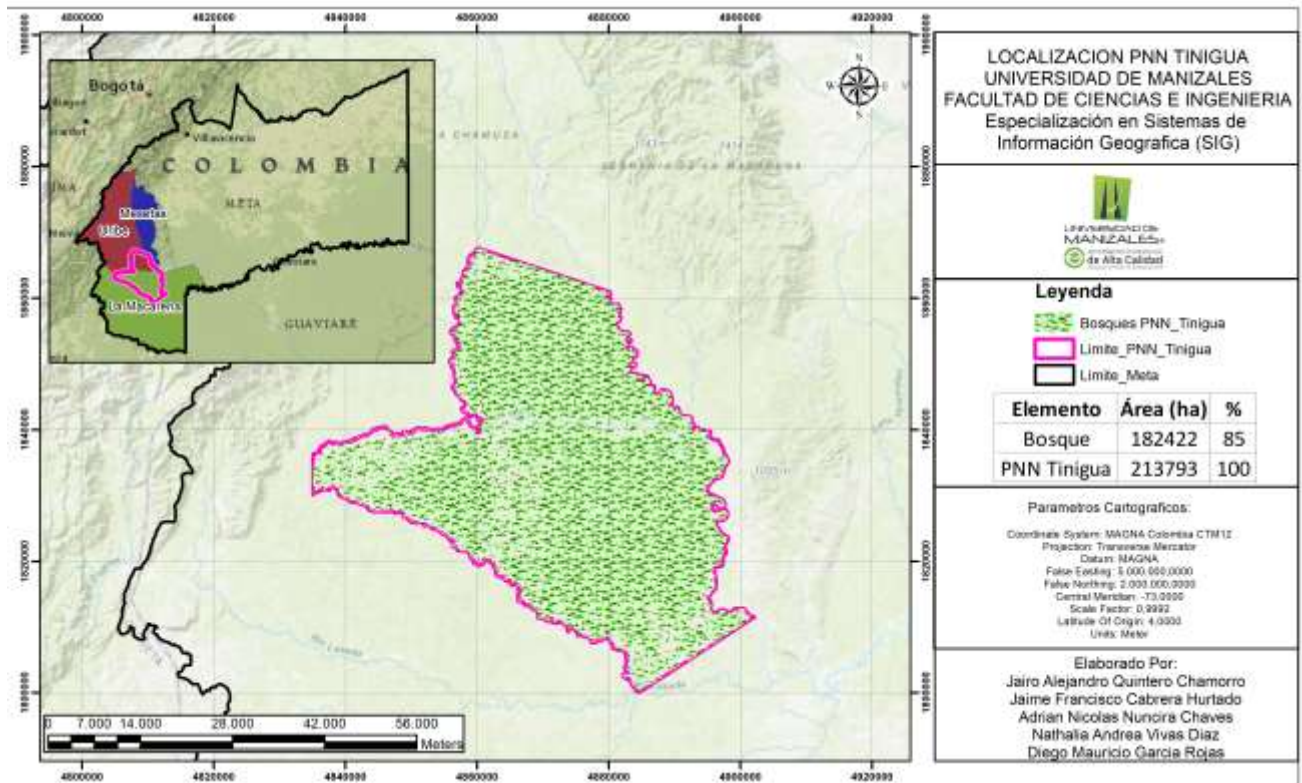
2.Planteamiento del problema de investigación y su justificación

2.1 Descripción del área problemática

Según un informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y GRID-Arendal, los incendios forestales podrían incrementarse en un 30% para 2050 y más de un 50% hacia finales de siglo, impulsados por actividades humanas que intensifican las condiciones climáticas extremas (ONU, 2022).

En lo regional, para el año 2018, en el informe publicado (PDGRD, 2018), se identificó en el mapa “Amenaza por Incendios Forestales en los Municipio del Departamento del Meta” que de los 29 municipios del departamento del Meta, 10 se encuentran en amenaza Alta, 13 en amenaza Media y 6 se ubican en zonas de amenaza Baja (Ver mapa en el anexo A).

El PNN Tinigua se localiza en el sur oriente de departamento del Meta y hace parte de los municipios de la Macarena, Uribe y Vistahermosa, tiene un área aproximada de 213.793 ha, de los cuales el 85% corresponde a coberturas boscosas (ver figura 1), este tipo de material puede alimentar y propagar rápidamente un incendio forestal, lo que trae como consecuencias la pérdida de grandes extensiones de bosques y afectación en la biodiversidad que se encuentra o vive en este hábitat.

Figura 1 Mapa de localización general del PNN Tinigua.

Fuente: elaboración propia, 2025

Respecto al PNN Tinigua, en febrero de 2020, en la revista Semana (Semana, 2020), se publicó una noticia que comunica que el incendio forestal presentado en el PNN Tinigua ya ha consumido 30 hectáreas. Lizarazo, en El Espectador (2023), comenta que los registros de puntos de calor advertidos por los satélites pueden registrar focos que van desde grandes incendios hasta un asado, por lo cual se hace necesario complementar esta información con imágenes en tiempo real, drones, verificación de campo, entre otros, para la ubicación exacta de este tipo de eventos.

Por otro lado, el Sistema de información ambiental territorial para Amazonia colombiana SIAT-AC, Programa modelos de funcionamiento y sostenibilidad, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, hace referencia a indicadores con relación a las cicatrices de

calor tomadas por el procesamiento de imágenes satelitales Landsat, para el municipio de La Macarena se identifica la mayor cantidad de cicatrices de quema en el año 2018, y se observa una disminución en los años siguiente, además en el año 2020 se presenta la mayor pérdida de cobertura boscosa, siendo estas 16.193 hectáreas afectadas por los incendios forestales.

Asimismo, en el 2018 y el 2020 se identifica la mayor cantidad de cicatrices de quema para el municipio de Uribe, llegando a perder 3.740 hectáreas de cobertura boscosa, causado por este fenómeno. En cuanto al municipio de Mesetas, presenta la mayor cantidad de cicatrices de quema para el año 2020 llegando a afectar 691 hectáreas de cobertura boscosa.

Uno de los principales factores antrópicos que contribuyen a la ocurrencia de incendios forestales al interior del PNN Tinigua son las actividades humanas como la expansión de la frontera agrícola, por el establecimiento de cultivos lícitos e ilícitos como el cultivo de la coca, la conversión de coberturas de bosques a pastos, con el fin de habilitar potreros para la ganadería, tala ilegal y la expansión del acaparamiento de tierra por financiadores externos. Estas actividades humanas provocan incendios forestales por prácticas inadecuadas como la quema de bosques controlada y no controlada (PNNC, 2007).

Por otro lado, existen factores ambientales que provocan incendios y ayudan a su propagación son el incremento de las temperaturas, la humedad y el viento que están asociadas a las condiciones climáticas, cambio climático y el fenómeno del niño (CIAT, 2018), la vegetación densa y seca funciona como material combustible (Richter, F. Y.) y la topografía como las pendientes, su orientación, la elevación sobre el nivel del mar, la exposición de los rayos de sol y los vientos (Zárate, 2004), contribuyen a propagar los incendios forestales y a incrementar su probabilidad de ocurrencia de estos.

Como efectos indirectos, se considera el incremento de los gases de efecto invernadero (GEI), esto se debe a los incendios forestales de origen natural u antrópico que se producen en el PNN Tinigua, estos incendios forestales son una fuente importante de emisión de carbono que contribuye al calentamiento global, y la pérdida de bosques reduce la capacidad de captura de carbono e incrementa la absorción de calor terrestre (CIAT,2018).

Otro efecto indirecto es el incremento de la pérdida de la biodiversidad de flora y fauna, debido a que los incendios forestales, acaban con el hábitat natural de cientos de especies forestales y faunísticas, dificultando así su permanencia en el tiempo, lo que desenlaza la extinción de especies o disminución de ciertas especies, ya sean forestales o faunísticas, que tienen relación en la producción de servicios ecosistémicos prestados por el bosque (PNNC,2018).

2.2 Formulación del problema

La investigación se pretende realizar en las áreas declaradas del PNN Tinigua según el decreto 1989 del 1 de septiembre de 1989, en su zona de influencia de los municipios de la Uribe, Macarena y Mesetas.

Para el desarrollo de esta temática se plantea solucionar la problemática y surge la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las áreas dentro del PNN Tinigua y su zona de influencia en los municipios de Macarena, Uribe y Mesetas que presentan mayor riesgo por incendios forestales?

2.3 Justificación

El PNN Tinigua, ubicado en la jurisdicción de los municipios de La Macarena, Uribe y Mesetas, es un ecosistema estratégico, el cual provee servicios ecosistémicos a las comunidades, por diversos factores enfrenta constantes amenazas de incendios forestales, tanto de origen natural como antrópico. Sin embargo, es importante mencionar que es insuficiente la identificación precisa de las áreas con mayor susceptibilidad a estos eventos, lo cual dificulta la implementación de medidas de prevención, mitigación, monitoreo y control.

En este contexto, el propósito del presente proyecto de investigación es identificar las áreas con mayor susceptibilidad a riesgo de incendios forestales de origen natural y antrópico, mediante el procedimiento o protocolo establecido por Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), con el fin de establecer medidas de gestión del riesgo en el PNN Tinigua en jurisdicción de los municipios de Macarena, Uribe y Mesetas, actualizado al año 2024 a través del uso de los recursos de información geoespacial y las fuentes de datos abiertos disponibles, para realizar un análisis de los factores de susceptibilidad relacionados con los incendios forestales en el PNN Tinigua y su área de influencia.

Los beneficios más relevantes esperados con el desarrollo del presente proyecto de investigación son la contribución al desarrollo sustentable de las comunidades al interior del PNN Tinigua, la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, la reducción de puntos de calor y cicatrices de quema, la preservación de la biodiversidad de flora y fauna, la recuperación de los suelos y la disminución de la tasa de deforestación. Además, se espera aportar a la solución de los conflictos de uso de suelo en áreas destinadas a la conservación y el desarrollo sostenible.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Identificar las áreas con mayor riesgo a incendios forestales de origen natural y antrópico a través del protocolo del IDEAM, con el fin de contribuir a la gestión del riesgo en el PNN Tinigua en jurisdicción de los municipios de Macarena, Uribe y Mesetas, actualizado al año 2024.

3.2 Objetivos específicos

- ✓ Utilizar los recursos de información geoespacial de fuentes oficiales disponibles para análisis de riesgo por incendio forestal.
- ✓ Analizar la amenaza y vulnerabilidad con herramientas SIG de las áreas afectadas por incendios forestales de origen natural y antrópicos.
- ✓ Generar un mapa actualizado para la zonificación del riesgo de incendios forestales.

4. Antecedentes

A nivel internacional existen diferentes estudios que abordan la temática de incendios forestales utilizando distintas técnicas o métodos como: Burn-P3 (Erni et al., 2024); Datos satelitales y variables climáticas (Van Hoang et al, 2020; Zhang et al, 2023); Estudio multitemporal (García, 2021); Machine Learning (Celis et al, 2023; Luu et al, 2024; Tan & Fen, 2023); SIG y evaluación multicriterio (Ali, 2020; Arias et al, 2024;Huyen & Tuan, 2008); SIG y Teledetección (Ajin et al, 2016; Singha et al, 2024;Sowmya & Somashekar; 2010; Tariq et al, 2021).

En 2018, Dao Thi Thanh Huyen y Vu Anh Tuan (2008) desarrollaron un estudio titulado “Applying GIS and Multi Criteria Evaluation in Forest Fire Risk Zoning in Son La Province, Vietnam”, utilizaron una metodología basada en la integración de sistemas de información geográfica (GIS) y evaluación multicriterio (MCE) para zonificar áreas de riesgo de incendios forestales en la provincia de Son La, Vietnam. Implementaron un análisis jerárquico para ponderar factores críticos como el tipo de vegetación, la topografía y la proximidad a caminos y asentamientos. Concluyendo que estos factores son eficaces para identificar áreas prioritarias para la prevención de incendios bajo condiciones de recursos limitados.

Posteriormente, Sowmya y Somashekar (2010), desarrollaron un estudio titulado “Application of remote sensing and geographical information system in mapping forest fire risk zone at Bhadra wildlife sanctuary, India”, usaron un “Remote Sensing (RS) and Geographical Information System (GIS)-based forest fire risk model of the study area” [Modelo de riesgo de incendios forestales basado en teledetección (RS) y Sistema de Información Geográfica (SIG) del área de estudio]. Entre los resultados encontraron que los métodos usados resultaron ser compatibles con los lugares reales afectados por los incendios.

En el artículo "Forest Fire Risk Zone Mapping Using RS and GIS Techniques: A Study in Achankovil Forest Division, Kerala, India" (Rajendran Sobha Ajin et al.,2016), los autores emplearon técnicas de teledetección (RS) y sistemas de información geográfica (GIS) para delinear zonas de riesgo de incendios forestales. Utilizaron factores como el tipo de cobertura de suelo, pendiente, distancia de los asentamientos, carreteras, y elevación, integrados en un índice de riesgo de incendios (FRI). Como resultado, identificaron cinco categorías de riesgo, encontrando que el 55.75% del área de estudio está clasificado en las zonas de alto y muy alto riesgo. Concluyeron que el uso de tecnología geoespacial facilita la identificación de áreas de riesgo, permitiendo a las autoridades mejorar las estrategias de prevención y manejo de incendios forestales.

Pazmiño (2019), en su artículo científico titulado "Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en Ecuador", obtuvo como resultado una relación directa que, a mayor temperatura, hay un mayor índice de peligro de incendio forestal y una relación inversa entre que a mayor humedad relativa, hay un menor peligro de incendio forestal. Concluyendo que a través del índice de peligro de incendios forestales es una herramienta útil para representar el clima.

La prevención es un elemento importante en la gestión del riesgo, es por ello que las alertas tempranas representan una herramienta que permite anticiparnos a los posibles eventos que puedan poner en riesgo a la población, infraestructura y a la biodiversidad, Van Hoang et al.(2020, p. 17) en su artículo "Mapping Forest Fire Risk and Development of Early Warning System for NW Vietnam Using AHP and MCA/GIS Methods", concluyó que "el sistema de información sobre incendios forestales aquí desarrollado presenta ventajas en comparación con otros sistemas. En concreto, la previsión de incendios forestales se mejora utilizando y combinando diversas fuentes de datos meteorológicos, incluidos los datos meteorológicos recogidos en puntos terrestres y los

datos meteorológicos procedentes de satélites. Toda la información sobre incendios y previsión de incendios se presenta en una interfaz cartográfica interactiva que utiliza tecnología SIG uniforme”.

Ali (2020, p. 10) menciona los beneficios que otorgan los SIG, entre estos indica que “Muchas organizaciones tienen la responsabilidad primordial de mantener registros fidedignos sobre el estado y los cambios de la geografía (contabilidad geográfica). Ejemplos de geografía cultural son la zonificación, los censos de población, la propiedad de la tierra y los límites administrativos. Los ejemplos de geografía física incluyen inventarios forestales, inventarios biológicos, mediciones medioambientales, flujos de agua y toda una serie de contabilidades geográficas. Los SIG ofrecen un marco sólido para la gestión de este tipo de sistemas, con soporte completo para transacciones y herramientas de elaboración de informes”.

En 2021 se desarrolló un trabajo de investigación con el objetivo de realizar un análisis multitemporal mediante tecnologías de detección remota y procesamiento de imágenes satelitales el estado de Roraima afectada por los incendios de 2019, en la Amazonía Brasileña (García, 2021). Los autores concluyeron que un aumento en la deforestación, el uso de fuego en la agricultura, la presencia de turba seca en los pantanos y la incidencia del fenómeno de El Niño como factores detonantes de los incendios. Por otro lado, Tariq et al. (2021, p. 17) en el artículo denominado “Monitoring Forest Fires Using Spatial Statistics and Geospatial Analysis of the Determinants of Forest Fires in Margalla Hills, Islamabad, Pakistan”, establece que “en la práctica, la RS y el SIG son técnicas útiles para explorar los incendios forestales y su distribución. Mediante el uso de varios modelos meteorológicos para evaluar el impacto del clima en la región forestal y la influencia de la isla de calor urbana en Islamabad, este trabajo puede profundizarse”.

Adicionalmente, en 2021 se desarrolló un artículo con el objetivo de presentar una metodología integral y colaborativa aplicada para la creación de la cartografía de áreas afectadas por incendios forestales para la provincia de Córdoba. Fuentes (2021) concluyó que en los análisis se integran, además, datos espaciales provenientes de focos de calor, registros oficiales de los eventos de fuego sucedidos, entre otra información complementaria contenida en el portal de la IDE (Infraestructura de datos espaciales).

Camacho (2021), evaluó la incidencia de los factores condicionantes y climáticos en la amenaza de incendios forestales de la microcuenca del río Chazo Juan en la provincia Bolívar, encontrando que las variables condicionantes como uso de suelo, cobertura vegetal, geomorfología y pendiente tienen una gran incidencia en las categorías de amenaza alta y muy alta, mientras que las variables climáticas como temperatura, humedad relativa y viento tienen poca incidencia obteniendo valores medio, bajos y muy bajos. Concluyendo que la correlación de coeficiente de Pearson es de 0,01 para factores condicionantes con una alta incidencia, mientras que los climáticos tienen una baja incidencia, incluso nula para el factor viento.

En 2023 se realizó un estudio con enfoque integral en Cartagena del Chairá (Colombia) titulado “Climate Change, Forest Fires, and Territorial Dynamics in the Amazon Rainforest: An Integrated Analysis for Mitigation Strategies” (Celis et al., 2023). La investigación profundizó en la interacción entre las condiciones meteorológicas y la cobertura/uso del suelo que cultiva un entorno propicio para los incendios forestales. Los autores utilizaron un “análisis de sensibilidad basado en el aprendizaje automático”. En los resultados, Celis et al, (2023) mencionan que existe una fuerte relación entre la cobertura vegetal y los incendios en la región, de igual manera la integración entre la vegetación y las practicas humanas. Entre las conclusiones se menciona que

los “incendios forestales son el resultado de una combinación de elementos, entre ellos las altas temperaturas, las condiciones áridas, los fuertes vientos y las precipitaciones mínimas”.

Tan y Feng (2023), en su artículo “Mapping Forest Fire Risk Zones Using Machine Learning Algorithms in Hunan Province, China”, evidencian la efectividad de los modelos de aprendizaje automático para predecir el riesgo de incendios forestales y generar mapas de zonificación. Su estudio se basó en datos históricos de incendios forestales (2010-2018), factores meteorológicos, topográficos, de vegetación y actividades humanas, empleando los modelos de aprendizaje automático Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM) y Gradient Boosting Decision Tree (GBDT). Como resultado, Tan y Feng (2023) encontraron que el modelo RF mostró el mejor desempeño con una precisión del 91.68% y un AUC(Area Under Curve) del 97.2%, logrando identificar a las variables meteorológicas y de vegetación como los principales factores de riesgo. Este estudio concluye que los modelos de aprendizaje automático, especialmente RF, son herramientas efectivas para la gestión y prevención de incendios forestales, permitiendo adaptar estrategias específicas a las características locales y estacionales.

Zhang et al. (2023), en su estudio "Forest Fire Driving Factors and Fire Risk Zoning Based on an Optimal Parameter Logistic Regression Model: A Case Study of the Liangshan Yi Autonomous Prefecture, China", analizaron mediante el uso de un modelo de regresión logística con parámetros óptimos (OPLR) los factores que impulsan los incendios forestales con el fin de desarrollar una zonificación del riesgo. Utilizando datos satelitales Landsat-8 (2014–2021) y variables climáticas como temperatura y precipitación, junto con índices de vegetación como el NDVI, identificaron que la temperatura es el factor más influyente, y que las zonas de riesgo medio

y alto abarcan el 9.99% del área de estudio, con una precisión del modelo del 81%. Como conclusión, logran validar la efectividad del modelo por su utilidad para la gestión del riesgo.

Coello (2023), en su estudio “comparación y análisis estadístico entre modelos de probabilidad de ocurrencia de incendios forestales para honduras. año 2019”, utilizo el método cuantitativo para comparar modelos predictivos. Los resultados mostraron que los modelos RF y MaxEnt produjeron mapas similares de predicción ($\rho= 0.81$) mientras que el modelo ICF tuvo una baja correlación con el modelo MaxEnt ($\rho=0.21$) y con el modelo RF ($\rho= 0.27$). Coello (2023) concluyó en su trabajo que el modelo Maxent y Random Forest tuvieron un rendimiento mayor a el modelo de enfoque paramétrico ICF.

Luu et al. (2024) desarrollaron un estudio titulado “Integrating multi-hazard susceptibility and building exposure: A case study for Quang Nam province, Vietnam” con el objetivo de desarrollar un enfoque para las estimaciones de exposición a inundaciones e incendios forestales, utilizando aprendizaje automático, Google Earth Engine y herramientas de análisis espacial. Para el desarrollo metodológico consideraron tres insumos, factores de inundación, factores de incendio y mapas de inventario de cada peligro con base en la recopilación de datos históricos, seguidamente se revisó la Multicollinearity y variables de importancia para darle paso al Machine Learning con la finalidad de construir mapas de susceptibilidad, luego validaron los modelos para cada riesgo y los combinaron. Entre los resultados se destaca que la temperatura, distancia a los ríos y distancia a las carreteras tienen un impacto significativo en la formación de eventos de incendios forestales en el área de estudio. Entre sus conclusiones menciona se pueden desarrollar mapas efectivos utilizando datos fácilmente disponibles y accesibles y herramientas de Machine Learning.

Singha et al. (2024) desarrollaron un estudio de susceptibilidad a incendios forestales en la Similipal Tiger Reserve - STR (India), con el objetivo de realizar una evaluación empleando un “enfoque sinérgico que integra los sistemas de información geográfica (SIG), la teledetección (RS) y las metodologías de aprendizaje automático (ML) para identificar y evaluar las zonas propensas a los incendios forestales en el STR y su vulnerabilidad al cambio climático”. Destaca que el papel la distancia a la carretera, la distancia al asentamiento, dNBR (Índice normalizado de área quemada), la pendiente y la humedad en la precisión de la predicción influyen significativamente en un estudio de susceptibilidad.

Arias et al. (2024) desarrollaron un estudio titulado “A Multicriteria Geographic Information System Analysis of Wildfire Susceptibility in the Andean Region: A Case Study in Ibarra, Ecuador” con el objetivo de mapear la susceptibilidad a incendios forestales en Ibarra (Ecuador). Utilizaron un análisis multicriterio y SIG para reclasificar las variables. Entre las conclusiones destacaron la relación entre las áreas altamente y muy altamente susceptible a incendios forestales con altas temperaturas, cobertura natural y pendientes pronunciadas que facilitan la propagación de los incendios.

Por último, a nivel internacional se tiene que en 2024 se realizó una investigación en la cual se presentó un un método normalizado de evaluación del riesgo de incendios forestales en todo Canadá, centrado en los edificios y las poblaciones (Erni et al, 2024). Erni et al. (2024) utilizaron el modelo Burn-P3 de simulación de incendios forestales, junto con datos sobre la huella de los edificios y el censo. Encontraron que el 32.2% del área de estudio está clasificada como riesgo de incendio “Alto”. Adicionalmente, el estudio sugiere que “los desastres por incendios

forestales probablemente se volverán más frecuentes, lo que conducirá a consecuencias más dramáticas y causará más perturbaciones sociales, pérdidas físicas y ecológicas”.

En Colombia se han desarrollado varios trabajos siguiendo el protocolo IDEAM (2011) con el objetivo de realizar una evaluación de la amenaza total por incendios forestales (Amaya, 2020; Benítez, 2023; Canchón, 2024; Forero, 2023; Rocha & Valenzuela, 2020; Sánchez, 2023; Talero, 2020; Urrea, 2020), evaluación de amenaza y vulnerabilidad (Sabbagh, 2022), evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo (Casas & Blanco, 2020; Maretelo & Vargas; Urrutia, 2018), y susceptibilidad de la vegetación (Herrera et al., 2024). En 2018 Urrutia (2018) realizó una zonificación de amenaza por incendios forestales en Cali con la finalidad de permitir crear estrategias de prevención en áreas de conservación, adicional a la zonificación encontró que existe información (insumos) desactualizados o mal estructurados.

Casas y Blanco (2020), realizaron una zonificación de riesgos a incendios forestales en el municipio de Supatá (Cundinamarca), encontraron que las herramientas SIG son fundamentales para el procesamiento de datos y zonificación ya que se pueden analizar variables asociadas a este fenómeno. Ese mismo año, Amaya (2020) realizó una identificación de las zonas de amenaza por incendios forestales en el municipio de El Rosal (Cundinamarca), en el cual destacó que la accesibilidad a las vías aumenta la incidencia de incendios forestales. Rocha y Valenzuela (2020) determinaron el grado de amenaza por incendios forestales en el municipio de Nimaima (Cundinamarca), en el cual concluyeron que a partir de las coberturas vegetales se puede determinar la duración y carga de combustible. Por otra parte, Talero (2020) desarrolló un estudio en el municipio de Cuítiva (Boyacá), en su informe destaca la importancia de los SIG para la zonificación de amenazas por incendios forestales resaltando su utilidad para el análisis integral

de variables, el almacenamiento de información y visualización espacial de los resultados. Adicionalmente, Urrea (2020) determinó las áreas susceptibles a incendios forestales en el fuerte militar Tolemada, municipio del Nilo (Cundinamarca), encontró que las áreas de amenaza por incendios forestales en el área de estudio se caracterizan por presentar gran cantidad de vegetación (herbazales, pastos y relictos de bosque seco tropical), comenta también que los incendios se presentan con mayor frecuencia debido al aumento de la temperatura y fuertes vientos.

En 2022 se desarrolló un estudio en la vereda El Porvenir (Puerto López - Meta) que abordó la evaluación de amenaza y vulnerabilidad sin el cálculo de riesgo (Sabbagh, 2022) siguiendo el protocolo IDEAM (2011), y una evaluación de impacto ambiental en la zona de estudio. Sabbagh (2022) concluyó que la estrategia basada en la educación ambiental tiene buenos resultados debido a que la conciencia ambiental de los actores sociales ayuda a reducir los impactos asociados a los incendios forestales y disminuir el riesgo medio de la zona a un nivel bajo. Esta tesis es muy importante para el estudio en mención ya que aborda una metodología que busca identificar las zonas susceptibles de incendios forestales para así formular una estrategia de reducción de impactos ambientales generados. En este mismo año se realizó una evaluación del riesgo a incendios de la cobertura vegetal del Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá, Colombia) aplicando la metodología del IDEAM (2011) junto a unas modificaciones de riesgo y gestión del riesgo, como resultado el riesgo en el área de estudio se clasificó con categoría Alta y Muy alta” abarca el 27.3% y en “Moderada” el 39.4% (Martelo & Vargas, 2022).

En 2023, Sánchez (2023) realizó una zonificación de amenaza a incendios en las coberturas en el municipio de Cota (Cundinamarca), en el cual encontró que el nivel de amenaza alta se encuentra principalmente en la zona montañosa del municipio. Forero (2023) evaluó las amenazas

de incendios forestales en San Juan de Rioseco (Cundinamarca), encontrando que el municipio es “muy alto” en términos de riesgo de incendios forestales debido a varios factores, incluida la geografía, la hidroclimatología, el tipo de vegetación, la cantidad de caminos principales y secundarios y la temperatura, adicionalmente comenta que actividades realizadas por agricultores como la quema para eliminar capa vegetal también puede ser causa de la amenaza. Por otra parte, Benítez (2023) realizó una zonificación de amenaza por incendios forestales en el PNN Paramillo, encontró que las zonas categorizadas en amenaza “alta” y “muy alta” están relacionadas a valores de precipitación bajos y valores de temperatura altos, por último, manifiesta que este resultado se explica por el tipo de metodología y factores de ponderación utilizados. Canchón (2024), realizó una zonificación de amenazas naturales del municipio de Quilpe (Cundinamarca), en relación con lo evaluado para la amenaza de incendios manifiesta que es necesario una gestión efectiva de bosques y la aplicación de medidas preventivas para reducir el riesgo a este tipo de eventos. En este mismo año Herrera et al. (2024) desarrollaron un trabajo titulado “Susceptibility of the Vegetation to Forest Fires in the Dry Forest of Ocaña—Colombia”, en este trabajo los autores utilizaron el protocolo del IDEAM (2014) con el fin de “identify the zones of vulnerability of the vegetation to forest fires” Como resultado encontraron que en tipo y carga de combustible predominante existe una amenaza alta, por último, concluyeron que la amenaza por vulnerabilidad de la vegetación a incendios en el bosque seco tropical en Ocaña es Moderada.

Hasta esta parte se han descrito trabajos de grado y artículos colombianos desarrollados siguiendo el protocolo IDEAM (2011), en el cual la mayoría de los autores destaca el beneficio de usar SIG para análisis de los diferentes factores en el análisis de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo a incendios forestales. A continuación, se describe trabajos colombianos desarrollados en el tema de incendios forestales y gestión de riesgo, fuera de marco del protocolo (IDEAM, 2011).

En 2020 se desarrolló un análisis con la posibilidad de abordar la gestión de riesgos en el departamento del Tolima a partir del empleo de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto MODIS (Ramos, 2020). El autor concluyó que el sensor MODIS está restringido para escalas que dependen de la mínima unidad cartográfica y que en el país no existe una gran difusión y promoción de uso de estas tecnologías geoespaciales.

Espinel (2021) evaluó la incidencia que tienen factores meteorológicos y geográficos sobre la ocurrencia de incendios forestales en el territorio Norte de Suramérica y su potencial efecto en la calidad del aire de la ciudad de Bogotá. El análisis incluyó la recolección de datos de calidad del aire de la ciudad, datos de incendios forestales registrados por MODIS y datos de precipitación acumulada disponibles en GES DISC, concluyó que existe una relación directa de los puntos detectados de quema y periodos secos y húmedos en el área de estudio.

Por último, se desarrolló un estudio en el caribe colombiano titulado “condiciones meteorológicas propensas a los incendios forestales y evalúa la susceptibilidad en la región megadiversa del norte de Colombia”. Como metodología usaron “un modelo de aprendizaje automático y el enfoque de Monte Carlo para evaluar las estrategias de sostenibilidad para mitigar el riesgo de incendio”. Entre los resultados, Cabrera et al (2024) destacan la relación entre las zonas con gran cantidad de incendios y las altas temperaturas, precipitaciones mínimas, vientos fuertes y condiciones secas.

5. Referente normativo y legal

Para el presente estudio se tuvieron en cuenta los siguientes lineamientos constitucionales, leyes, decretos, resoluciones, ordenanzas y acuerdos de acuerdo con la temática de la investigación.

5.1 Marco constitucional

En la constitución de 1991 se encuentra artículos relacionados con la protección del medio ambiente y administración de recursos naturales, que establecen lineamientos para realizar una zonificación de riesgos por incendios forestales. Los cuales se observan en la tabla 1 a continuación:

Tabla 1 *Constitución de 1991*

Artículos	Descripción
Artículo 8	“Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación”
Artículo 58	“Se garantizan la propiedad privada y los demás derechos adquiridos con arreglo a las leyes civiles, los cuales no pueden ser desconocidos ni vulnerados por leyes posteriores. Cuando de la aplicación de una ley expedida por motivo de utilidad pública o interés social, resultaren en conflicto los derechos de los particulares con la necesidad por ella reconocida, el interés privado deberá ceder al interés público o social. La propiedad es una función social que implica obligaciones. Como tal, le es inherente una función ecológica [...]”
Artículo 79	“Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las
Artículo 80	“El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Fuente: Constitución Política de Colombia

5.2 Marco legal

En la Ley 1575 de 2012 titulada “Por medio de la cual se establece la Ley General de Bomberos de Colombia”, se relaciona la gestión del riesgo por incendios forestales. Donde estos artículos describen el rol de la institucionalidad, las funciones de los secretarios de gobierno o alcaldes en el comité de incendios forestales, y las acciones de preparación y respuesta ante un evento. Los cuales se pueden apreciar en la tabla 2:

Tabla 2 *Ley 1575 del 2012*

Artículos	Descripción
Artículo 1	“Responsabilidad compartida. La gestión integral del riesgo contra incendio, los preparativos y atención de rescates en todas sus modalidades y la atención de incidentes con materiales peligrosos es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano, en especial, los municipios, o quien haga sus veces, los departamentos y la Nación. Esto sin perjuicio de las atribuciones de las demás entidades que conforman el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.”
Artículo 2	“La gestión integral del riesgo contra incendio, los preparativos y atención de rescates en todas sus modalidades y la atención de incidentes con materiales peligrosos, estarán a cargo de las instituciones Bomberiles y para todos sus efectos, constituyen un servicio público esencial a cargo del Estado.
Artículo 19	“Las fuerzas militares, de policía y los demás cuerpos operativos del sistema nacional de prevención y atención de desastres podrán apoyar en situaciones especiales tales, como incendios estructurales en alturas, forestales de gran magnitud o de difícil acceso, o en eventos de desastres naturales o antrópicos, que requieran de su capacidad humana, técnica o tecnológica, bajo la coordinación del Cuerpo de Bomberos, de la respectiva jurisdicción.”
Artículo 4	“17. Preparación: Es el conjunto de acciones principalmente de coordinación, sistemas de alerta, capacitación, equipamiento, centros de reserva y albergues y entrenamiento, con el propósito de optimizar la ejecución de los diferentes servicios básicos de respuesta, como accesibilidad y transporte, telecomunicaciones, evaluación de daños y análisis de necesidades, salud y saneamiento básico, búsqueda y rescate, extinción de incendios y manejo de materiales peligrosos, albergues y alimentación, servicios públicos, seguridad y convivencia, aspectos financieros y legales, información pública y el manejo general de la respuesta, entre otros.

24. Respuesta: Ejecución de las actividades necesarias para la atención de la emergencia como accesibilidad y transporte, telecomunicaciones, evaluación de daños y análisis de necesidades, salud y saneamiento básico, búsqueda y rescate, extinción de incendios y manejo de materiales peligrosos, albergues y alimentación, servicios públicos, seguridad y convivencia, aspectos financieros y legales, información pública y el manejo general de la respuesta, entre otros. La efectividad de la respuesta depende de la calidad de preparación.”

Fuente: Constitución Política de Colombia [Const]. Art. 1, 2, 4, 19, 22, 41. 7 de julio de 1991 (Colombia) y Ley 1575 del 2012, del 21 de agosto de 2012. Por medio de la cual se establece la Ley General de Bomberos de Colombia.

En la Ley 1523 de 2012 titulada “Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones”, se destacan disposiciones como la creación de los consejos de gestión de riesgo de desastre y la incorporación de objetivos de gestión de desastres en los planes de gestión de riesgo y estrategias de respuesta. Estos artículos se pueden ver en la tabla 3:

Tabla 3 *Ley 1523 del 2012*

Artículos	Descripción
Artículo 27	“Créanse los Consejos departamentales, distritales y municipales de Gestión del Riesgo de Desastres, como instancias de coordinación, asesoría, planeación y seguimiento, destinados a garantizar la efectividad y articulación de los procesos de
Artículo 37	“Los planes de gestión del riesgo y estrategias de respuesta departamentales, distritales y municipales, deberán considerar las acciones específicas para garantizar el logro de los objetivos de la gestión del riesgo de desastres.”

Fuente: Ley 1523 de 2012. Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. 24 de abril de 2012. D.O. No. 48411.

En la Ley 99 de 1993 titulada “por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los

recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones”, se destacan disposiciones como las funciones de los municipios en defensa y protección de los recursos naturales y las funciones de las corporación autónomas regionales en administración de los recursos naturales. Estos artículos se pueden apreciar en la tabla 4:

Tabla 4 *Ley 99 del 1993*

Artículos	Descripción
Artículo 65	“Hace referencia a las funciones de los municipios en donde entre otras obligaciones, deben prestar asistencia técnica, prestar el servicio en relación con la defensa del ambiente y la protección de los recursos naturales.”
Artículo 31	“Funciones de las Corporaciones Autónomas Regionales, quienes ejecutaran las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales, asimismo garantizar su disposición, administración, manejo y aprovechamiento conforme a las regulaciones expedidas por Minambiente.”

Fuente: Ley 99 de 1993. Por la cual, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. 22 de diciembre de 1993. D.O. No. 41146.

En la Ley 2111 de 2021 “por medio del cual se sustituye el título xi "de los delitos contra los recursos naturales y el medio ambiente" de la ley 599 de 2000, se modifica la ley 906 de 2004 y se dictan otras disposiciones", se destacan disposiciones como los delitos ambientales como deforestación y daños a los recursos naturales. A continuación, se aprecian en la tabla 5:

Tabla 5 *Ley 2111 de 2021*

Artículos	Descripción
Artículo 330	“Deforestación. El que sin permiso de autoridad competente o con incumplimiento de la normatividad existente tale, queme, corte, arranque o destruya áreas iguales o superiores a una hectárea continua o discontinua de bosque natural, incurrirá en prisión de sesenta (60) a ciento cuarenta y cuatro (144) meses y multa de ciento treinta y cuatro (134) a cincuenta mil (50.000) salarios mínimos legales mensuales vigentes.”
Artículo 333	Daños en los recursos naturales y ecocidio. El que con incumplimiento de la normatividad existente destruya, inutilice, haga desaparecer o cause un impacto ambiental grave o de cualquier

otro modo dañe los recursos naturales a que se refiere este título o a los que estén asociados con estos, incurrirá en prisión de sesenta (60) a ciento treinta y cinco (135) meses y multa de ciento sesenta y siete (167) a dieciocho mil setecientos cincuenta (18.750) salarios mínimos legales mensuales vigentes.

Fuente: Ley 2111 de 2021. Por medio del cual se sustituye el título XI “De los delitos contra los recursos naturales y el medio ambiente” de la Ley 599 de 2000, se modifica la Ley 906 de 2004 y se dictan otras disposiciones. 29 de Julio de 2021

En el Decreto - Ley 2811 de 1974 titulada “Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”, se destacan disposiciones sobre la protección del recurso forestal y se establecen medidas de prevención y control de incendios forestales. Este artículo se puede apreciar en la tabla 6:

Tabla 6 Decreto – Ley 2811 de 1974

Artículos	Descripción
Título IV.	“De la Protección Forestal. Art 241 al 245. Se organizarán medidas de prevención y control de incendios forestales y quemas en todo el territorio nacional, con la colaboración de todos los cuerpos y entidades públicas, las cuales darán especial prioridad a las labores de extinción de incendios forestales.”

Fuente: Decreto – Ley 2811 de 1974. [Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. 18 de diciembre de 1974

En la Resolución 373 de 2020 titulada “Por medio de la cual se crea y conforma la Comisión Técnica Nacional Asesora para Incendios Forestales”, se destacan disposiciones como la conformación de la comisión técnica nacional asesora para incendios forestales. Este artículo se puede apreciar en la tabla 7:

Tabla 7 Resolución 373 de 2020

Artículos	Descripción
Artículo 1	“Tiene como objeto crear y conformar la Comisión Técnica Nacional Asesora para Incendios Forestales, como una instancia del Comité Nacional para el Manejo de Desastres, así como definir el marco de actuación, sus funciones e integrantes, las disposiciones inherentes a la temática de incendios forestales y demás temas relacionados, en el marco de la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.”

Fuente: Resolución 373 de 2020. [Dirección Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres]. Por la cual se crea y conforma la Comisión Técnica Nacional Asesora para Incendios Forestales. 23 de junio de 2020

En la Resolución 532 de 2005 titulada “Por el cual se establecen requisitos, términos, condiciones y obligaciones, para las quemas abiertas controladas en áreas rurales en actividades agrícolas y mineras”, se destacan disposiciones de cómo realizar quemas abiertas controladas en áreas rurales en actividades agrícolas y mineras. Esto se puede apreciar en la tabla 8:

Tabla 8 *Resolución 532 de 2005*

Artículos	Descripción
No Aplica	“Establece requisitos, términos, condiciones y obligaciones para realizar quemas abiertas controladas en áreas rurales en actividades agrícolas y mineras. Por medio de la utilización de técnicas, protocolos, permisos, registros meteorológicos, áreas de restricción y franjas de protección.”

Fuente: Resolución 532 de 2005. [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se establecen requisitos, términos, condiciones y obligaciones, para las quemas abiertas controladas en áreas rurales en actividades agrícolas y mineras. 26 de abril de 2005.

6.Referente teórico

En este apartado se describen algunos conceptos asociados con incendios forestales que permitirán contextualizar el proyecto de investigación. Se detallan las características de la zona de estudio, el protocolo IDEAM 2011 y gestión de riesgo donde se encuadra este proyecto.

6.1. Amenaza

Se refiere a un peligro presente de un evento físico, la cual puede ser por origen natural o por acciones antrópicas, estas pueden tener impactos en la salud, daños a bienes estructurales, afectación al medio ambiente y causar interrupción de la prestación servicios esenciales.
(minambiente, s.f.)

6.1.1 Susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios

Esta hace referencia a la identificación y valoración de las condiciones que hacen la vegetación más susceptible a la ignición y propagación de incendios, lo cual se usa para la evaluación de diferentes ecosistemas, se calcula desde el inicio del fuego como del comportamiento de este. Se clasifica teniendo en cuenta lo siguiente:

- ✓ Tipo de combustible vegetal predominante en la zona, en donde se tiene en cuenta la cobertura vegetal y el biotipo.
- ✓ La duración del tipo de combustible predominante en la zona se mide en horas de cada tipo de combustible, definidos en horas de ignición
- ✓ La carga total del combustible es una característica cualitativa que depende de la correlación de la altura, cobertura y biomasa aérea.

- ✓ Humedad presente en la vegetación, se distribuye en rangos y define el modelo de combustible para las unidades de vegetación. (IDEAM, 2011).

6.1.2 Factores climáticos

Son factores fundamentales en la generación y propagación del fuego, estos determinan en gran medida la duración, la severidad, la humedad y la cantidad de combustible vegetal presente en la zona. Los factores con mayor influencia son la temperatura media anual, la precipitación media, la radiación solar, y la velocidad de los vientos (IDEAM, 2011).

6.1.3 Factor del relieve

Se refiere a la inclinación del terreno debido al ángulo de este, propicia la propagación del fuego, siendo estos más frecuentes en ciertas posiciones topográficas, además inclinaciones altas dificultan el acceso de los equipos de respuesta ante este fenómeno (IDEAM, 2011).

6.1.4 Factor histórico

Busca identificar la frecuencia de ocurrencia de los incendios en el área de estudio en un periodo determinado de tiempo el cual puede ser alrededor de los 10 años, para así poder realizar un análisis de estos eventos (IDEAM, 2011).

6.1.5 Accesibilidad

Se refiere a la densidad de las vías presentes en el territorio, se considera como una amenaza debido a que las vías proveen una ruta para llegar a los focos de los incendios y del mismo modo proporciona una ruta de escape a las comunidades presenten en el área. (IDEAM, 2011).

6.2. Gestión de Riesgo

Es importante detallar los términos de gestión de riesgo en los cuales se enmarca este proyecto. La Amenaza es el peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales. (Ley 1523 de 2012).

Seguidamente encontramos el termino Vulnerabilidad, el Instituto de Geografía habla sobre la disposición interna que podría verse afectada por una amenaza. La destrucción no ocurre si no hay vulnerabilidad. El grado de exposición, la protección, la reacción inmediata, la recuperación básica y la reconstrucción son factores importantes. Por lo tanto, se puede inferir que son las características con las que se encuentra una persona para resistir y recuperarse de alguna situación natural (Instituto de Geografía (IGUNNE), 2018).

6.3 Información Geoespacial

La ciencia de la información geoespacial es la utilización de distintos métodos de geodesia y computación para generar modelos, adquirir datos, analizar visualizar y dar a conocer datos sobre los fenómenos dinámicos de la Tierra. Por medio de las tecnologías de la información se desarrolla distintas metodologías para el apoyo de decisiones humanas e identificar tendencias. Esta información es esencial para la cartografía, análisis y resoluciones de desafíos para la humanidad como lo es el cambio climático, los cambios demográficos, los desastres naturales, la seguridad energética y problemas socioambientales (Bill, y otros, 2022)

6.4 Incendio Forestal

Este se refiere al incendio que se propaga por una zona desfavorable sin la supervisión humana y que puede causar diversos efectos, como pérdidas económicas, quema de cultivos, destrucción de bosques, desequilibrio ecosistémico e incluso problemas en la salud de las personas. El fuego se divide en tres categorías: de copa (arde hasta las copas de los árboles), de superficie (arde matorrales, herbáceas y hojas secas) y de subsuelo (arde las raíces y otra materia orgánica) (Vergel, 2020).

6.5 Protocolo para la realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal.

En el año 2009, el IDEAM con apoyo de CONIF (Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal), elaboró un mapa Nacional de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal, a escala 1:500.000, a partir de este mapa el IDEAM en 2010 creó el "Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal a escala 1:100.000" (IDEAM, s.f.). Este documento es aplicable por los entes regionales y locales encargados de la gestión de riesgo. La metodología del protocolo contiene 7 fases, en las primeras tres etapas se realiza la definición del marco teórico y conceptual, se obtiene cartografía de fuentes oficiales, además, se realiza la normalización y ponderación de variables y factores, en la cuarta fase se realiza una compilación, análisis y validación de la información, en la quinta fase se desarrolla el análisis de la amenaza, en la sexta el análisis de vulnerabilidad y se finaliza con la zonificación de riesgo.

6.6 Riesgo

Es la probabilidad de que se presente un fenómeno peligroso, en un territorio ocasionando pérdidas sociales, económicas y ambientales. Es decir, el resultado de relacionar amenaza y vulnerabilidad con elementos expuestos (IDEAM, 2011). Los tipos de riesgos asociados a incendios forestales son:

- ✓ Riesgo ecológico: Es la probabilidad de que un incendio afecte a un ecosistema.
- ✓ Riesgo Económico: Es la probabilidad de que un incendio forestal afecte a áreas donde se desarrollan actividades económicas.
- ✓ Riesgo de físico: Es la probabilidad de que un incendio forestal afecte a un área.
- ✓ Riesgo de infraestructura: Es la probabilidad de que un incendio forestal afecte a una infraestructura.
- ✓ Riesgo Institucional: Es la probabilidad de que un incendio forestal afecte a un área desprotegida sin presencia de organismos o instituciones en la gestión de incendios.
- ✓ Riesgo poblacional: Es la probabilidad de que un incendio forestal afecte a un área con población.
- ✓ Riesgo patrimonial: Es la probabilidad de que un incendio forestal afecte un bien con alto valor histórico y cultural.
- ✓ Riesgo territorial: Es la probabilidad de que un incendio forestal afecte un área con características físicas y ecológicas.

6.7 Vulnerabilidad

Es un factor fundamental a la hora de la realización de los análisis de riesgo en el territorio, ya que la vulnerabilidad tiene en cuenta los efectos adversos de un fenómeno natural sobre los aspectos económicos, ambientales, físicos e institucionales necesarios para la sociedad. (UNGRD, 2012)

6.9.1 Vulnerabilidad institucional

Esta hace referencia a la organización de las entidades de respuesta, control y vigilancia en el territorio y la comunidad, tanto de forma individual como en conjunto, de manera que se garantice una respuesta rápida a la emergencia y de forma última se logre la recuperación de manera óptima (Desastres, 2020)

6.9.2 Vulnerabilidad patrimonial

Se identifica como las áreas que presentan una importancia tanto natural como antrópica, está dada por áreas como reservas naturales, parques nacionales o áreas con valor histórico, artístico o religioso. (IDEAM, 2011).

6.9.3 Vulnerabilidad poblacional

Se refiere a las poblaciones que se ven afectadas en la materialización de una amenaza, se calcula teniendo en cuenta factores como la ocupación, la colindancia y la dispersión de las comunidades. (IDEAM, 2011).

6.9.4 Vulnerabilidad territorial

Comprende los cambios físicos que experimenta el suelo, causado por factores naturales y actividades humanas, en donde se incluye las dinámicas socioeconómicas, asentamientos y características del entorno natural. (IDEAM, 2011).

6.9.5 Vulnerabilidad de infraestructura

Se evalúan la vulnerabilidad de distintas infraestructuras, como edificaciones, aeropuertos líneas eléctricas y carreteras, las cuales pueden ser afectadas ante la ocurrencia de un desastre natural. (IDEAM, 2011).

6.9.6 Vulnerabilidad económica

Busca identificar los sectores económicos vulnerables en caso de un desastre natural, se tiene en cuenta la generación de bienes y servicios, los cuales se ven afectados por la materialización de la amenaza. (IDEAM, 2011).

6.9.7 Vulnerabilidad física

Se refiere a la vulnerabilidad de física que presenta un territorio considerando variables como el uso del suelo el cual puede incrementar la severidad de las amenazas presentes en el territorio. (IDEAM, 2011).

6.9.8 Vulnerabilidad ecológica

Es la adaptación de los ecosistemas a los desastres naturales, en este caso a la incidencia del fuego en los ecosistemas, teniendo en cuenta en como este factor incide en la destrucción, renovación y conservación de los ecosistemas. Esto indica cuales biomas y ecosistemas están mejor adaptados al acontecimiento de un evento. (IDEAM, 2011).

7. Metodología

La metodología empleada en esta investigación sigue el protocolo del IDEAM para la creación de mapas de zonificación de riesgos de incendios en la cobertura vegetal. Inicialmente, se evalúan los componentes del riesgo (amenaza y vulnerabilidad) utilizando un método paramétrico con enfoque espacial apoyado en sistemas de información geográfica. Este método implica la ponderación y calificación secuencial de diversos factores que generan amenazas y vulnerabilidades a incendios forestales para identificar el riesgo. En términos de amenaza, se consideran factores históricos (frecuencia de incendios), climáticos (precipitación, temperatura, vientos, radiación solar) y geográficos (relieve, inclinación del terreno, accesibilidad). En cuanto a vulnerabilidad, se analizan la vulnerabilidad económica (zonas agrícolas, ganaderas, industriales), institucional (sistemas de alerta temprana, presencia de organismos de socorro), patrimonial (áreas de valor histórico y cultural), poblacional (densidad y proximidad de asentamientos humanos a zonas de vegetación), territorial (erodabilidad de suelos, uso del suelo) e infraestructural (infraestructuras viales, eléctricas y de comunicación).

Después de evaluar la amenaza y la vulnerabilidad, se recopila y analiza la información cartográfica necesaria. Para el análisis de amenazas, se utilizan mapas de vías, modelos digitales del terreno, mapas de precipitación y temperatura, así como datos estadísticos sobre la frecuencia de incendios y la cobertura vegetal. Posteriormente, se procede a la normalización, ponderación y categorización de las variables, transformándolas de una escala nominal-categorica a una ordinal. Este proceso permite evaluar cada variable según su relevancia para la ocurrencia de incendios, estandarizándolas para que puedan ser correlacionadas correctamente.

La construcción del Modelo Jerárquico (AHP) es fundamental para organizar y ponderar las variables de manera eficiente. Las comparaciones de pares entre elementos permiten asignar valores numéricos a las preferencias de los expertos, resultando en una síntesis de estos juicios. El AHP facilita la descomposición, análisis y visualización de información compleja, permitiendo una comprensión intuitiva de los problemas y sus efectos. Al final, se crean mapas en los que cada variable normalizada es reemplazada por un valor de adecuación específico, y se establece un sistema de ponderación basado en la relevancia relativa de cada variable, influido por las ponderaciones sugeridas por expertos.

7.1 Enfoque metodológico

El enfoque metodológico es de carácter cuantitativo, debido a que se busca medir las áreas dentro del PNN Tinigua y su zona de influencia en los municipios de Macarena, Uribe y Mesetas que presentan mayor riesgo por incendios forestales.

El enfoque cuantitativo contesta la pregunta de investigación, es decir “que por su naturaleza son medibles o cuantificables, y también son valores de carácter numérico en el cual se obtiene resultado de frecuencia, medición y parámetros que permiten probar las ideas establecidas anticipadamente” (Cely, 2023).

Para este enfoque se tomará la técnica de recolección de información geoespacial de la cartografía oficial disponible en datos abiertos, para posteriormente analizar la vulnerabilidad, amenaza y riesgo del PNN Tinigua.

7.2 Tipo de estudio

El alcance del estudio es correlacional porque responde al objetivo general con la relación de múltiples variables ambientales, geográficas y sociales donde se asocian para identificar las áreas dentro del PNN Tinigua y sus zonas de influencia que tienen mayor susceptibilidad a la amenaza de incendios forestales. Esta correlación entre variables busca establecer patrones predictivos para cuantificar las áreas de mayor riesgo a incendios forestales.

En el trabajo de grado se realiza análisis correlacional de variables seleccionadas por expertos en el protocolo del IDEAM, con el fin de establecer vinculaciones significativas entre el análisis de amenazas, análisis de vulnerabilidad y análisis de riesgo. Estas relaciones pueden determinar técnicas de análisis espacial las cuales procesarán las variables para generar información cartográfica como mapas, bases de datos y archivos shapefile, con el fin de calcular la zonificación de áreas con mayor riesgo de incendios forestales.

7.3 Procedimiento

Para generar el mapa de zonificación de riesgo a incendios forestales de la cobertura vegetal en el PNN Tinigua se adopta el Protocolo del IDEAM (2011). Para llegar a este resultado es necesario generar los mapas de amenaza y vulnerabilidad para lo cual se tiene en cuenta información climática, accesibilidad, infraestructura, tipo de combustible y la identificación de la cobertura terrestre en la zona de estudio, entre otros.

A continuación, se detallará las fases subdivididas por actividades las cuales desarrollan los objetivos planteados en la investigación, ver figura 2.

Figura 2 Esquema fases de la investigación

Fuente: elaboración propia, 2025

Fase 1 - Utilizar los recursos de información geoespacial de fuentes oficiales disponibles para análisis de riesgo por incendio forestal.

En la fase 1 se desarrollaron 5 actividades, en la primera se recopiló información geoespacial disponible por fuentes oficiales, en la segunda, se filtró la información geoespacial relevante para la investigación, en la tercera se ~~integró~~ integraron variables y factores con procedimientos de normalización, ponderación y categorización, en la cuarta se generó la cartografía base de la investigación y en la quinta, se definió la escala cartográfica.

Actividad 1.1: Recopilar información geoespacial disponible por fuentes oficiales

Para esta actividad se tuvo en cuenta las indicaciones de la ficha 2 incluida en el anexo B., del protocolo del IDEAM, donde se identifican las fuentes de información geoespacial disponibles. Estas técnicas permitieron obtener un catálogo de bibliografía de la información geoespacial

utilizada en el presente trabajo, sin modificación alguna, es decir, sin filtrar, que servirá como punto de partida para el análisis y procesamiento de información, con el fin de obtener las áreas susceptibles a amenazas de incendios forestales en el área de interés.

Actividad 1.2: Filtrar la información geoespacial relevante para la investigación

Esta actividad inicia con la base cartográfica en bruto y el área única del proyecto. Utilizando las herramientas de análisis del software ArcGIS Pro, se realiza un corte de toda la información geoespacial, limitándola al área de estudio. Este proceso permitió obtener una base cartográfica ajustada a la realidad del territorio, con el fin de garantizar la precisión y relevancia de los datos para futuros análisis y aplicaciones en el proyecto.

Actividad 1.3: Integrar variables y factores con procedimientos de normalización, ponderación y categorización

Una vez que se han identificado las variables de riesgo, es esencial crear un criterio coherente para integrarlas de manera efectiva. Esto implica clasificarlas en una escala numérica de riesgo, lo que puede requerir transformar datos de naturaleza nominal-categorica a ordinal. Por ejemplo, diferentes rangos de pendiente pueden ser asignados a valores numéricos que representan niveles de riesgo específicos, como bajo, medio y alto. Además, al combinar estas variables en un índice único, es fundamental ponderar cada una según su importancia en la explicación de la probabilidad de incendio. Para lograr esto, se recurre a procedimientos cualitativos que involucran la opinión de expertos. Estos expertos ordenan sus opiniones mediante la construcción de jerarquías, establecimiento de prioridades y análisis matemático de la coherencia de las ponderaciones, utilizando un enfoque de evaluación multicriterio.

Para combinar y correlacionar variables y factores en un análisis, es esencial normalizarlos debido a las diferencias en las escalas de medición. Dado que estos factores son continuos y difusos en su naturaleza, con límites y rangos vagos, se emplea la normalización utilizando criterios de lógica difusa. Esta normalización se realiza utilizando una ecuación que ajusta los valores de los factores en función de los mínimos y máximos observados en toda el área de estudio. Posteriormente, se agrupan los datos normalizados en 5 rangos de acuerdo con su amplitud, y se les asigna una calificación utilizando la lógica difusa, lo que permite comparar variables con diferentes unidades de medida. Esto resulta en seis categorías de amenaza, junto con una categoría adicional de "sin información" para áreas donde no se dispone de datos.

Una vez normalizadas las variables y estructurados los factores, se procede a ponderar las variables considerando su importancia relativa en la determinación de la adecuación final para el objetivo del estudio. Este proceso de ponderación se basa en el método del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) desarrollado por Thomas Saaty, el cual permite a los expertos estructurar el problema de manera visual y realizar comparaciones a pares entre elementos jerárquicos, asignando valores numéricos a las preferencias indicadas. Utilizando una escala numérica propuesta por Saaty, que va de 1 a 9, los expertos ponderan el grado de importancia de cada variable en relación con otras variables en términos de preferencia, importancia o probabilidad. Estas ponderaciones se registran en una matriz de comparación por pares, la cual es simétrica y solo requiere llenar la mitad triangular inferior. Por ejemplo, la amenaza se calcula considerando la susceptibilidad de la vegetación, precipitación, temperatura, pendientes, frecuencia, accesibilidad, vientos y radiación solar, cada una con su respectivo peso determinado por expertos consultados. La suma total de los pesos asignados a las variables en cada ecuación es igual a 1, garantizando una ponderación total coherente.

Actividad 1.4: Generar la cartografía base de la investigación

Se utilizaron las planchas disponibles del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) a través de su portal Colombia Mapas, que cubren completamente el área de interés del proyecto. Posteriormente, y aplican técnicas de geoprocésamiento, específicamente de corte e intersección, para extraer y refinar los datos cartográficos relevantes. Este proceso permite obtener una cartografía base del área objeto de estudio.

Actividad 1.5: Definir escala cartográfica de la investigación

Definición de la escala de trabajo

Para identificar las zonas con mayor riesgo de incendios forestal y la elaboración de procesos de zonificación, se selecciona una escala 1:100.000, dada la disponibilidad de información cartográfica de las coberturas de la tierra generada por el IGAC. Se utilizó esta información conforme con las indicaciones del protocolo del IDEAM, para recalificar y categorizar los resultados de acuerdo con el nivel 3 de la metodología Corine Land Cover – CLC adaptada a Colombia. Por tal razón, este shapefile definió la escala de aplicabilidad del trabajo de grado.

Escala espacial de las imágenes satelitales

Para el presente estudio se ha definido una resolución espacial de tipo detallado, enfocándose en la escala local. En la escala local, se analizan áreas de cientos de kilómetros cuadrados con un tamaño del píxel de 12,5 m, el cual se obtuvo con el Modelo Digital de Elevaciones - DEM disponible por CORMACARENA obtenido del satélite Alos Palsar. Por otro lado, para el obtener las vías terciarias no había suficiente información disponible por lo tanto se

utilizó, una resolución espacial de 0,59 m, con el fin de digitalizar las vías terciarias a través de una imagen satelital descargada por el programa SAS PLANET del satélite de Bing.

Fase 2 - Analizar la amenaza y vulnerabilidad con herramientas SIG de las áreas afectadas por incendios forestales de origen natural y antrópicos.

La primera actividad corresponde al análisis de las amenazas realizando el cálculo de la amenaza a partir de la susceptibilidad de la vegetación, la frecuencia de incendios y las amenazas por pendiente, precipitación, temperatura y accesibilidad, como resultado se obtiene un mapa de amenaza por incendios forestales (ver esquema en Anexo C). En la actividad 2, se realizó el cálculo de vulnerabilidad a partir de la identificación de vulnerabilidad poblacional, de la infraestructura, económica, ecosistémica y territorial, patrimonial e institucional (Ver esquema en Anexo D).

Actividad 2.1: Analizar las amenazas según las variables y factores

Esta información incluye un mapa base con límites político-administrativos, centros poblados, hidrografía, curvas de nivel y vías; un mapa de cobertura vegetal; mapas de precipitación y temperatura media multianual; mapas históricos de incendios forestales a nivel municipal que detallan la cantidad y causas de los incendios; un mapa de pendientes; y un mapa vial. La integración de estos factores permite evaluar la amenaza mediante la zonificación y calificación de elementos como la susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios, la accesibilidad, factores climáticos, el relieve y el historial de incendios.

Mapa susceptibilidad de la vegetación a incendios

Para determinar la susceptibilidad de la vegetación a incendios, se utiliza el modelo de combustibles desarrollado por Páramo en 2007. Este modelo evalúa la condición pirogénica de la vegetación colombiana mediante la reclasificación y calificación de factores. El primer paso consiste en generar un mapa de tipos de combustibles a partir del mapa de cobertura vegetal, reclasificando las coberturas según los tipos de combustibles dominantes. Luego, se crea un mapa de duración de combustibles, interpretando y asignando calificaciones a las coberturas predominantes. A continuación, se desarrolla un mapa de carga de combustibles utilizando datos específicos de biomasa y generando calificaciones basadas en la biomasa aérea de cada cobertura. Si la información sobre la carga total de combustibles es insuficiente, se puede utilizar el mapa de biomasa aérea regional como referencia. Posteriormente, se elabora un mapa de humedad de la vegetación, reclasificando las coberturas según su contenido de humedad.

Finalmente, se integra la información generada en los mapas de tipos, duración, carga y humedad de combustibles mediante álgebra de mapas. El resultado se agrupa en cinco niveles de susceptibilidad, que varían desde sin riesgo (valor 0) hasta muy alta susceptibilidad (valor 5). Estos niveles se obtienen a través de una distribución de frecuencias, asignando calificaciones a cada categoría. La ecuación utilizada para calcular la susceptibilidad total de la vegetación (SUSC) combina las calificaciones de tipo de combustible ($CAL(tc)$), duración de combustibles ($CAL(dc)$), carga total de combustibles ($CAL(ct)$) y humedad del combustible ($CAL(hc)$).

Incorporación de variables climáticas

El primer paso implica la incorporación de variables climáticas como precipitación, temperatura, vientos y radiación solar en la generación de mapas climáticos, siguiendo un procedimiento similar al de la calificación de la susceptibilidad de la vegetación al fuego.

Incorporación de la variable pendiente

Para la elaboración del mapa de pendientes, el primer paso consiste en generar las curvas de nivel a partir del Modelo Digital de Terreno (DEM), el cual tiene una resolución de 12,5 metros del satélite Alos Palsar. Para ello, se utiliza la herramienta de geoproceto “Contour”, configurando las curvas de nivel con una separación de 50 metros y aplicando este proceso dentro del polígono que delimita el área de estudio. Una vez generadas las curvas de nivel, se les aplica un suavizado mediante la herramienta “Smooth Line”, con un parámetro de suavizado de 50 metros, lo que permite corregir las irregularidades de las líneas y mejorar la representación de los detalles topográficos.

Después de obtener las curvas de nivel suavizadas, estas se convierten nuevamente a un formato raster (DEM) utilizando la herramienta “Topo to Raster”. Aquí se ajusta la configuración para que el DEM resultante se genere únicamente dentro del límite del área de estudio, y el archivo resultante se guarda en formato TIF, asegurando así que el DEM esté correctamente delimitado y listo para los siguientes análisis.

Una vez procesada esta información, se genera el mapa de pendientes aplicando la herramienta “Slope” al DEM recién creado. En esta etapa, se configura la herramienta para que las pendientes se expresen en grados, lo que permite identificar las pendientes. Posteriormente, se realiza una reclasificación de las pendientes con la herramienta “Reclassify”, siguiendo los intervalos establecidos en una tabla de protocolo.

Tras la reclasificación, se convierte el raster de pendientes a polígono mediante la herramienta “Raster to Polygon”. Luego se utiliza la herramienta “Dissolve” sobre el atributo

“gridcode” para agrupar los polígonos que pertenecen a la misma categoría de pendiente, lo que facilita la interpretación y visualización de los datos, ver tabla 9:

Tabla 9 *Categorización de la amenaza de pendiente*

Grados de pendientes	Clasificación Pendiente (%)	Calificación Pendiente	Categorización de amenaza
0 – 3,15	0-7	1	Muy baja
3,16 – 5,40	7-12	2	Baja
5,41 – 11,25	12-25	3	Media
11,26 -33,75	25-75	4	Alta
>33,76	>75	5	Muy alta

Fuente: IDEAM, 2011.

Finalmente, se configura la simbología para que las categorías de pendiente se representen de acuerdo con la tabla de reclasificación. De este modo, en la interfaz de layout se comienza a generar el mapa de pendientes donde se organiza visualmente, destacando las diferentes clases de pendientes en grados en el área de estudio.

Incorporación de frecuencia-casualidad

El análisis del factor histórico en la evaluación de amenazas de incendios forestales se basa en datos estadísticos regionales o municipales sobre incendios. Se calculan índices de frecuencia y causalidad de incendios utilizando ecuaciones específicas. La frecuencia (F_i) se determina por el número de incendios anuales, y la causalidad (C_i) se basa en las causas específicas de cada incendio. Estos índices se normalizan y califican según el protocolo para crear un mapa de frecuencia y causalidad. Este enfoque integral asigna ponderaciones a cada

causa de incendio, considerando su participación en la frecuencia total, permitiendo una evaluación holística del territorio. Finalmente, se clasifica y califica el factor de frecuencia tras analizar los incendios ocurridos en periodos de 10 años.

Incorporación de la variable vías

La accesibilidad es un factor crucial en la amenaza de incendios de la cobertura vegetal, ya que influye en la probabilidad de que la población acceda a áreas vulnerables y provoque incendios. Este factor se evalúa de dos maneras: densidad vial y proximidad de vías a coberturas vegetales susceptibles. La primera se mide en kilómetros de vías por unidad de superficie, y la segunda se analiza mediante buffers generados alrededor de vías principales y secundarias, cada uno de 500 metros de ancho. Los buffers se califican del 1 al 5 según la facilidad de acceso basada en la distancia a las vías. Para la densidad vial, se genera un mapa que se reclasifica conforme a una tabla específica, evaluando así la accesibilidad y su impacto en la amenaza de incendios.

Mapa de amenaza de incendios de la cobertura forestal

Para generar el mapa de amenaza de incendios forestales, se realiza una suma ponderada de las variables obtenidas en los pasos anteriores del proceso de análisis cartográfico. Los factores considerados en esta evaluación se multiplican por sus respectivos pesos asignados y se suman para obtener una estimación de la amenaza. En este caso específico, algunos factores como la radiación solar y el viento no se utilizaron debido a la falta de información disponible. La suma ponderada resultante se distribuye en rangos de frecuencia para categorizar el nivel de amenaza, que varía desde "Muy baja" hasta "Muy alta", con categorías intermedias como "Baja", "Moderada" y "Alta"(IDEAM, 2011).

Actividad 2.1: Analizar las vulnerabilidades según las variables y factores

El análisis de vulnerabilidad en un territorio ante incendios forestales implica considerar diversos aspectos que abarcan desde la población, cambios físicos del suelo, ecológicos, la infraestructura, instituciones presentes hasta el patrimonio y la economía.

Mapa de vulnerabilidad poblacional

El análisis y la evaluación de la vulnerabilidad se realizan utilizando los mismos procedimientos que en el análisis de amenazas. Se inicia con la generación del mapa de vulnerabilidad poblacional, que interpreta la vulnerabilidad basada en la densidad de población urbana y rural utilizando datos del censo nacional de población. Este mapa se procesa mediante normalización, categorización y calificación para obtener la información espacial de la población vulnerable. Se calcula la densidad poblacional por unidad administrativa y se compara con el promedio regional para su clasificación. Luego, se analiza la colindancia y la proximidad de los centros poblados y viviendas rurales con áreas de susceptibilidad a incendios forestales. Esto se hace mediante buffers sobre estos elementos y su intersección con el mapa de susceptibilidad, seguido de la normalización, calificación y categorización para determinar la vulnerabilidad poblacional ante incendios forestales.

Mapa de vulnerabilidad territorial

Para evaluar la vulnerabilidad territorial, se consideran dos componentes principales: la vulnerabilidad física, que se basa en la categorización de conflictos de uso del suelo y otras variables como clases agrológicas y erodabilidad, y la vulnerabilidad ecológica, que evalúa la adaptación de la cobertura vegetal al fuego. Estos componentes se ponderan y se suman para obtener el mapa de vulnerabilidad territorial. La vulnerabilidad física se determina mediante consultas a expertos locales, mientras que la ecológica se basa en la influencia del fuego en los distintos biomas y ecosistemas.

Mapa de vulnerabilidad de infraestructura

El mapa de vulnerabilidad de la infraestructura se crea para identificar los posibles riesgos que enfrentan instalaciones y edificaciones ante incendios forestales. Se analiza la presencia de elementos como vías férreas, aeropuertos, líneas eléctricas y áreas recreativas, entre otros, mediante la generación de buffers alrededor de ellos. Estos buffers se superponen con las zonas de susceptibilidad a incendios para evaluar el grado de vulnerabilidad.

Mapa de vulnerabilidad patrimonial

Para generar el mapa de vulnerabilidad patrimonial, es necesario contar con la información cartográfica de distintos mapas que incluyan áreas de importancia ambiental para la región, como las áreas protegidas (Parques Nacionales Naturales, Reservas Forestales Nacionales y Regionales), cuencas abastecedoras de acueductos y zonas de manejo especial (como Resguardos Indígenas y Consejos Comunitarios de Comunidades Afrocolombianas). Estas áreas deben ser valoradas según su importancia estratégica, basándose en los criterios de expertos consultados. La vulnerabilidad debe analizarse desde dos perspectivas: la natural, que considera la conservación de los recursos hídricos y la biodiversidad y la antrópica, que tiene en cuenta el patrimonio histórico, artístico y cultural de la región.

Mapa de vulnerabilidad económica

Para crear el mapa de vulnerabilidad económica, se debe partir de la cartografía del uso actual de la tierra, que será reclasificada según criterios de expertos. Luego, se evaluarán las áreas clave para la producción de bienes y servicios que podrían ser afectadas por incendios en la vegetación, como las zonas agrícolas, ganaderas, forestales y mineras. En el estudio de caso descrito en el protocolo, las áreas se calificaron de acuerdo con criterios específicos, y para la

aplicación a nivel regional o local, se proporciona una tabla de calificación según el protocolo IDEAM.

Mapa de vulnerabilidad institucional

Para elaborar el mapa de vulnerabilidad institucional, se debe evaluar la capacidad del gobierno para la reconstrucción después de un evento, considerando el presupuesto asignado para la rehabilitación y restauración de áreas degradadas. También es necesario mapear la cobertura regional de los diferentes organismos de socorro (Bomberos, Defensa Civil, Policía, Ejército, Cruz Roja, etc.) y crear isócronas que muestren los tiempos de respuesta de estos organismos a las zonas con mayor riesgo de incendios, en la medida de lo posible.

Mapa de vulnerabilidad de incendios forestales

Para generar el mapa de vulnerabilidad a incendios forestales, se realizan varios procesos. Primero, se estandarizan los valores de las variables mediante lógica difusa para hacerlas comparables, asignándoles rangos de calificación del 1 al 5 (muy baja a muy alta). La normalización se realiza con la ecuación: $\text{Variable normalizada} = (x - \text{Min}) / (\text{Max} - \text{Min})$, donde x es el valor de la variable, Min es el valor mínimo y Max el valor máximo dentro del rango del mapa. Luego, se definen los valores de ponderación por categoría para obtener una visión integral del territorio, asignando a cada variable un peso según su contribución a la vulnerabilidad. Este proceso utiliza técnicas de análisis multicriterio para asegurar la consistencia matemática de las ponderaciones.

Fase 3 - Generar un mapa actualizado para la zonificación del riesgo de incendios forestales.

Con la información de amenaza y vulnerabilidad se calcula el riesgo, en el cual, luego de un proceso de normalización, agrupación y reclasificación se da como resultado el mapa de riesgo por incendios forestales.

Analizar la zonificación de riesgo a incendios forestales

Para analizar el riesgo de incendios forestales, se necesita cartografía temática, como un mapa que muestre la amenaza de incendios en la vegetación, otro que represente la vulnerabilidad ante incendios en esa misma vegetación, así como mapas individuales que detallen la vulnerabilidad en diferentes aspectos, como territorio, población, patrimonio, infraestructura, economía, entre otros. Además, para visualizar estos datos, se emplea cartografía base que incluye información sobre límites administrativos, poblados, cuerpos de agua, relieve y carreteras.

Generar salida grafica de mapa de zonificación de riesgo a incendios forestales

Una cartografía de riesgos identifica los escenarios y zonificaciones de riesgo de un territorio, permitiendo diversas interpretaciones. Utilizando la amenaza y la vulnerabilidad, se pueden definir escenarios específicos para mejorar la gestión urbana y de riesgos, conceptualizando el riesgo como una función de peligrosidad, amenaza y vulnerabilidad. La evaluación de riesgos incluye varios escenarios y zonificaciones: riesgo territorial (áreas físicas y ecosistémicas afectadas por incendios), riesgo poblacional (zonas densamente pobladas con alta susceptibilidad a incendios), riesgo patrimonial (áreas con alto valor histórico y cultural en riesgo de incendios), riesgo económico (áreas productivas vulnerables a incendios), riesgo institucional (zonas con deficiencias en la gestión y respuesta institucional), riesgo de infraestructura

(infraestructuras vulnerables a incendios), riesgo físico (suelos y topografía susceptibles a incendios) y riesgo ecológico (ecosistemas en riesgo). La zonificación del riesgo se obtiene al ponderar la amenaza y la vulnerabilidad, dividiéndola en cinco rangos de frecuencia y categorizándola. Esto permite identificar áreas prioritarias para la prevención y control de incendios, incluyendo asentamientos humanos, zonas productivas importantes, ecosistemas estratégicos, sitios históricos y culturales, y áreas con infraestructuras estratégicas.

8. Resultados

Los resultados se presentan en orden de las fases enunciadas en la metodología.

8.1 Fase 1

En esta fase se da respuesta al objetivo específico 1: Utilizar los recursos de información geoespacial de fuentes oficiales disponibles para análisis de riesgo por incendio forestal.

Recopilar información geoespacial disponible por fuentes oficiales

En esta fase se da respuesta al objetivo específico 1: Utilizar los recursos de información geoespacial de fuentes oficiales disponibles para análisis de riesgo por incendio forestal.

Tras verificar las diversas plataformas de datos abiertos de instituciones como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el Ministerio de Medio Ambiente, CORMACARENA, las alcaldías, la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), entre otras, se recopiló la información geoespacial base necesaria. Posteriormente, esta información fue geo procesada y analizada en herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

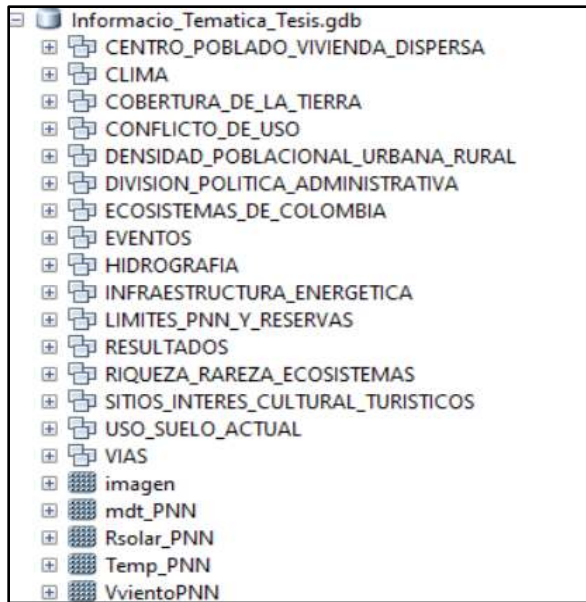
Siguiendo la metodología descrita en el anexo B del Protocolo del IDEAM, como parte del proceso se elaboró un catálogo que detalla la etapa, el componente, la fuente y el enlace de descarga de la información geográfica utilizada en el estudio. Este catálogo, que organiza y describe la información recopilada de diversas fuentes y datos abiertos, se presenta en el anexo E matriz de recursos de información secundaria.

Posteriormente se construyó una Base de Datos Espaciales - GDB con la información inicial del proyecto de investigación, esta GDB denominada `Informacion_Base_Tesis.gdb` incluida en el anexo F, la cual se puede ver en la carpeta “anexos tesis” que contiene toda la información disponible, pero sin filtrar, es decir, esta base de datos inicial contiene información tanto relevante como irrelevante para el proyecto de investigación, la cual contiene archivos shapefile y archivos ráster, que se recopilaban en el catálogo anterior.

Filtrar la información geoespacial relevante para la investigación

Una vez realizado la dinámica de la construcción de la GDB sin filtrar, se procedió a recortar esta con ayuda de la herramienta informática ArcGIS Pro, utilizando el comando Clip o cortar , con el fin de recortar todos los datos geoespaciales al área de estudio y en este proceso se iba descartando la información que no se iba utilizar dejando únicamente una GDB denominada `Informacion_Tematica_Tesis.gdb` incluida en el anexo G, con los datos que se iban a utilizar para el procesamiento y análisis de la información, la GDB está compuesta por los siguientes datasets, ver figura 3:

Figura 3 Información en GDB definitiva, filtrada.



Fuente: elaboración propia, 2025

Integrar variables y factores con procedimientos de normalización, ponderación y categorización

Para esta actividad se utilizó la normalización, ponderación y categorización realizada por el Protocolo del IDEAM, los cuales, a través de expertos en Temas de Gestión del Riesgo y Desastres, aplicaron una matriz AHP jerarquizada obteniendo seis categorías de amenazas, como se indica en la tabla 10:

Tabla 10 Categorización de la amenaza protocolo

Calificación	Categoría	Código RGB
0	Sin Riesgo	255 255 220
1	Muy Baja	169 208 142
2	Baja	0 176 80

3	Moderada	255	180	75
4	Alta	237	125	49
5	Muy Alta	255	0	0
6	Sin información	204	235	252

Fuente: IDEAM, 2011.

Adicional con el fin de estandarizar los mapas y salidas graficas se estableció una simbología con los códigos RGB de la tabla anterior, así mismo esta simbología es característica de mapas de riesgos y amenazas.

Por último, el resultado de la ponderación realizada en el protocolo para hallar la amenaza y la vulnerabilidad, donde la sumatoria total de los pesos asignados a las variables consideradas dentro de la ecuación es igual a 1. las ecuaciones son las siguientes, ecuación 1 y 2.

$$\begin{aligned}
 \text{Amenaza} = & \text{susceptibilidad de la vegetación } X (0,17) + \text{precipitación } X (0,20) \\
 & + \text{temperatura } X (0,20) + \text{pendientes } X (0,07) \\
 & + \text{frecuencia } X (0,10) + \text{accesibilidad } x (0,10) \\
 & + \text{vientos } x (0,10) + \text{radiación solar } x (0,07)
 \end{aligned} \tag{1}$$

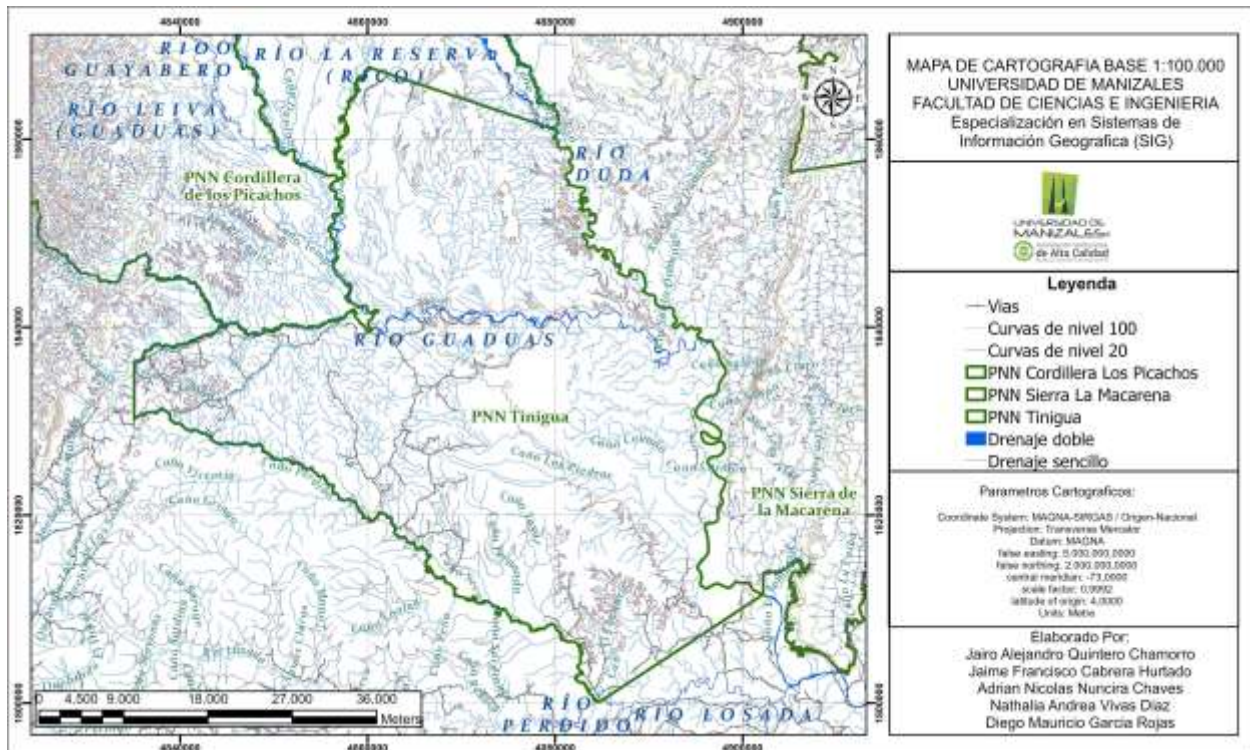
$$\begin{aligned}
 \text{Vulnerabilidad} = & \\
 = & V. \text{institucional } X (0,05) + V. \text{patrimonial } X (0,20) \\
 & + V. \text{poblacional } X (0,31) + V. \text{territorial } X (0,20) \\
 & + V. \text{infraestructura } X (0,06) + V. \text{económica } X (0,18)
 \end{aligned} \tag{2}$$

Es importante mencionar que para el área de estudio solo se utilizó las variables que establece el protocolo del IDEAM, sin incluir variables nuevas, con el fin de poder utilizar estas ecuaciones establecidas en el protocolo.

Generar la cartografía base de la investigación

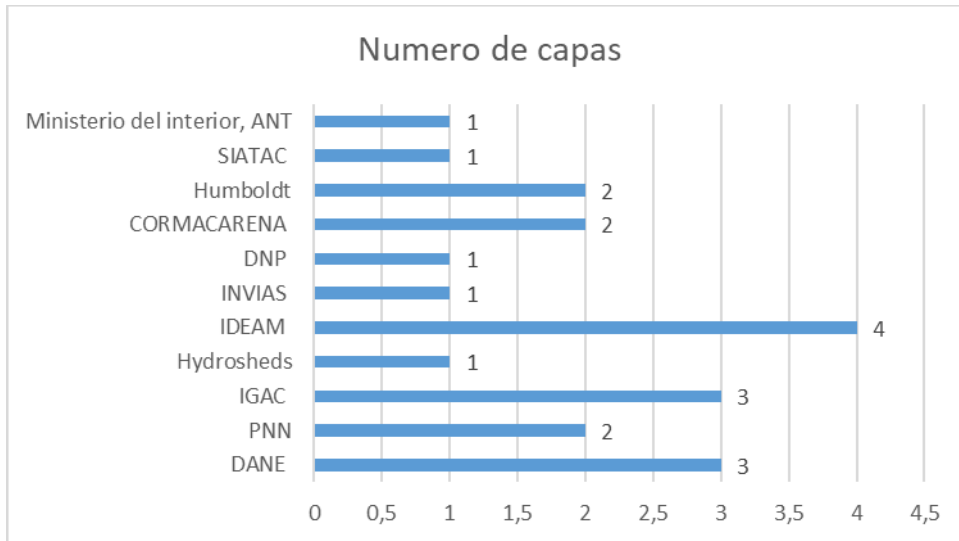
Para este punto se descargó de una plancha del IGAC del PNN Tinigua en una escala 1:250.000, la cual fue recortada al área de estudio, con el fin de poder obtener la información de Cobertura del suelo, Red hidrográfica, Relieve y pendientes, Red vial y Límites administrativos, la plancha se puede apreciar en la figura 4:

Figura 4 Cartografía Base



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Por último, como resultado, se utilizó veintiséis (26) capas de once (11) fuentes oficiales, para obtener la información geoespacial, para la aplicación protocolo de riesgo por incendios forestal, esta información se presenta a detalle en la figura 5:

Figura 5 Número de capas de fuentes oficiales del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Las principales fuentes de información de datos geospaciales son el IDEAM, con un 19,05% de capas oficiales, seguido del IGAC y DANE con un 14,29% cada uno y las otras fuentes representan el 47,63% restante. Es importante destacar que el instituto IDEAM proporciona la información meteorológica oficial y de estudios ambientales, por otro lado, el IGAC es la autoridad geográfica y catastral del país, la cual genera gran parte de la cartografía oficial y por último el DANE es la entidad que proporciona la estadística oficial en Colombia.

Adicionalmente, se tiene información geoespacial a través de la fotointerpretación y digitalización de imágenes satelitales descargadas del programa gratuito SAS Planet, específicamente del satélite Bing a una resolución de 0,59m.

8.2. Fase 2

Se da respuesta al objetivo específico 2: Analizar la amenaza y vulnerabilidad con herramientas SIG de las áreas afectadas por incendios forestales de origen natural y antrópicos.

Análisis de la amenaza

Mapa de tipo de combustible

Una vez realizado el corte con herramientas de geoprocreso en Arcgis Pro de las coberturas de la tierra a escala 1:100.000 al área de estudio, se identificaron las coberturas de la tierra de nivel 3, las cuales fueron proporcionadas por la entidad IGAC en la GDB filtrada y su equivalencia de acuerdo con el protocolo del IDEAM como se observa en la tabla 11:

Tabla 11 Categorización tipo de combustible del protocolo.

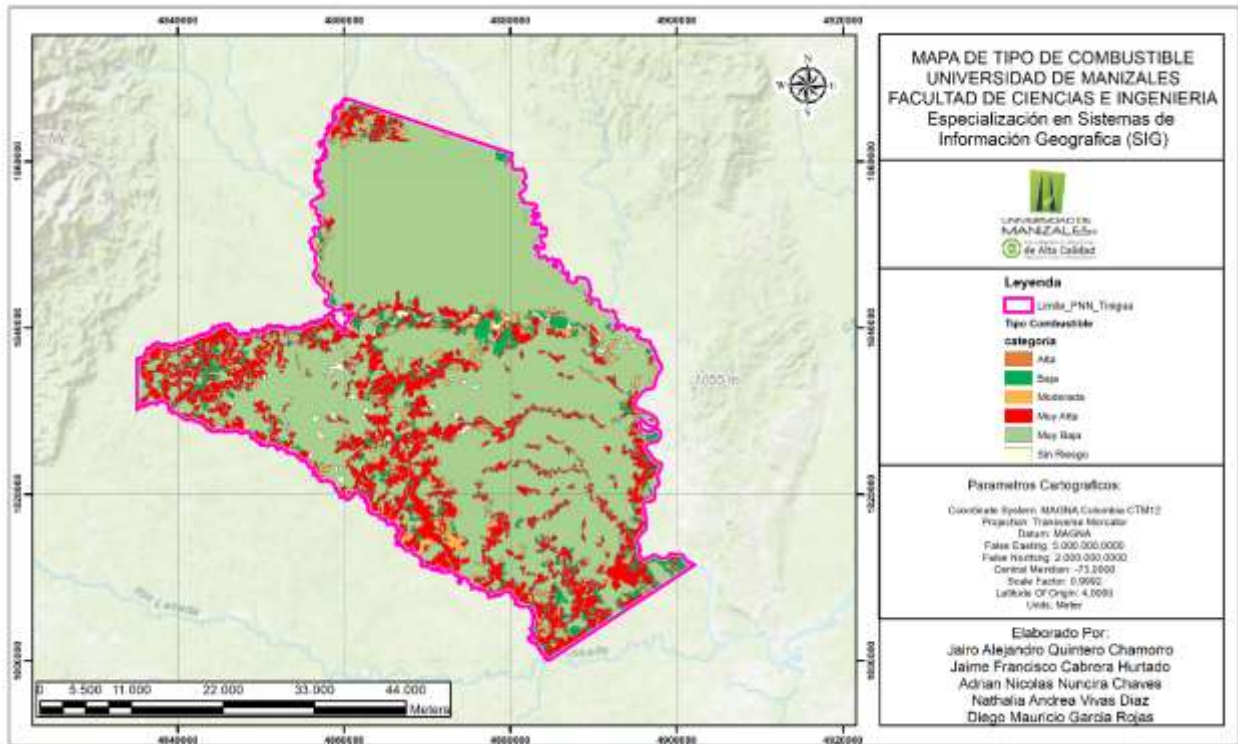
Tipo de cobertura	Tipo de combustible	Clasificación	Categoría de susceptibilidad
Suelos desnudos, roca, nieves perpetuas, cuerpos de agua, zonas urbanas y todas aquellas coberturas no naturales	No combustibles	0	Sin riesgo
Bosques densos y abiertos, altos y bajos	Árboles	1	Muy Baja
Bosques fragmentados	Árboles/arbustos	2	Baja
Arbustales	Arbustos	3	Moderada
Arbustal abierto y herbazal con arbustos y/o arbolado	Arbustos/Hierbas – árboles/hierbas – pastos/hierbas/arbustos/árboles	3	Moderada
Herbazales y cultivos herbaceous	Hierbas/ cultivos herbáceos	4	Alta
Pastos enmalezados	Hierbas – Pastos	5	Muy Alta
Pastos limpios y zonas verdes urbanas	Pastos – zonas verdes urbanas	5	Muy Alta

Fuente: IDEAM, 2011

Una vez defina su equivalencia respecto al tipo de combustible, se realiza una clasificación por medio de la calculadora de campo en ArcGIS Pro para obtener valores entre 0 a

6, los cuales se categorizan para determinar la susceptibilidad y que para área de estudio su resultado estableció categorías sin riesgo en un área aproximada de 3.731 ha equivalente al 1,75%, muy baja en un área aproximada de 14.7869 ha equivalentes al 69,16 %, baja en un área aproximada de 10,016 ha equivalentes al 4,69 %, moderada en un área aproximada de 10,524 ha equivalente al 4,92 % , alta en un área aproximada de 0,902 ha equivalente al 0,00042 % y muy alta en un área aproximada de 41.653 ha equivalentes al 19,48 % , tal y como se observa en la figura 6:

Figura 6 Mapa tipo de combustible del área de estudio



Fuente: elaboración propia, 2025

Mapa de duración de combustibles

Siguiendo con el protocolo del IDEAM, se realiza una reclasificación de las coberturas de la tierra a escala 1:100.000 de nuestra área de estudio, para este proceso se busca establecer un valor equivalente entre las coberturas y el tiempo de duración de estas coberturas, para ello se normaliza la información vectorial de acuerdo con este protocolo y se establecen valores, tal y como se observa en la tabla 12:

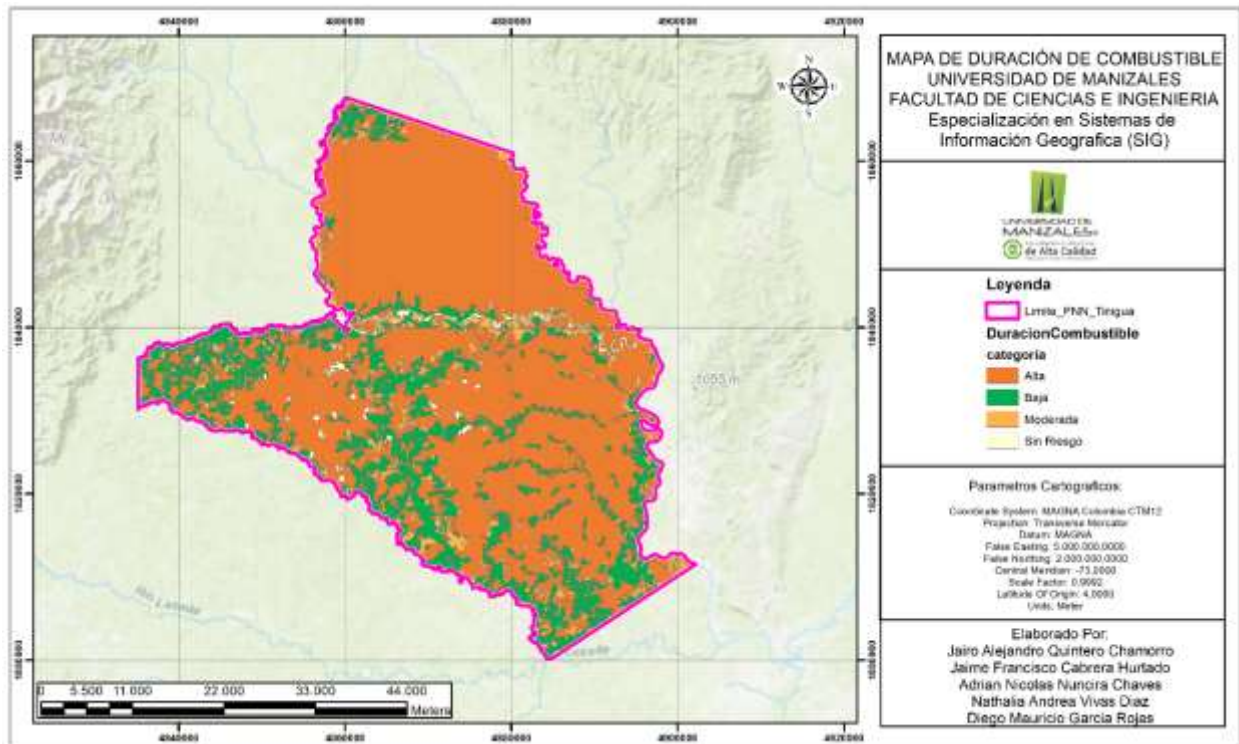
Tabla 12 *Categorización duración de combustible del protocolo*

Tipo de cobertura	Duración de combustible	Clasificación	Categoría de susceptibilidad
Suelos desnudos o degradados, roca, nieves perpetuas, cuerpos de agua, zonas urbanas y todas aquellas coberturas no naturales	No combustibles	0	Sin riesgo
Zonas verdes urbanas / pastos limpios	1 hora	1	Baja
Herbazales / cultivos herbáceos / pastos enmalezados	1 hora	1	Baja
Arbustal abierto / herbazal con arbustos y/o arbolado	10 horas	2	Moderada
Arbustales / mosaicos con espacios naturales	10 horas	2	Moderada
Bosques fragmentados	100 horas	3	Alta
Bosques densos y abiertos, altos y bajos	100 horas	3	Alta
Zonas en las que no se tiene información por presencia de nubes o sombras)	Sin información	6	Sin información

Fuente: IDEAM, 2011

De acuerdo a lo anterior, se realiza la reclasificación en la calculadora de campo para obtener valores de duración en tiempo, clasificación con rangos entre 0 y 6, y se determina la categoría de susceptibilidad, que para nuestra área de estudio su resultado indica que 151.230 ha equivalentes al 70,74 % corresponden a zonas con alta susceptibilidad, 17.754 ha equivalentes al 8,30 % se ubican en zonas con susceptibilidad moderada, 41.078 ha equivalentes al 19,21 % corresponden a zonas con susceptibilidad baja y 3.731 ha equivalentes al 1,75 % se localizan en zonas sin riesgo, lo anterior se puede observar en la figura 7:

Figura 7 Mapa de duración de combustibles del área de estudio



Fuente: elaboración propia, 2025

Mapa de carga de combustible

Para generar este mapa, se utilizó información de Coberturas de la Tierra a escala 1:100.000.

Siguiendo el protocolo establecido por el IDEAM, se realizó la reclasificación de los tipos de cobertura de la tierra basada en la clasificación Corine Land Cover en las categorías de nivel 3,

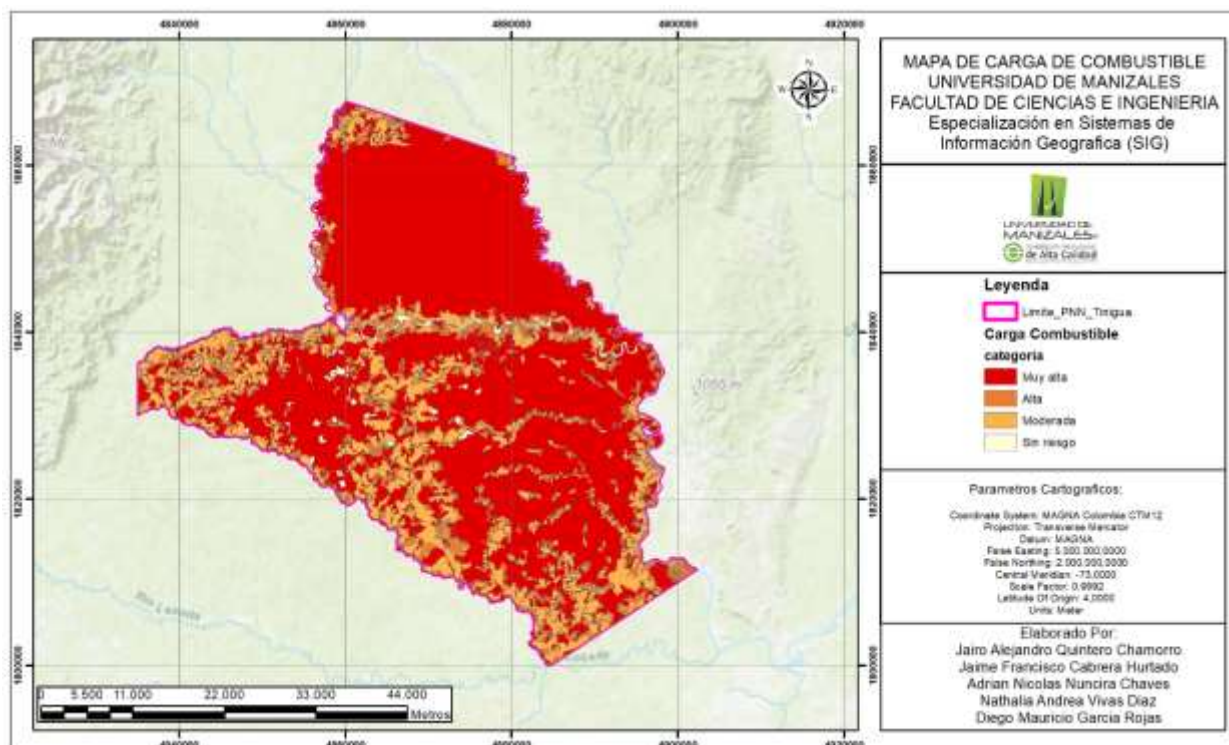
considerando las coberturas que son predominantes en el área de estudio. Se asignaron valores de carga de combustible según el anexo 2 del protocolo, que se presenta en la siguiente tabla 13:

Tabla 13 *Clasificación Carga de Combustible protocolo*

Tipo de cobertura	Carga de combustible	Clasificación	Categoría de susceptibilidad
Suelos desnudos o degradados, roca, nieves perpetuas, cuerpos de agua, zonas urbanas y todas aquellas coberturas no naturales	No combustible	0	Sin riesgo
zonas verdes urbanas	<1 ton/ha	1	Baja
Herbazales / cultivos herbáceos / pastos enmalezados / pastos limpios	1-50 ton/Ha	2	Moderada
Arbustal abierto y herbazal con arbustos y/o arbolado	50 a 100 ton/Ha	3	Alta
Arbustos	50 a 100 ton/ha	3	Alta
Bosques fragmentados	>100 ton/ha	4	Muy Alta
Bosques densos y abiertos, altos y bajos	>100 ton/ha	4	Muy Alta
Sin información (zonas en las que no se tiene información por presencia de nubes o sombras)	Sin información	6	Sin información

Fuente: IDEAM, 2011

Al aplicar la reclasificación descrita en los cuadros mediante el uso de herramientas SIG, fue posible identificar áreas críticas en términos de susceptibilidad dentro del área de estudio, tal como se ilustra en la figura 8:

Figura 8 Mapa carga de combustible en el área de estudio

Fuente: elaboración propia, 2025

Este proceso permitió destacar las zonas con mayor carga de combustible, clasificadas en categorías muy alta con un 70,7 % y alta con un 8,0 %, abarcando un área de 151229,84ha. Así mismo, se clasificó zonas con categoría moderada, con 41653,51ha de área y un porcentaje de 19,5 % y finalmente, se identificaron aquellas áreas Sin riesgo, las cuales abarcan un área de 3731,08 ha con un porcentaje de 1,7 %, a continuación, se presentan los resultados de este análisis en la tabla 14:

Tabla 14 Clasificación Carga de Combustible en el área de estudio

Tipo de cobertura	Carga de combustible	Clasificación	Categoría de susceptibilidad
3.1.4. Bosque de galería y ripario	>100 ton/ha	4	Muy alta

3.1.3. Bosque fragmentado	>100 ton/ha	4	Muy alta
3.1.1. Bosque denso	>100 ton/ha	4	Muy alta
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	50-100 ton/ha	3	Alta
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	50-100 ton/ha	3	Alta
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	50-100 ton/ha	3	Alta
2.3.1. Pastos limpios	1-50 ton/ha	2	Moderada
2.3.3. Pastos enmalezados	1-50 ton/ha	2	Moderada
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	1-50 ton/ha	2	Moderada
3.2.1. Herbazal	1-50 ton/ha	2	Moderada
3.3.4. Zonas quemadas	No combustibles	0	Sin riesgo
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustibles	0	Sin riesgo
5.1.1. Ríos	No combustibles	0	Sin riesgo

Fuente: elaboración propia, 2024.

8.2.5 Mapa de susceptibilidad de la vegetación a incendios

Luego de generar las calificaciones y mapas de tipo, duración y carga de combustible se procedió a realizar la suma descrita en la ecuación (3), esto es posible debido a que las tres capas tienen la misma geometría en el polígono PNN Tinigua (IDEAM, 2014, p.35)

$$SUSC = CAL(tc) + CAL(dc) + CAL(ct) \tag{3}$$

Donde:

SUSC: Susceptibilidad total de la vegetación (susceptibilidad bruta)

CAL(tc): Calificación por tipo de combustible

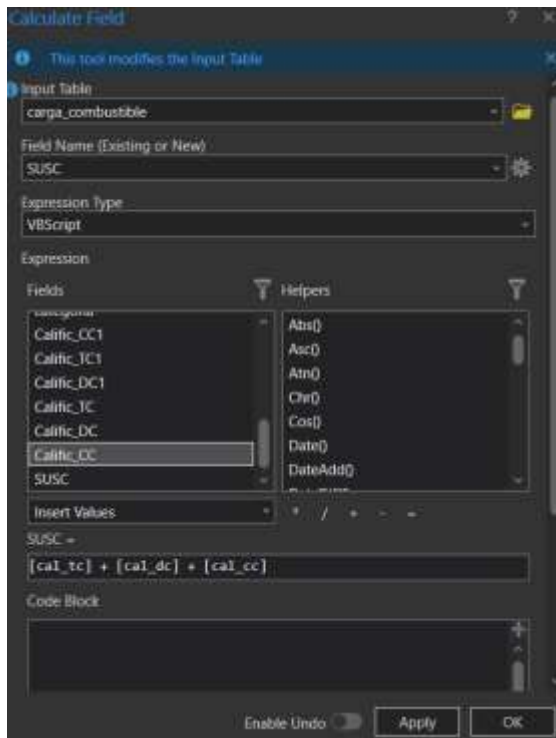
CAL(dc): Calificación de la duración de los combustibles

CAL(ct): Calificación de la carga total de combustibles

En el presente trabajo no se tiene en cuenta la variable de humedad. En el proceso desarrollado en ArcGIS Pro se inició con una unión de las tres capas (Join Field), seguidamente

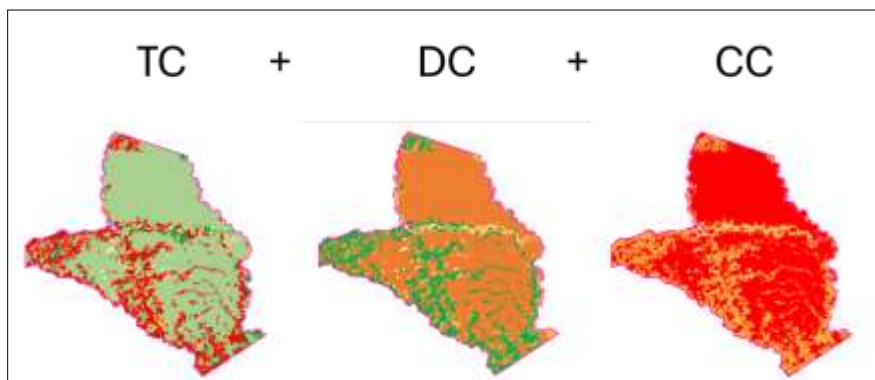
se realizó la suma descrita en la ecuación anterior usando la herramienta Field Calculator, ver la figura 9. En la figura 10 se presenta gráficamente la suma realizada con las capas “*Tipo de Carga, Duración de Carga y Carga de combustible*”.

Figura 9 Suma de susceptibilidad total de la vegetación



Fuente: elaboración propia, 2025.

Figura 10 Esquema de la suma realizada susceptibilidad



Fuente: elaboración propia, 2025.

Luego, siguiendo el protocolo del IDEAM (2014), el resultado obtenido se agrupa en 5 niveles de calificación mediante una distribución de frecuencias o normalización, a cada grupo se le asigna una calificación que varía entre 0 (rango menor) y 5 (rango mayor) a estas calificaciones se les asignan las categorías de susceptibilidad así: sin riesgo (valor 0) hasta muy alta (valor 5), (Arias, 2016, p.29; IDEAM, 2014, p.35), ver la ecuación (4) y la tabla 15:

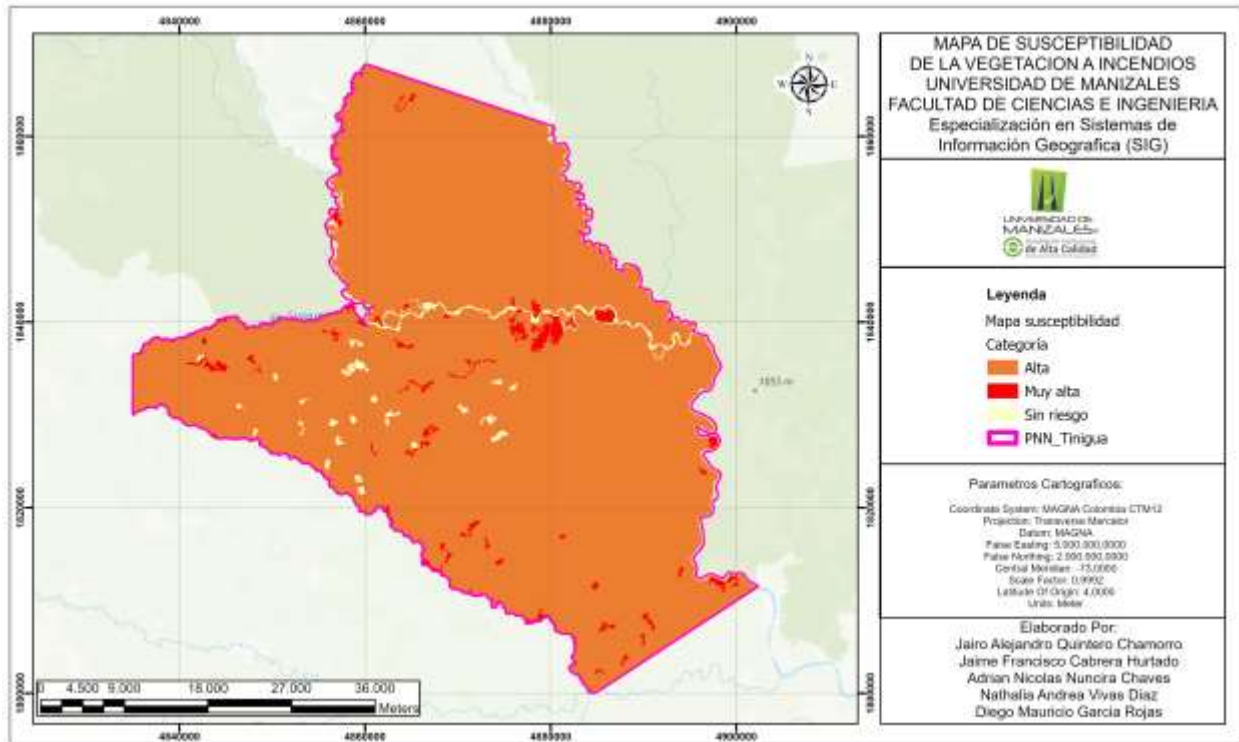
$$Normalizacion = \frac{Valor\ de\ la\ variable - valor\ mínimo}{Valor\ máximo - valor\ mínimo} * 5\ Categorías \quad (4)$$

Tabla 15 Clasificación susceptibilidad de la vegetación a incendios

Resultado suma tc-dc-cc	Normalización	Categoría susceptibilidad
0	0,0	Sin riesgo
7	3,9	Alta
8	4,4	Alta
9	5,0	Muy alta

Fuente: elaboración propia, 2025

En la figura 11 se presenta el resultado del mapa de susceptibilidad.

Figura 11 Mapa de susceptibilidad de la vegetación a incendios

Fuente: elaboración propia, 2025

Mapa de precipitación

Para poder determinar las categorías de amenazas por precipitación en la zona de estudio, se utilizó la información cartográfica presentada en la capa de precipitación media anual al 2012 desarrollado por el IDEAM. El cual se reclasifica teniendo en cuenta el protocolo y se establecen los valores de las categorías de las amenazas según la tabla 16:

Tabla 16 Categorización de la amenaza de Precipitación

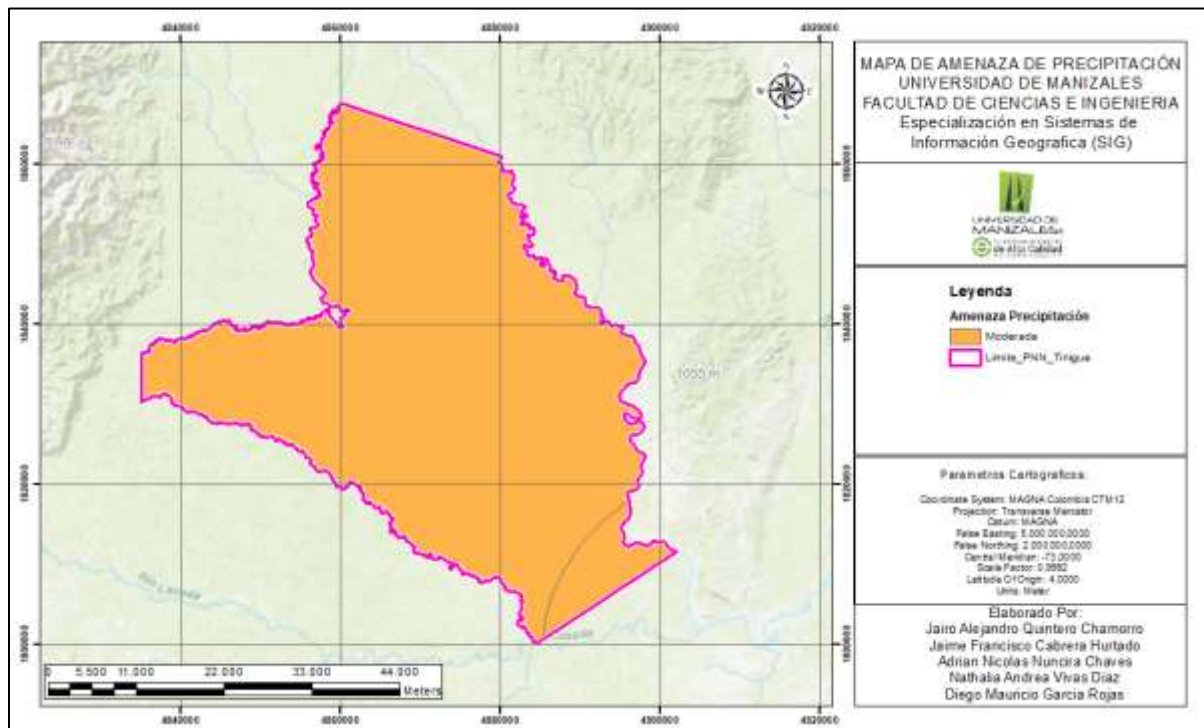
Precipitación media anual (mm)	Calificación precipitación	Categoría de amenaza
>7000	1	Muy baja
3000 – 7000	2	Baja
2000 – 3000	3	Moderada
1000 – 2000	4	Alta

0 – 1000	5	Muy alta
----------	---	----------

Fuente: IDEAM, 2011

Una vez reclasificada la información de la precipitación anual se procede a calcular las áreas de las categorías de amenazas, obteniendo que para dentro de la zona de estudio se encuentran precipitaciones anuales entre 2000-3000 mm, lo que ocupa el total del área del parque, esto significa que en la totalidad del área de estudio se tiene una categoría de amenaza moderada en cuento a la amenaza de la precipitación. En la figura 12 se observa el con los resultados:

Figura 12 Mapa de amenaza por precipitación en el área de estudio



Fuente: elaboración propia, 2025

Mapa de temperatura

Del mismo modo se obtiene la información cartográfica presentada en la capa de “Temperatura media anual promedio multianual de 1981 al 2010” desarrollada por el IDEAM. Con la cual se determinan las amenazas por temperatura, teniendo en cuenta la tabla 17:

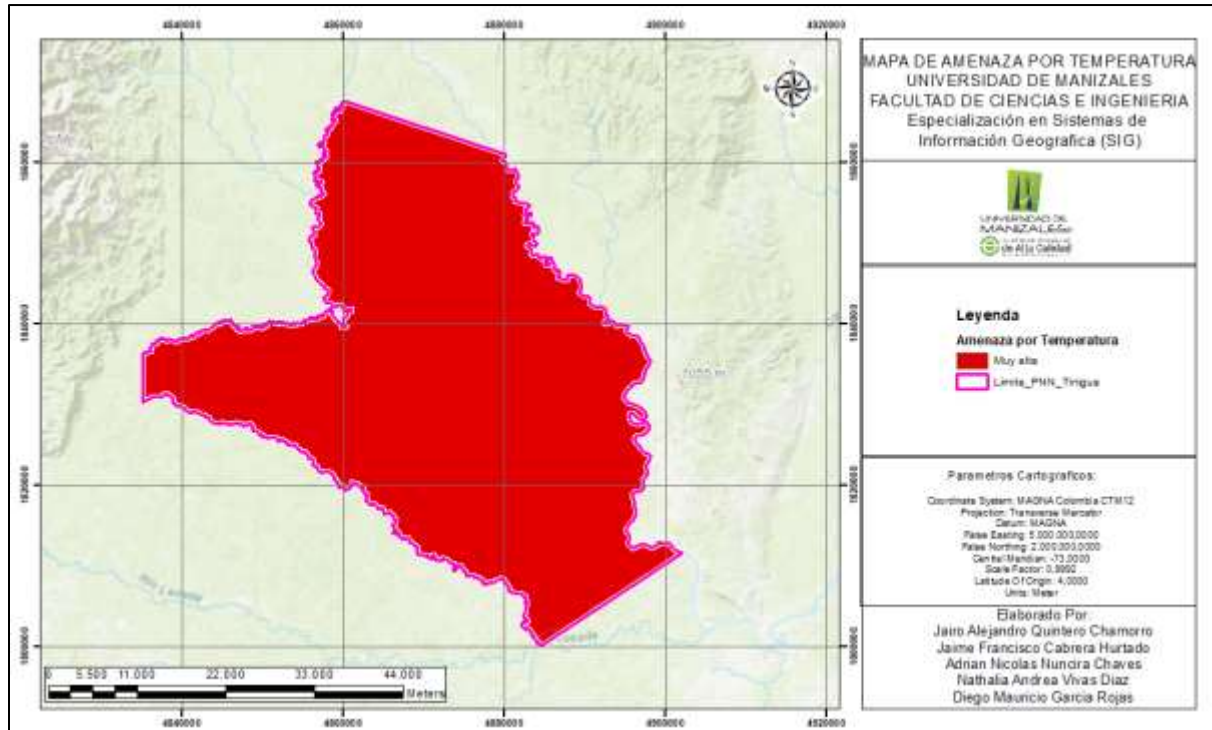
Tabla 17 *Categorización de amenazas por temperatura*

Temperatura Media Anual (Mm)	Calificación temperatura	Categoría de amenaza
<6°	1	Muy baja
6° - 12°	2	Baja
12° - 18°	3	Moderada
18° - 24°	4	Alta
>24°	5	Muy alta

Fuente: IDEAM, 2011

En este caso se observa gracias a la información obtenida, que el promedio de temperatura en el parque natural se encuentra por encima de los 24°C, siendo esta entre 24 a 28 grados centígrados, por lo que se categoriza como una amenaza muy alta. Esto se puede corroborar en la figura 13:

Figura 13 Mapa de amenaza por temperatura en el área de estudio



Fuente: elaboración propia, 2025

Mapa de radiación

Para lograr determinar las categorías de amenazas asociadas a la radiación solar, se llevó a cabo un análisis utilizando la información cartográfica titulada “Radiación global promedio multianual”, que fue desarrollada por el IDEAM, reclasificando la información del área de estudio según la tabla 18:

Tabla 18 Categorización de la amenaza de Radiación

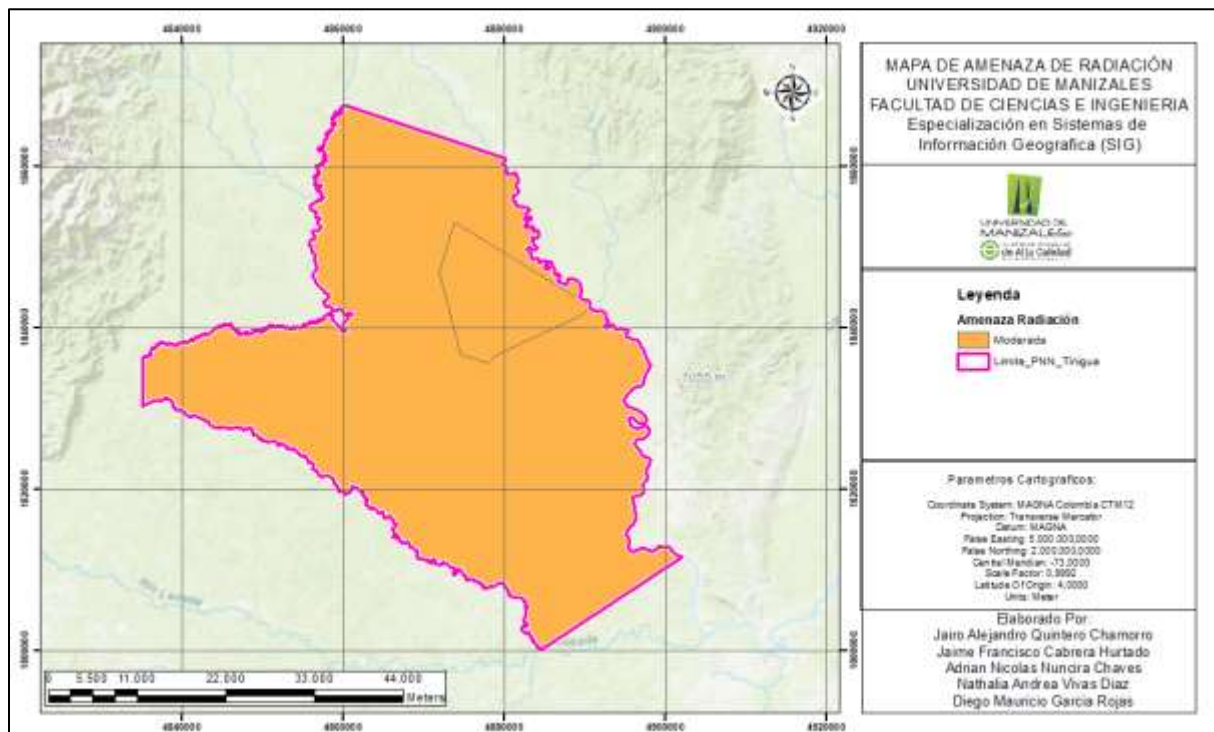
Radiación media anual (KWh/m2/año)	Calificación radiación	Categoría de amenaza
<3,0	1	Muy baja
3,0 – 4,0	2	Baja

4,0 – 5,0	3	Moderada
5,0 – 6,0	4	Alta
>6,0	5	Muy alta

Fuente: IDEAM, 2011

Gracias a esto se estima que la totalidad del área de estudio presenta una radiación media entre 4.0 a 5.0 KWh/m²/año, por lo que se obtiene una categorización de amenaza moderada. En la figura 14 se observa la categorización:

Figura 14 Mapa de amenaza por radiación en el área de estudio



Fuente: elaboración propia, 2025

Mapa de viento

En cuanto a la amenaza por vientos, se utiliza la información cartográfica presentada en la capa de “Velocidad del viento anual a 10 metros promedio multianual 1981 al 2010”

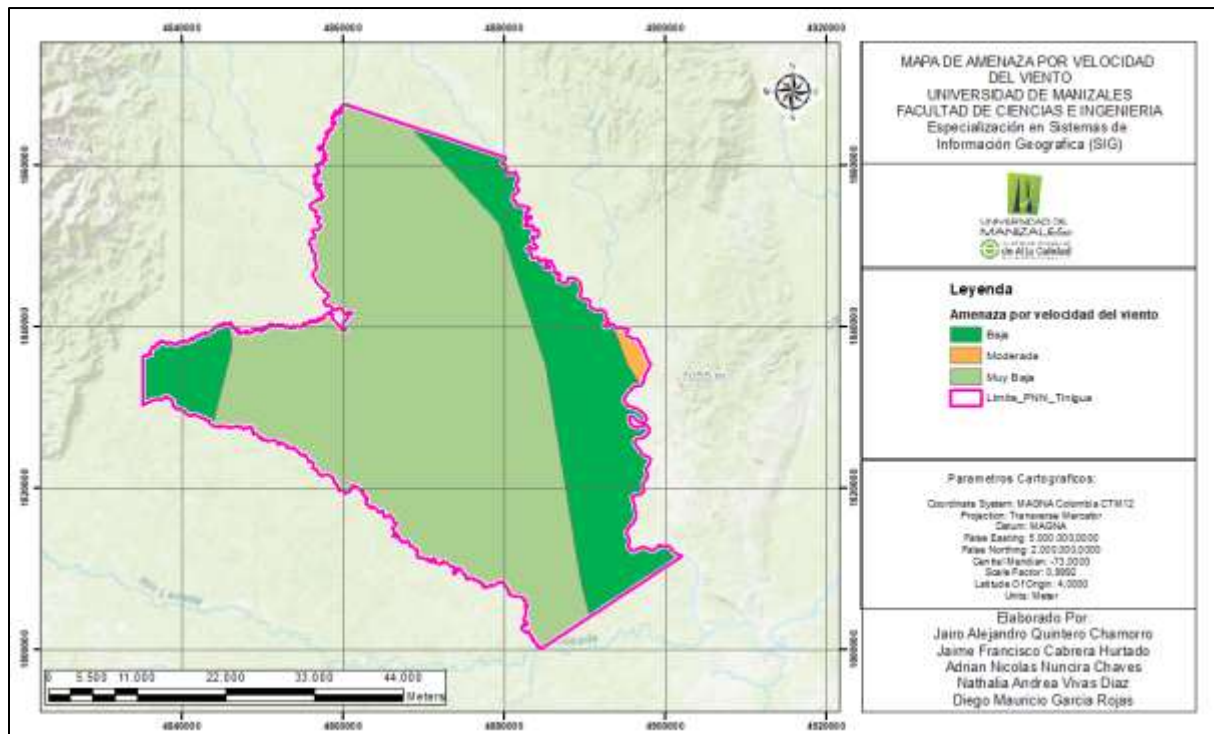
desarrollada por el IDEAM. Y se procede al igual que las demás variables climáticas clasificando los valores con la tabla 19:

Tabla 19 *Categorización de la amenaza por Velocidad del viento*

Velocidad media multianual del viento (m/s)	Calificación vientos	Categorización de amenaza
<2,0	1	Muy baja
2,0 – 3,0	2	Baja
3,0 – 4,0	3	Moderada
4,0 – 5,0	4	Alta
>5,0	5	Muy alta

Fuente: IDEAM, 2011

Para este caso se observa que dentro del área de estudio existen tres tipos de categorías diferentes, en primer lugar, se cuenta con un área de 56.657,91 hectáreas categorizadas como amenaza baja debido a que presenta velocidades medias entre 2 a 3 m/s, a su vez, se obtiene una categoría de amenaza media, que representa las velocidades medias entre 3 a 4 m/s y ocupa un área de 1546,01 hectáreas y por último se observa que la mayoría del área del parque presenta una categoría muy baja, siendo esta la velocidad media menores a 2 m/s y ocupa un total de 157.082,25 hectáreas del área de estudio. Esta categorización se puede observar en la figura 15:

Figura 15 Mapa de amenaza por velocidad del viento en el área de estudio

Fuente: elaboración propia, 2025

Mapa de pendiente

Para obtener el mapa de pendiente, se utilizó un Modelo Digital de Elevación - DEM de resolución espacial de 12,5 m, el cual se obtuvo de la base de datos corporativas de CORMACARENA, el procesamiento se realizó con base al Protocolo del IDEAM, donde se clasifico y categorizo de acuerdo con la tabla 20:

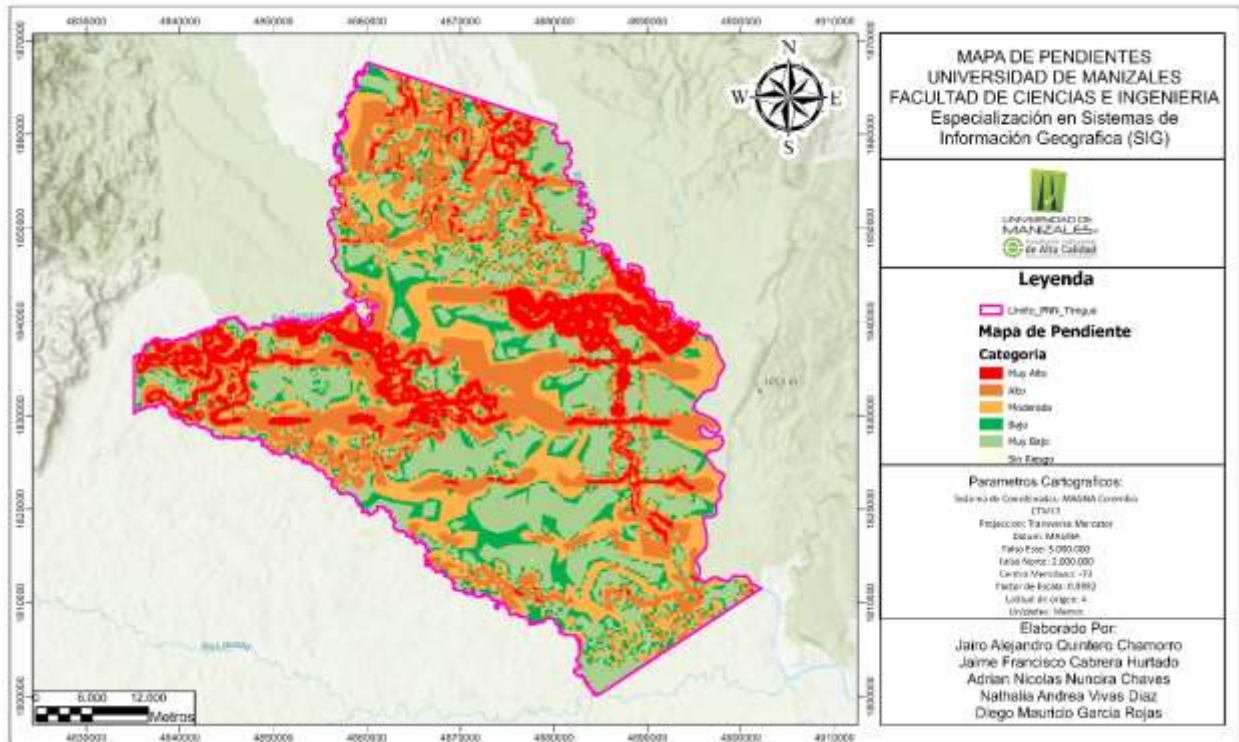
Tabla 20 Categorización de la amenaza de pendiente

Grados de pendientes	Clasificación Pendiente (%)	Calificación Pendiente	Categorización de amenaza
0 – 3,15	0-7	1	Muy baja
3,16 – 5,40	7-12	2	Baja

5,41 – 11,25	12-25	3	Media
11,26 -33,75	25-75	4	Alta
>33,76	>75	5	Muy alta

Fuente: IDEAM, 2011

Para este caso se observa que dentro del área de estudio existen seis tipos de categorías diferentes, donde la primera indica una categoría con amenaza sin riesgo con un área de 4,92 la cual representa un 0,002% , en segundo lugar una categoría con amenaza muy baja con un área de 44936,96 ha la cual representa un 21,70% es decir pendientes de 0 – 3,15 grados, en tercer lugar esta la categoría con amenaza baja con un área de 24335,58 ha, la cual representa un 11,75% es decir pendientes de 3,16 – 5,40 grados, en cuarto lugar una categoría con amenaza moderada con un área de 43835,49 ha la cual representa un 21,17% es decir pendientes de 5,41 – 11,25, en quinto lugar una categoría con amenaza alta con un área de 58849,96 la cual representa un 28,42% es decir pendientes de 11,26-33,75 grados y por ultimo una categoría de amenaza muy alta con un área de 35067,06, la cual representa un 16,93% es decir pendientes mayores a 33,76 grados. Esta categorización se puede observar en la figura 16:

Figura 16 Mapa de pendientes en el área de estudio

Fuente: elaboración propia, 2025

Mapa de histórico

Una vez obtenido los valores de índice de frecuencia de incendios forestales, ver tabla 31 para un periodo de 10 años dentro del PNN Tinigua entre los años 2014 y 2023, y con base en la categorización definida en el protocolo del IDEAM para determinar zonas de amenaza susceptibles a incendios forestales según y como lo muestra en la tabla 21:

Tabla 21 Categorización de susceptibilidad a incendios forestales

Histórico (incendios por periodo de 10 años)	Calificación	Categoría de susceptibilidad
En esta columna se introducen los valores de los rangos establecidos a	1	Muy baja
	2	Baja

partir de la distribución de	3	Media
frecuencias de los valores obtenidos	4	Alta
a partir del cálculo del índice de	5	Muy alta
frecuencia de incendios		

Fuente: IDEAM, 2011

De acuerdo con la información aportada PNN, en donde se pudo estimar el número de eventos de incendios forestales y su frecuencia en un rango de 10 años, se evidencio que, el año con mayores eventos fue el año 2022 con 7.515 incendios y el año con menor cantidad de eventos fue el año 2015 con 25 incendios, tal y como se observa en la tabla 22:

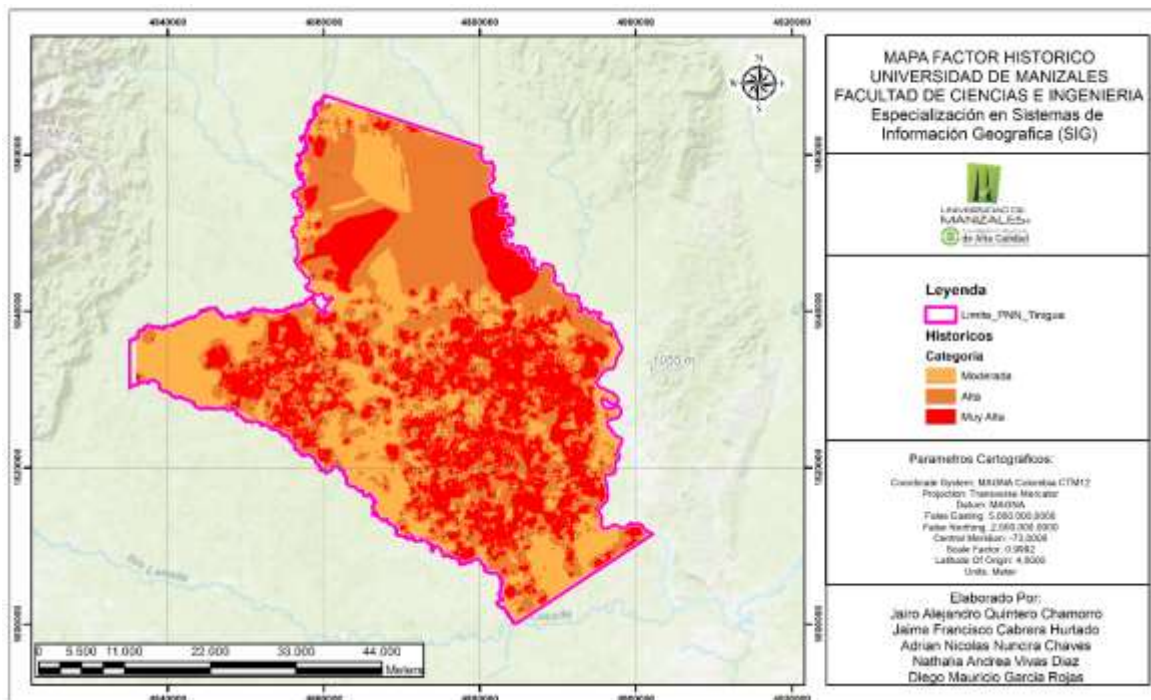
Tabla 22 *Frecuencia de eventos históricos*

Año	Frecuencia	Fi
2014	153	15,30
2015	25	2,50
2016	253	25,30
2017	297	29,70
2018	1448	144,80
2019	975	97,50
2020	3384	338,40
2021	1378	137,80
2022	7515	751,50
2023	83	8,30

Fuente: PNNC 2014

Del mapa de históricos se tiene que la categoría “Moderada” cubre un área de 54488.025 ha equivalentes al 26.52% del territorio, la categoría “Alta” cubre un área de 88281.558 ha equivalentes al 41.44% del territorio y por último la categoría “Muy alta” con un área de 68248.546 ha que representan 32.04% del área de estudio. Este resultado se observa a continuación en la figura 17:

Figura 17 Mapa factor histórico en el área de estudio



Fuente: elaboración propia, 2025

Mapa de distancia a la vía

Para generar el mapa de distancia a la vía, se realiza un análisis con herramientas de proximidad como el “buffer” para determinar la cercanía de la población a las áreas de cobertura vegetal y así determinar su amenaza a accesibilidad. Este análisis se realiza desde dos aspectos:

1. Distancia a la vía (cercanía de las vías a las áreas con distintas coberturas)
2. Densidad vial (Kilómetros de vías por unidad de superficie).

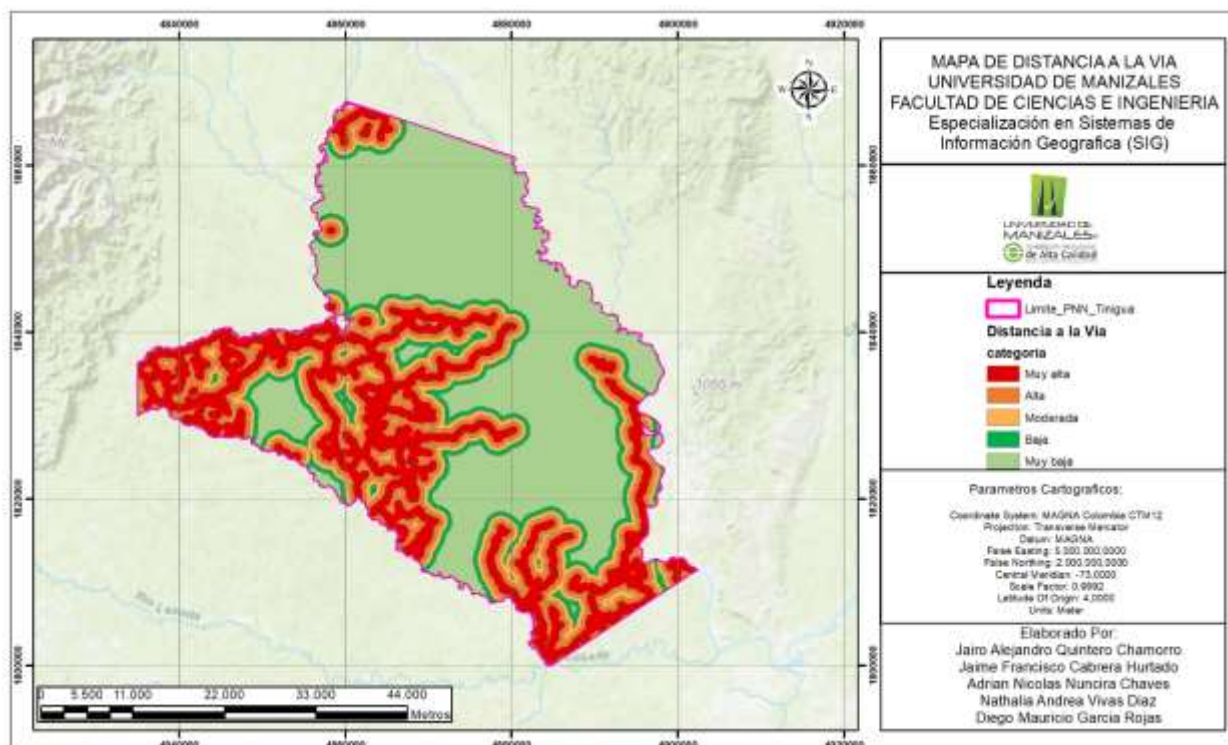
Inicialmente se utilizó una capa de vías que incluye vías terciarias. A partir de esto, se generaron los buffers o zonas de influencia alrededor de las vías, con un ancho de 500 metros de lado a lado, con base en la distancia a la vía, se dividieron en los siguientes rangos y se realizó la calificación correspondiente a la tabla 23:

Tabla 23 *Clasificación Distancia a la vía protocolo*

Distancia a la Vía (Ancho del Buffer en Metros)	Clasificación	Categoría de amenaza
0 – 500	5	Muy alta
500 – 1000	4	Alta
1000 – 1500	3	Moderada
1500 – 2000	2	Baja
>2000	1	Muy Baja

Fuente: IDEAM, 2011

Una vez aplicada esta clasificación por medio de herramientas SIG, se logró identificar que con una proximidad directa a la vía de 0 a 500 metros se ubica en amenaza muy alta con un área de 48921,93ha, para el rango de distancia a la vía de 500 a 1000 metros, se presenta una amenaza alta cubriendo un área de 30631,45ha, la categoría de amenaza moderada, correspondiente al rango de distancia de 1000 a 1500 metros comprende una extensión de 20105,90ha, asimismo, en las áreas con amenaza Baja que abarcan 14768,69ha y finalmente, las áreas con amenaza Muy Baja ubicadas a más de 2000m de distancia, cubren una superficie considerable de 99229,88ha. A continuación, se observa el resultado en la figura 18:

Figura 18 Mapa Distancia a la vía en el área de estudio

Fuente: elaboración propia, 2025

Mapa de densidad vial

Para obtener los resultados del mapa de densidad vial, se clasifico y categorizo las distancias por unidad de área, como se aprecia en la tabla 24:

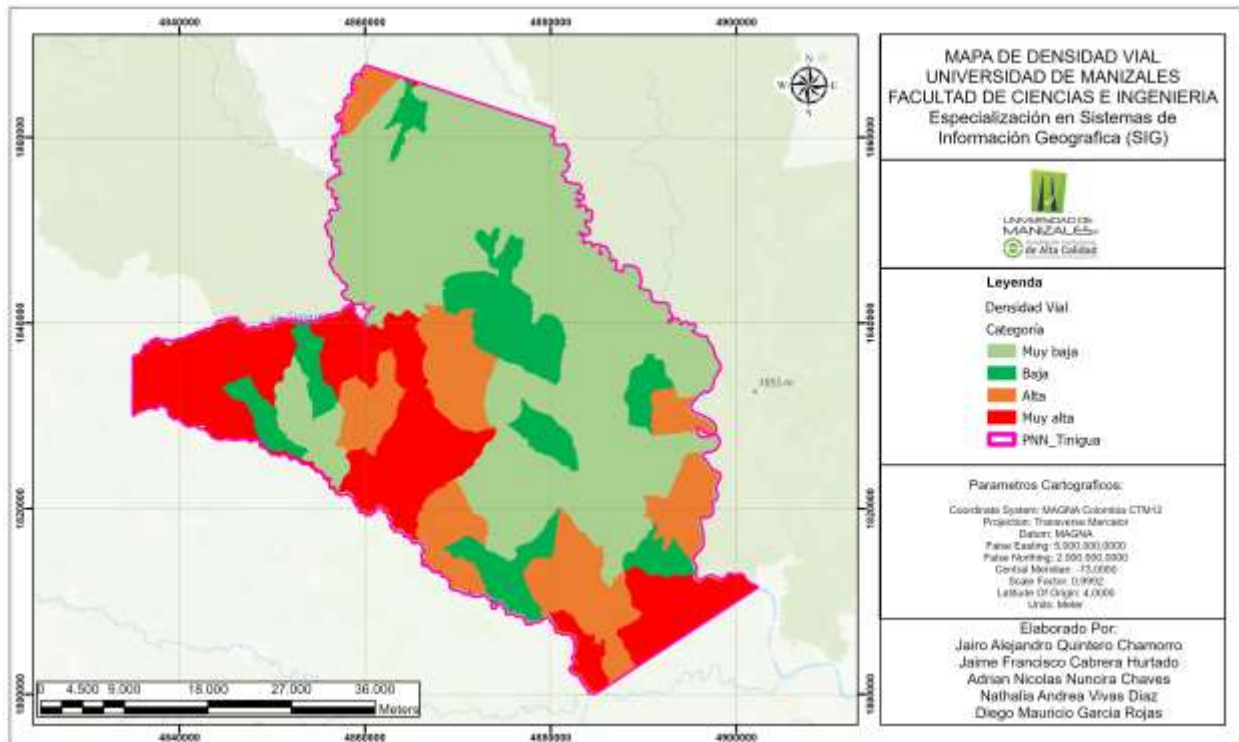
Tabla 24 Resultados mapa de densidad vial

Rangos (km/ unidad de área)	Clasificación	Categoría de amenaza
< 0,136	5	Muy baja
0,136 - 0,273	4	Baja
0,273	3	Media
0,273 - 0,546	2	Alta
> 0,546	1	Muy alta

Fuente: elaboración propia, 2025

El mapa de densidad vial presenta que 103,456.47 hectáreas con un 48.33%, se encuentra en la categoría muy baja frente a la densidad vial, seguido de 44,545.92 hectáreas con un 20.81% en categoría muy alta, por otro lado, un 37,075.96 hectáreas con 17,22% en categoría alta. Por su parte, la categoría baja tiene 28,970.32 hectáreas con 13.53% y por último en la categoría moderada no se registra ningún área. En la figura 19 se presenta el mapa de densidad vial que se obtuvo como resultado:

Figura 19 Mapa Densidad Vial en el área de estudio



Fuente: elaboración propia, 2025

Mapa de amenaza

A partir de los diferentes variables y factores se analizó la amenaza de las áreas afectadas por incendios forestales en el PNN Tinigua, obteniendo como resultado que el 97,52% del área

de estudio se encuentra en las categorías de amenaza alta (54,04%) y muy alta (43,48%), como se evidencia en la tabla 25:

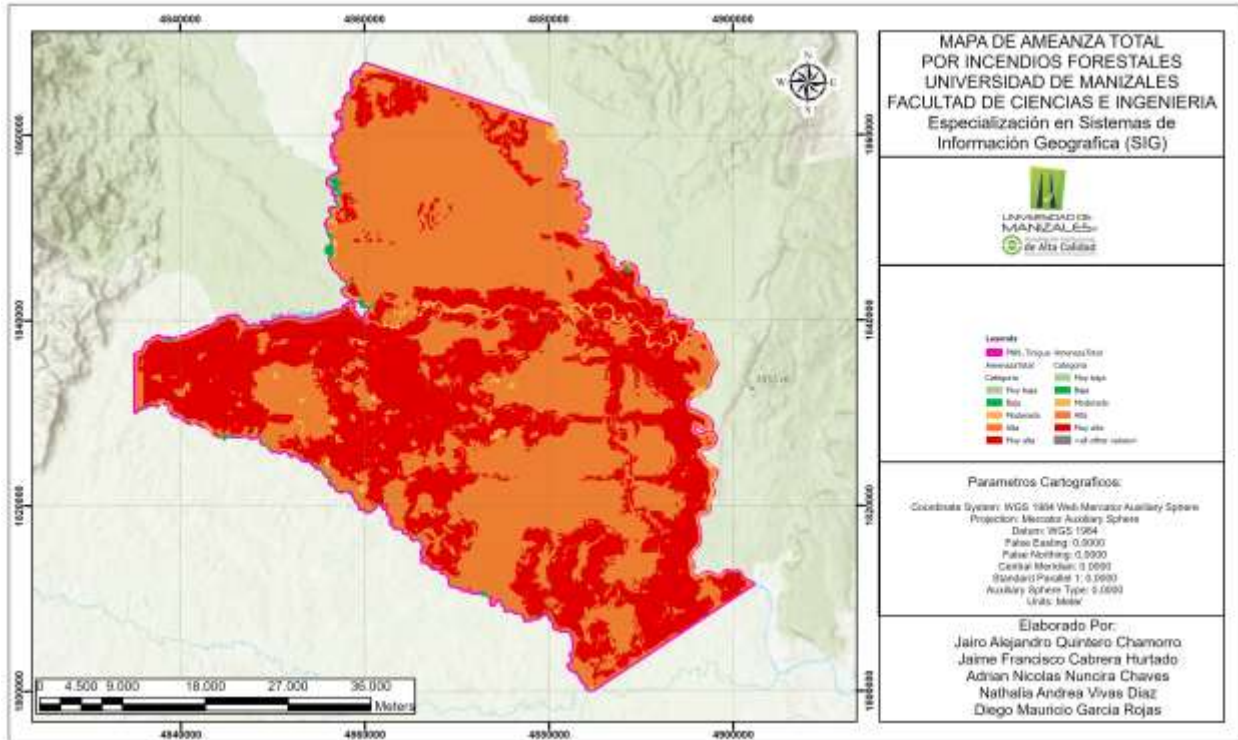
Tabla 25 Resultados mapa de amenaza

Ponderación	Calificación	Categoría	Área [ha]	Porcentaje [%]
0.0 - 1.1	1	Muy baja	222,18	0,10
1.2 - 2.4	2	Baja	1238,26	0,57
2.5 - 3.6	3	Moderada	3902,85	1,81
3.7 - 4.2	4	Alta	116580,61	54,04
4.3 - 5.0	5	Muy alta	93796,36	43,48

Fuente: elaboración propia, 2025

Los resultados de la tabla de amenaza muestran que la categoría de amenaza "Muy baja" abarca 222,18 hectáreas, lo que representa el 0,10 % del área total. La categoría "Baja" ocupa 1238,26 hectáreas, equivalentes al 0,57 %. En cuanto a la categoría "Moderada", esta se extiende sobre 3902,85 hectáreas, lo que corresponde al 1,81 % del total. Por su parte, la categoría "Alta" es la más extensa, cubriendo 116.580,61 hectáreas y representando el 54,04 % del área. Finalmente, la categoría "Muy alta" abarca 93.796,36 hectáreas, equivalentes al 43,48 %. Estos resultados destacan que las áreas clasificadas con amenazas "Alta" y "Muy alta" dominan ampliamente el área de estudio. A continuación, se presenta el resultado en la figura 20:

Figura 20. Mapa de amenaza en el área de estudio.



Fuente: elaboración propia, 2025

Análisis de la vulnerabilidad

Mapa de vulnerabilidad poblacional

El mapa de vulnerabilidad poblacional se clasificó y categorizo de acuerdo con la tabla

26:

Tabla 26 Categorización vulnerabilidad poblacional

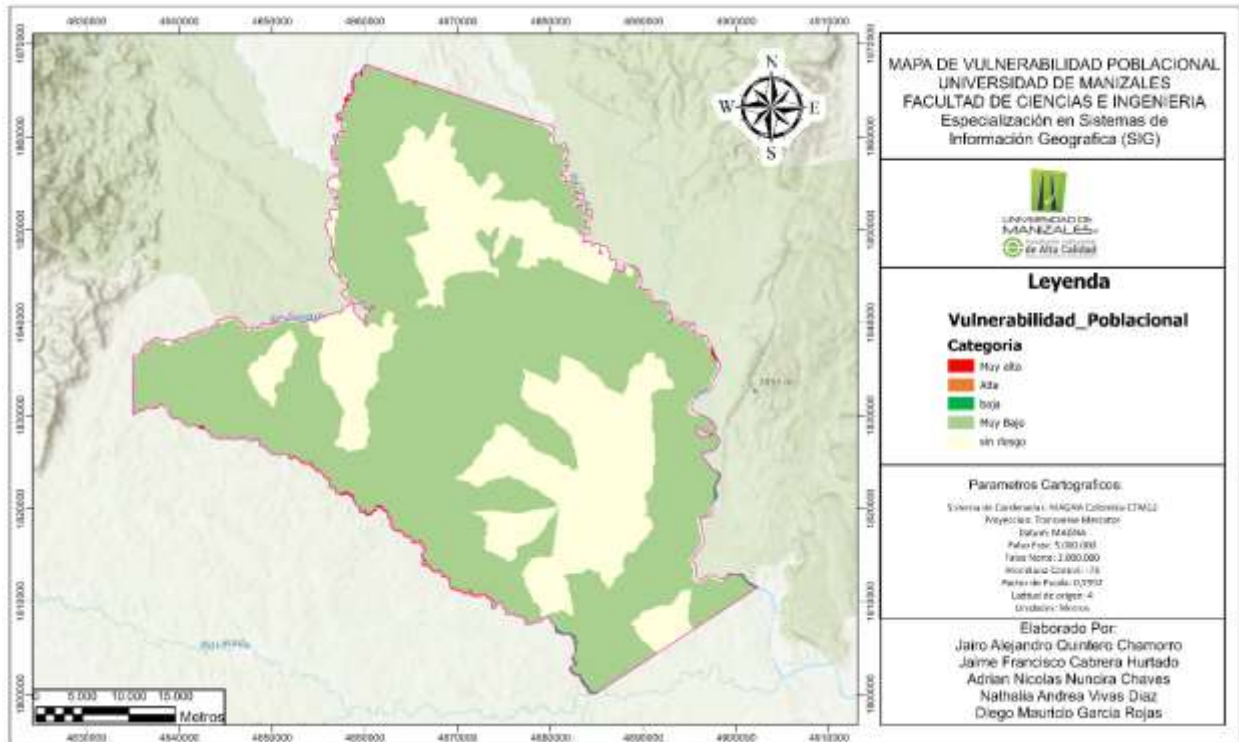
Rangos de densidad poblacional	Rangos de población	Calificación	Categoría de susceptibilidad
Sin población	En esta columna van los rangos establecidos para	0	Sin riesgo
< ½ del promedio de la corporación	la clasificación de la	1	Muy Baja

De ½ al promedio de la corporación	densidad poblacional de acuerdo con los valores de	2	Baja
Promedio de la corporación	densidad planteados en la primera columna	3	Moderada
Promedio de la corporación al doble de este		4	Alta
Al doble del promedio de la corporación		5	Muy alta

Fuente: IDEAM, 2011

Para este mapa se obtuvo cinco tipos de categorías diferentes, donde la primera indica una categoría con amenaza sin riesgo con un área de 62161,02 ha la cual representa un 29,07% , en segundo lugar una categoría con amenaza muy baja con un área de 150835,37 ha la cual representa un 70,55%, en tercer lugar esta la categoría con amenaza baja con un área de 241,98 ha, la cual representa un 0,11%, en cuarto lugar una categoría con amenaza alta con un área de 380,61 ha la cual representa un 0,17% y por último lugar una categoría con amenaza alta con un área de 177,03 la cual representa un 0,08% Este resultado se puede visualizar en la figura 21:

Figura 21 Mapa de vulnerabilidad poblacional en el área de estudio



Fuente: elaboración propia, 2025

Mapa de colindancia

Para el mapa de susceptibilidad de la vegetación, siguiendo el protocolo IDEAM (2014, p.51), se realiza la clasificación y asignación de simbología correspondiente en la tabla 27:

Tabla 27 Resultados mapa de colindancia

Colindancia	Calificación colindancia	Categoría vulnerabilidad
> 2000	1	Muy baja
1500 - 2000	2	Baja
1000 - 1500	3	Moderada
500 - 1000	4	Alta

0 – 500

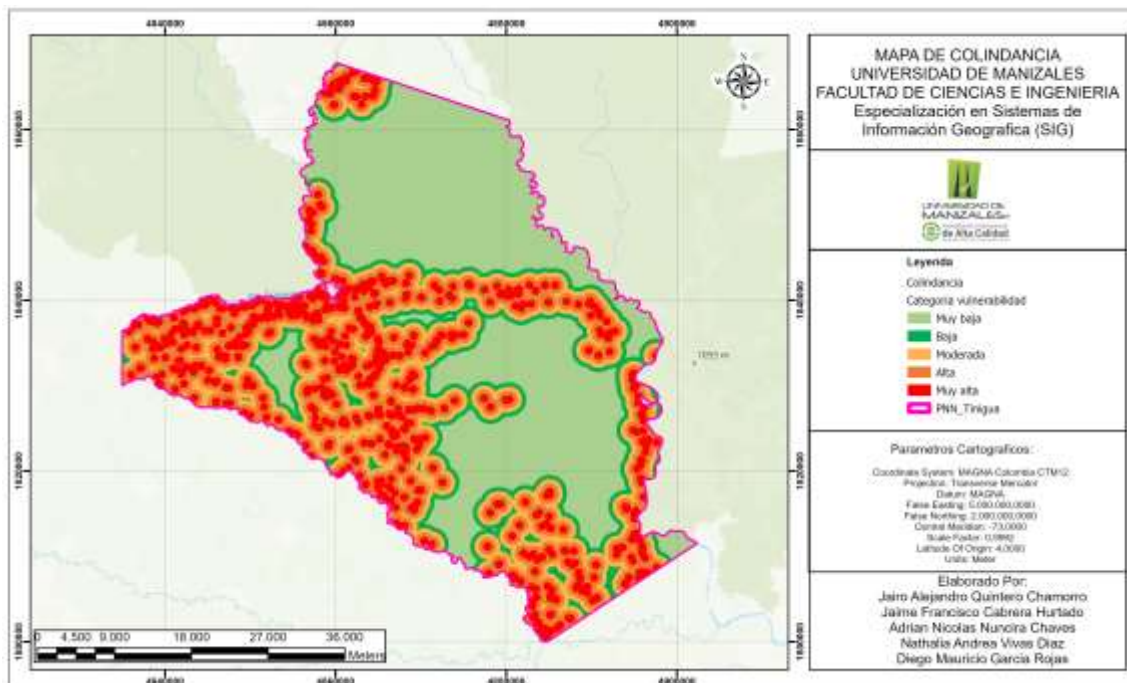
5

Muy alta

Fuente: IDEAM, 2011

El análisis de vulnerabilidad por colindancia muestra que la categoría muy baja con un 42.33% del área total, equivalente a 90,496.14 hectáreas, Sin embargo, las categorías alta y muy alta, tienen el 37.30% del área con 44,090.25 ha y 35,654.38 ha, respectivamente, las categorías moderadas tienen un 12.60% con 26,946.02 ha y baja tiene un área de 7.77% con 16,606.69 ha. Este análisis se puede visualizar mejor en la figura 22:

Figura 22 Mapa de colindancia en el área de estudio



Fuente: elaboración propia, 2025

Mapa de vulnerabilidad física

Para obtener el mapa de vulnerabilidad, se toma como insumo principal la capa de conflictos del IGAC, el protocolo del IDEAM que busca identificar zonas con conflicto o usos inadecuados del

suelo con potencial riesgo a incendios forestales, para ello este protocolo normaliza los datos para obtener categorías de vulnerabilidad los cuales se pueden observar en la tabla 28:

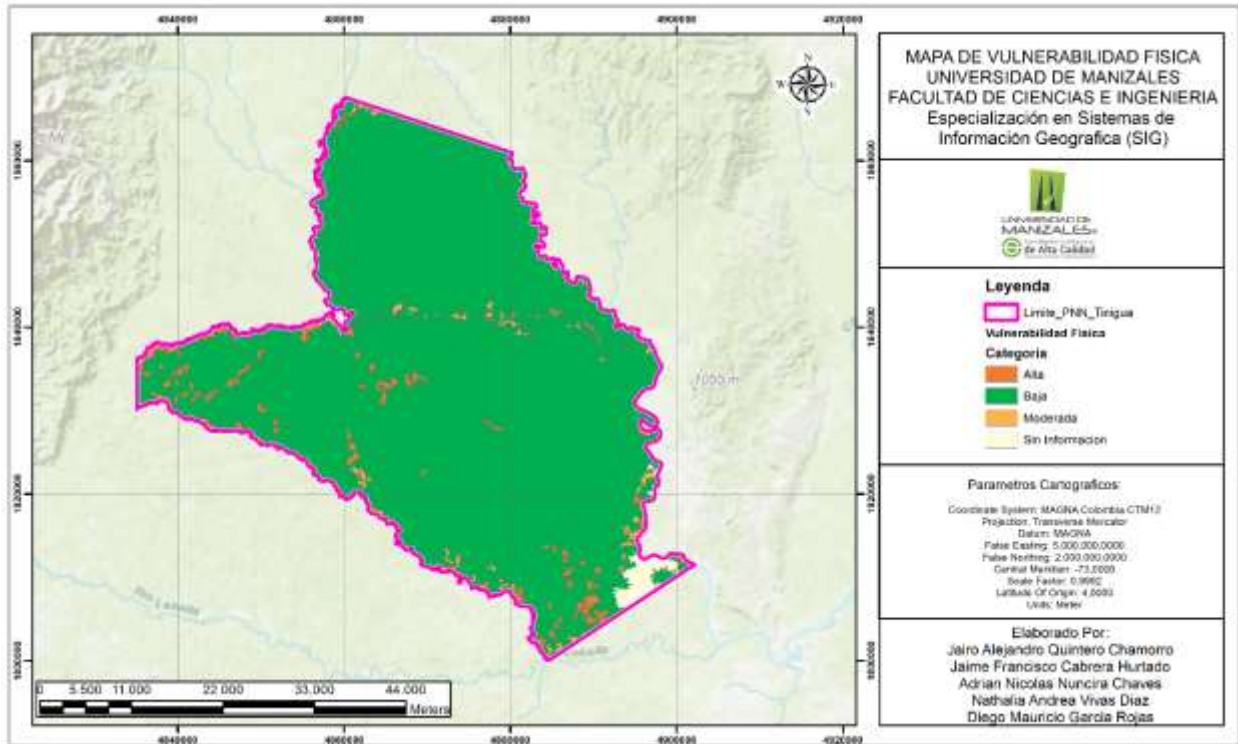
Tabla 28 *Categorización de la vulnerabilidad física*

Conflicto de uso	Calificación	Categoría de vulnerabilidad
Uso adecuado	1	Baja
Subutilización	2	Moderada
Sobreutilización	3	Alta
Conflictos en tierras de régimen jurídico especial	4	Muy alta

Fuente: IDEAM, 2011

Una vez identificado los conflictos se realiza una reclasificación con valores que van entre 1 y 4, lo que permite posteriormente categorizar cada valor con vulnerabilidades bajas, moderadas, altas y muy altas, para nuestra área de estudio los resultados obtenidos indican que 6.158 ha se localizan en zonas con alta vulnerabilidad en un 2,9 %, 202.000 ha corresponden a zonas con vulnerabilidad baja en 94,6 %, 2.176 ha corresponden a zonas con vulnerabilidad moderada en un 1,0 % y 3.458 ha se encuentran en zonas sin información en un 1,6 %, con base en estos resultados se generó en la figura 23:

Figura 23 Mapa de vulnerabilidad física



Fuente: elaboración propia, 2025

Mapa de vulnerabilidad ecológica

Con el fin de obtener la vulnerabilidad ecológica, se utilizó la capa de información geográfica “ecosistemas continentales costeros y marinos de Colombia a escala 1:100.000” desarrollado en el 2017; teniendo en cuenta lo anterior se procede a categorizar la vulnerabilidad ecológica según la tabla 29 dada por el protocolo.

Tabla 29 Categorización de la vulnerabilidad ecológica por influencia del fuego

Influencia del fuego en los ecosistemas	Calificación influencia del fuego	Categoría vulnerabilidad
No influidos por el fuego / no combustibles	0	Sin riesgo
Dependientes del fuego	1	Baja

Influidos por el fuego	2	Moderada
Sensibles al fuego	3	Alta
Independientes del fuego	4	Muy alta

Fuente: IDEAM, 2011

Debido a la actualización de información, se usa tanto la información de los biomas como de los ecosistemas presentes en la zona de estudio, se utilizó la tabla 30 clasificación:

Tabla 30 *Clasificación de los biomas y ecosistemas presentes en el Parque Nacional*

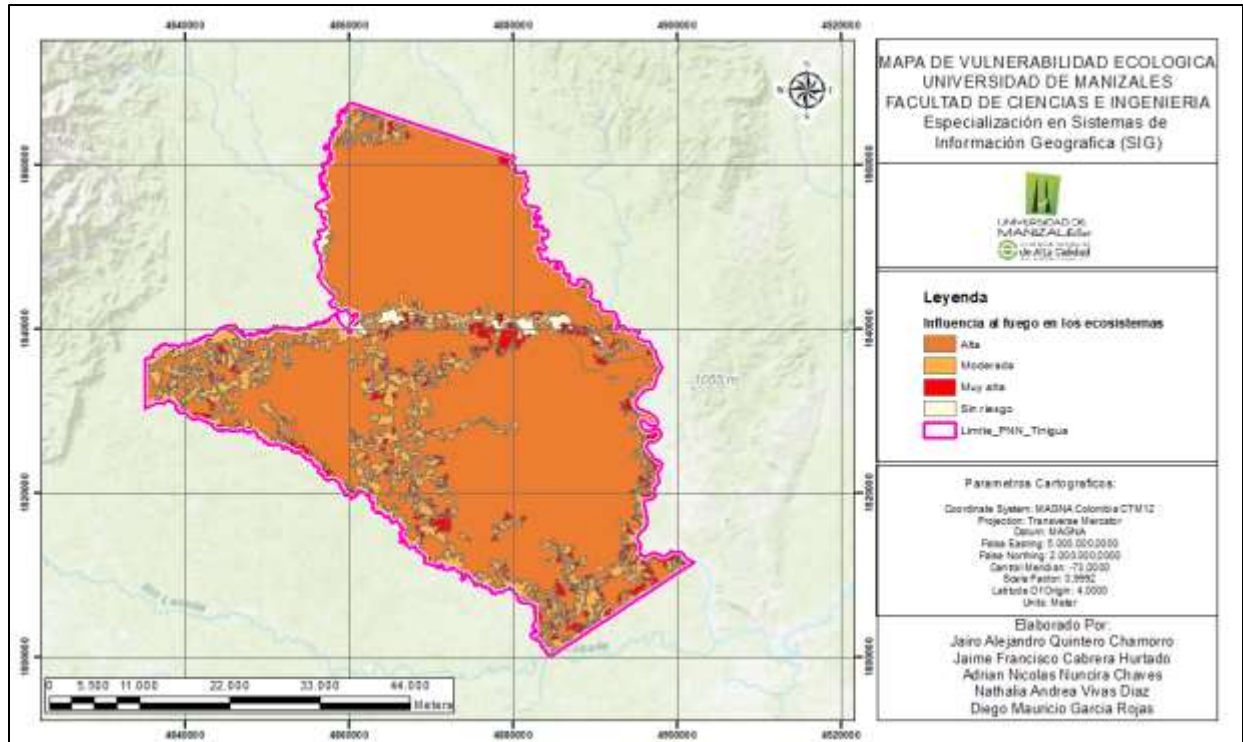
Biomas	Ecosistema	Influencia del fuego en los ecosistemas	Calificación influencia del fuego	Categoría vulnerabilidad
Hidrobioma	Rio de Aguas Blancas	No influidos por el fuego / no combustibles	0	Sin riesgo
Zonobioma Húmedo Tropical	Agroecosistema de mosaico de cultivos y espacios naturales	Influidos por el fuego	2	Moderada
Zonobioma Húmedo Tropical	Agroecosistema de mosaico de cultivos y pastos	Influidos por el fuego	2	Moderada
Zonobioma Húmedo Tropical	Agroecosistema de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Influidos por el fuego	2	Moderada
Zonobioma Húmedo Tropical	Agroecosistema de mosaico de pastos y espacios naturales	Influidos por el fuego	2	Moderada
Zonobioma Húmedo Tropical	Agroecosistema ganadero	Influidos por el fuego	2	Moderada
Zonobioma Húmedo Tropical	Bosque basal húmedo	Sensibles al fuego	3	Alta
Helobioma	Bosque inundable basal	Sensibles al fuego	3	Alta
Zonobioma Húmedo Tropical	Herbazal basal húmedo	Sensibles al fuego	3	Alta

Zonobioma Húmedo Tropical	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	Independientes del fuego	4	Muy alta
Zonobioma Húmedo Tropical	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	Independientes del fuego	4	Muy alta
Peinobioma	Sabana estacional	Independientes del fuego	4	Muy alta
Helobioma	Transicional transformado	Independientes del fuego	4	Muy alta
Zonobioma Húmedo Tropical	Vegetación secundaria	Independientes del fuego	4	Muy alta

Fuente: elaboración propia, 2025

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de acuerdo con la clasificación, en donde se visualiza que 168585,07 (78%) hectáreas del parque se encuentran en una vulnerabilidad alta al fuego, esto debido principalmente a los ecosistemas y biomas vulnerables presentes en este territorio, además se debe tener en cuenta que 12007,48 (8%) hectáreas se presentan como zonas muy altas de vulnerabilidad. Mientras que 29382,97 (14%) se encuentran con vulnerabilidad moderada y solo 5390,67(3%) hectáreas no presentan ninguna influencia al fuego. Se puede observar el resultado en la figura 24:

Figura 24 *Mapa de vulnerabilidad ecológica*



Fuente: elaboración propia, 2025

Mapa de vulnerabilidad territorial

Para obtener el mapa de vulnerabilidad territorial, se necesitó de insumo la información geográfica de la vulnerabilidad ecológica y la vulnerabilidad física donde se estableció un peso porcentual de 60 para la vulnerabilidad ecológica y un peso porcentual de 40 para la vulnerabilidad física después de la unión de ambos, luego se clasifiqué y categoricé de acuerdo con la tabla 31:

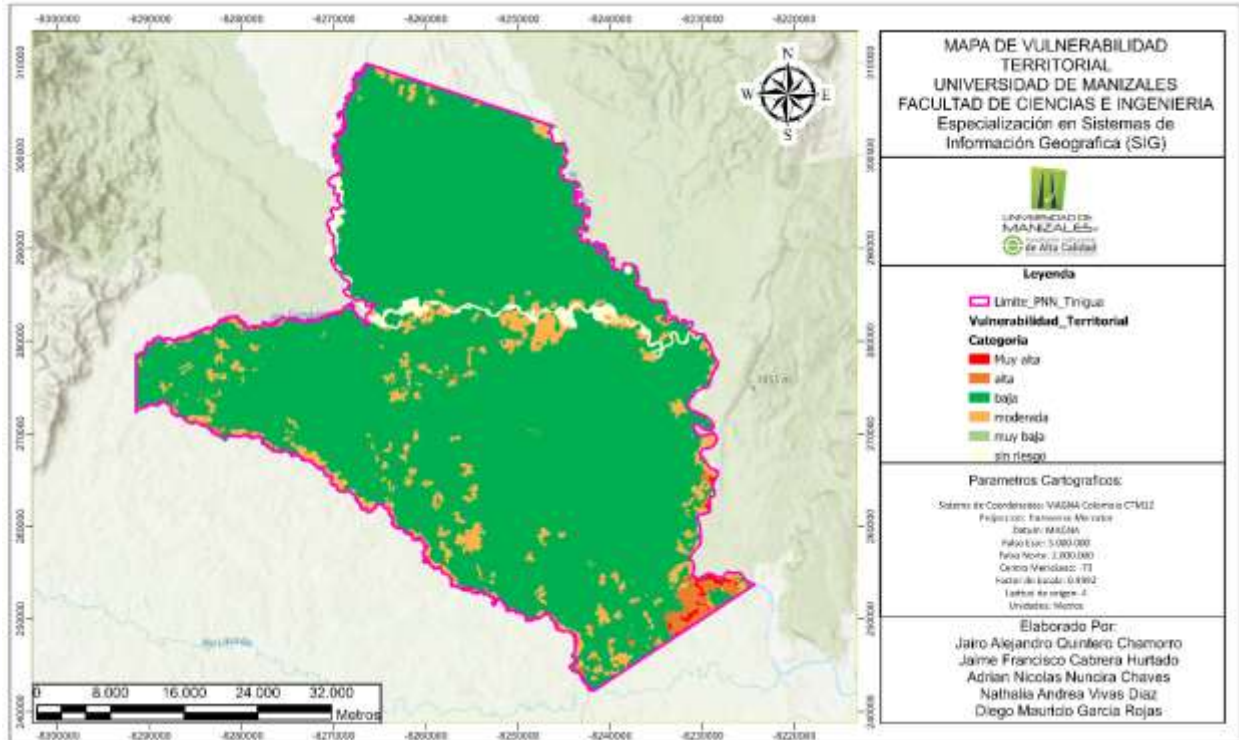
Tabla 31 *Categorización de vulnerabilidad territorial*

Rasgos ponderación factores territoriales	Calificación	Categoría de vulnerabilidad
Distribución de frecuencias de la suma ponderada en 5 rangos de frecuencia	1	Muy Baja
	2	Baja
	3	Moderada
	4	Alta
	5	Muy alta

Fuente: IDEAM, 2011

Una vez identificado las áreas del mapa de vulnerabilidad territorial se obtuvo que la categoría de baja obtuvo un valor del 91,04%, con un área de 196364,53 ha, seguido de la categoría moderada con un valor de 4,89%, con un área de 10549,07 ha. En este mismo sentido la categoría sin riesgo con un valor de 2,35%, cuya área es 5084,54 ha, la categoría alta con un valor de 1,24%, con un área de 2691,53ha y por ultimo las categorías menos representativas son la muy alta con un valor de 0,37%, con un área de 801,38% y la categoría muy baja con un valor de 0,086%, cuya área es de 187,48ha. Después de realizar los análisis se utilizó la herramienta de unión, seguido de la reclasificación y categorización se obtuvo la figura 24 que representa el mapa de vulnerabilidad territorial:

Figura 25 Mapa de vulnerabilidad territorial en el área de estudio.



Fuente: elaboración propia, 2025

Mapa de vulnerabilidad de infraestructura

Para la generación del mapa de vulnerabilidad de infraestructura se realizó la clasificación y asignación de la simbología correspondiente, como se indica en la tabla 32:

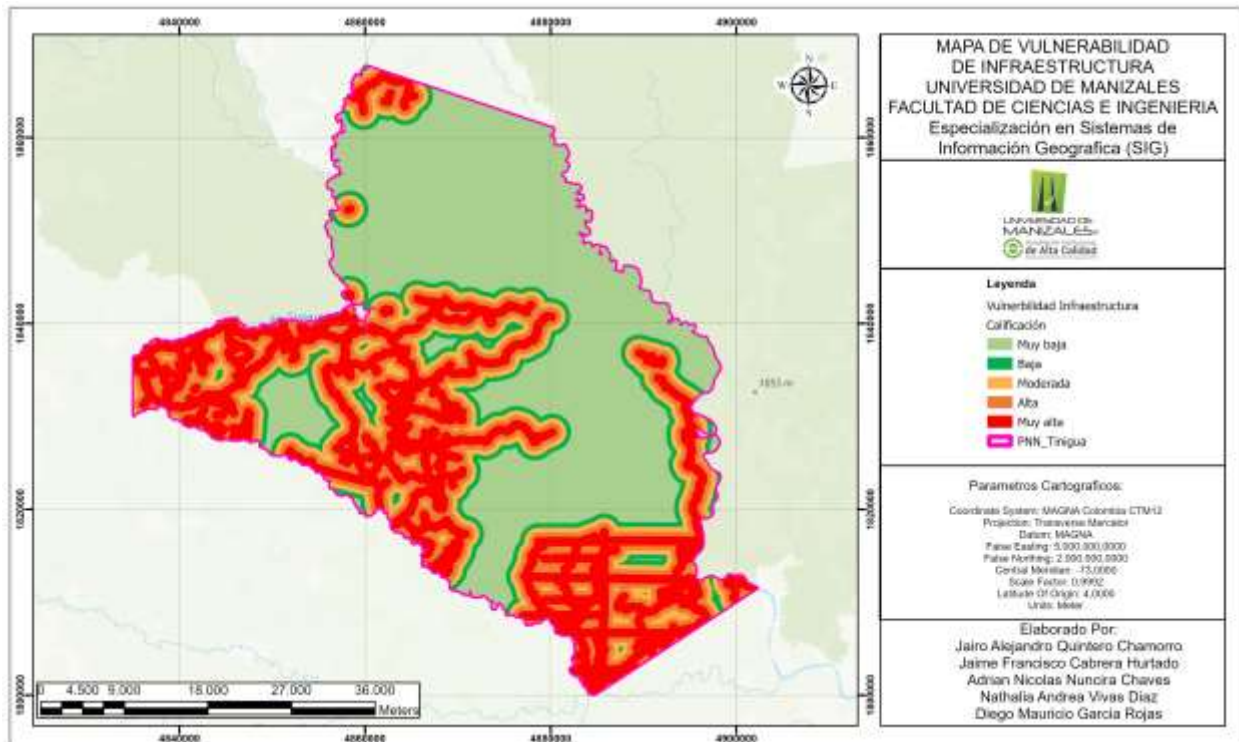
Tabla 32 Vulnerabilidad Infraestructura

Distancia Infraestructura	Calificación Infraestructura	Categoría de vulnerabilidad
0 – 500	1	Baja
500 – 1000	2	Moderada
1000 – 1500	3	Alta
1500 – 2000	4	Muy alta

Fuente: IDEAM, 2011.

En el PNN Tinigua, la mayor parte del territorio se encuentra en la categoría de vulnerabilidad Muy Baja, con un total de 95,704.43 hectáreas, lo que equivale al 44.76% del área. Le sigue la categoría Muy Alta, que abarca 54,722.61 hectáreas (25.6%), siendo la segunda más representativa. La categoría Alta ocupa 31,205.95 hectáreas (14.6%), mientras que la Moderada representa 18,541.71 hectáreas (8.67%) y la Baja cubre 13,618.80 hectáreas (6.37%). Estos datos muestran que, si bien predomina una baja vulnerabilidad, una proporción significativa del parque presenta niveles de vulnerabilidad alta y muy alta, lo que resalta la necesidad de implementar estrategias específicas para reducir los riesgos en estas áreas críticas. En la figura 26, se presenta el resultado del proceso para hallar la vulnerabilidad de infraestructura:

Figura 26 Mapa Vulnerabilidad Infraestructura en el área de estudio.



Fuente: elaboración propia, 2025

Mapa de vulnerabilidad patrimonial

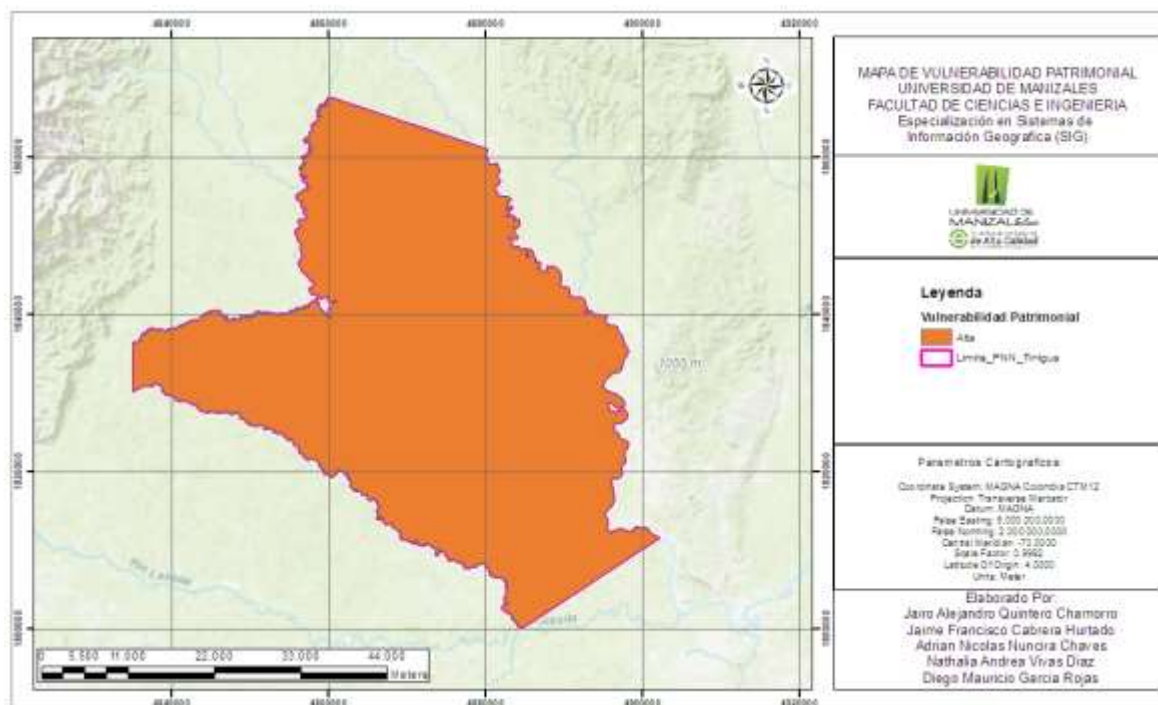
Teniendo en cuenta que el PNN Tinigua, presenta un gran valor patrimonial que para calcularlo se utilizó el protocolo del IDEAM usando la siguiente clasificación como vulnerabilidad alta, según la tabla 33:

Tabla 33. *Categorización de vulnerabilidad patrimonial*

Clasificación valor patrimonial	Calificación	Categoría de vulnerabilidad
Sin valor patrimonial	1	Muy baja
Bajo valor patrimonial	2	Baja
Medio valor patrimonial	3	Moderada
Alto valor patrimonial	4	Alta

Fuente: IDEAM, 2011

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación, se realiza el mapa correspondiente para esta variable, en donde se observa que se selecciona una vulnerabilidad alta, indicando que el 100% con un área de 215.286 ha, debido a que como la zona de estudio es un Parque Nacional Natural, representa un valor patrimonial alto, tanto para las comunidades que se encuentran dentro de este, como para los municipios y entidades territoriales de la región. A continuación figura 27 se presenta el mapa de vulnerabilidad patrimonial:

Figura 27 Vulnerabilidad Patrimonial

Fuente: elaboración propia, 2025

Mapa de vulnerabilidad económica

Este mapa se realizó teniendo en cuenta las áreas de producciones de bienes y servicios que podrían verse afectadas en mayor o menor grado por los incendios forestales, tales como áreas de producción agrícola, ganadera, forestal, minera, entre otras. Para ello se reclasificó la capa cobertura de tierras (nivel 3), siguiendo los criterios establecidos en el anexo 3 del protocolo. A continuación, se presenta en la tabla 34 la calificación que forma parte de este proceso:

Tabla 34 Clasificación económica del territorio

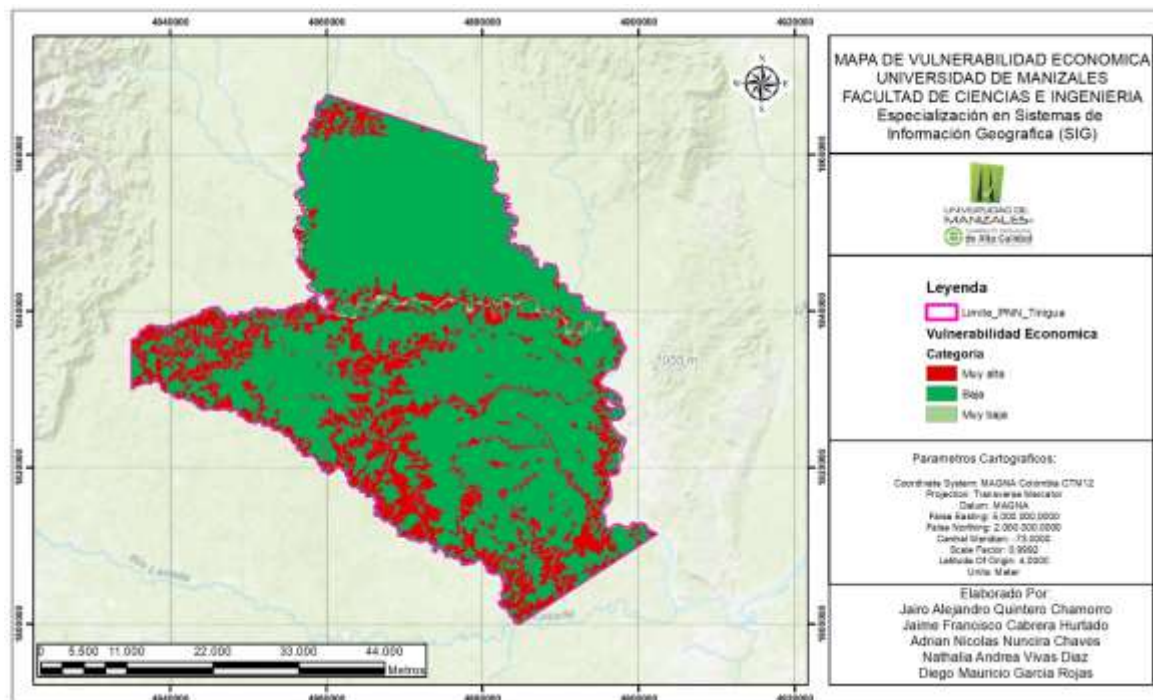
Clasificación Económica del Territorio	Calificación	Categoría de vulnerabilidad
Zonas agrícolas y ganaderas	5	Muy alta

Zonas forestales y de cultivos arbóreos	4	Alta
Zonas urbanas, zonas mineras, industriales y comerciales	3	Moderada
Zonas naturales y de conservación	2	Baja
Cuerpos de agua	1	Muy Baja

Fuente: IDEAM, 2011

El resultado de la clasificación anterior nos indica que las zonas agrícolas y ganaderas presentan la mayor vulnerabilidad, con una calificación de 5 y una categoría de muy alta vulnerabilidad, abarcando 52,176.12 ha que corresponden al 24,4 %, debido a su exposición a riesgos asociados con actividades intensivas en el territorio. En contraste, las zonas naturales y de conservación, con una calificación de 2 y una categoría de baja vulnerabilidad, cubren 159,059.65 ha que corresponden al 74 %, siendo la mayor extensión territorial y mostrando menor riesgo gracias a su baja intervención humana. Por último, las zonas urbanas, cuerpos de agua y otros, con una calificación de 1 y una categoría de muy baja vulnerabilidad, abarcan 2,557.71 ha que equivalen a un 1,2 %, este mapa se puede visualizar en la figura 28:

Figura 28 Mapa vulnerabilidad económica en el área de estudio.



Fuente: elaboración propia, 2025.

Mapa de vulnerabilidad institucional

Una vez realizado el procedimiento para el análisis de vulnerabilidad institucional, se da alcance al protocolo de IDEAM de acuerdo con la reclasificación de los datos obtenidos en la tabla 35:

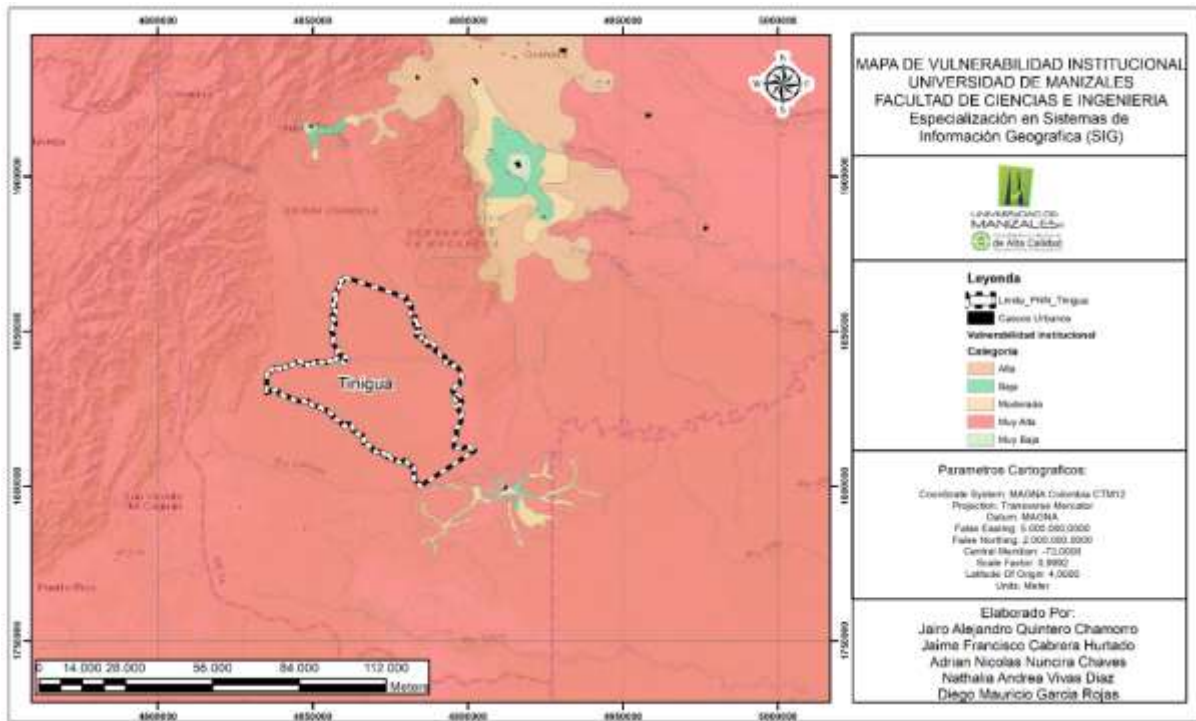
Tabla 35 Categorización de vulnerabilidad institucional

Clasificación Institucional	Calificación	Categoría de vulnerabilidad
600 segundos	1	Muy Baja
1800 segundos	2	Baja
3600 segundos	3	Moderada
7200 segundos	4	Alta
14400 segundos	5	Muy alta

Fuente: IDEAM, 2011

Una vez realizada la clasificación y categorización según los tiempos de respuesta de las instituciones localizadas se obtuvo que el 100% del área se encuentra en vulnerabilidad muy alta, como se representa en la figura 29:

Figura 29 Mapa Vulnerabilidad Institucional



Fuente: elaboración propia, 2025

Mapa de vulnerabilidad

Seguidamente se realiza una normalización y categorización siguiendo una distribución de frecuencias (IDEAM, 2011), con lo anterior y los diferentes factores analizados se procedió a categorizar la amenaza siguiendo las pautas del protocolo (IDEAM, 2011), ver la tabla 36:

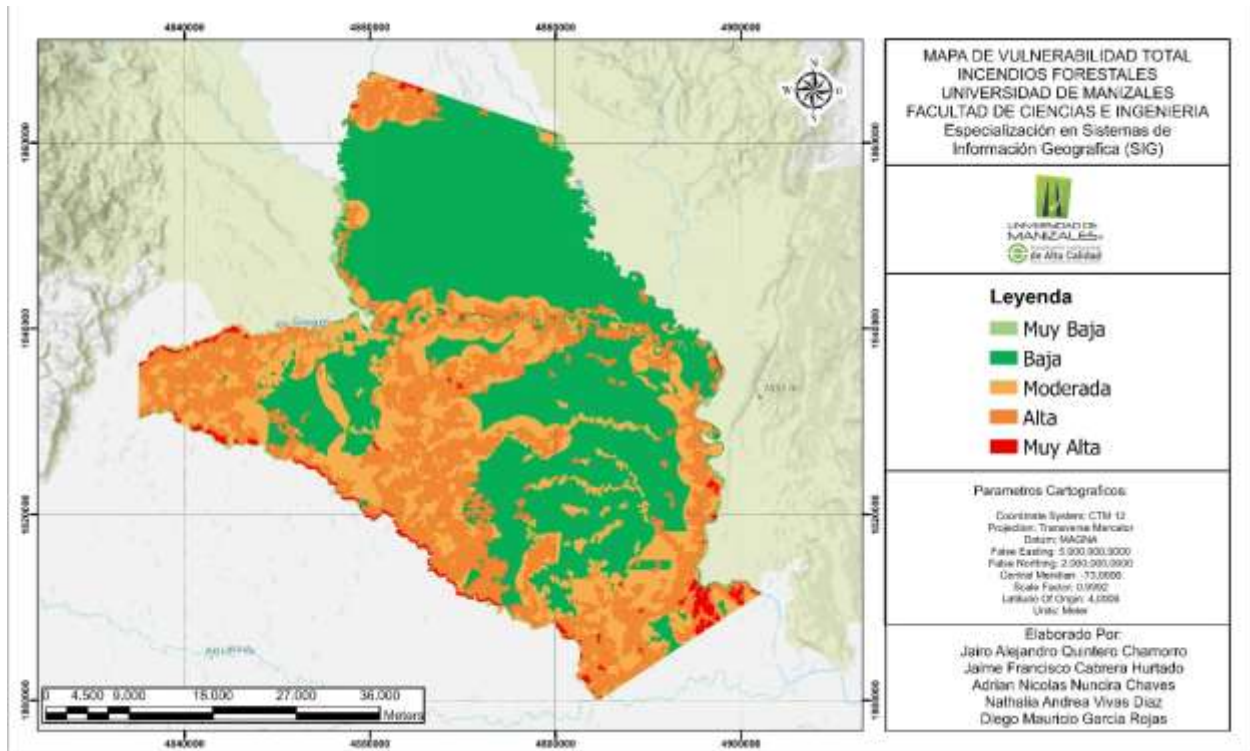
Tabla 36 Resultado vulnerabilidad

Calificación	Categoría de vulnerabilidad	Área [ha]	Porcentaje
1	Muy Baja	2757,16	1,28%
2	Baja	114382,77	53,03%
3	Moderada	53051,04	24,60%
4	Alta	43632,41	20,23%
5	Muy alta	1857,78	0,86%

Fuente: elaboración propia, 2025

El análisis de vulnerabilidad revela que la categoría "Muy baja" abarca 2757,16 hectáreas, lo que representa el 1,28 % del territorio. La categoría "Baja" se destaca como la más predominante, con una extensión de 114.382,77 hectáreas, equivalente al 53,03 %. Por su parte, la categoría "Moderada" ocupa 53.051,04 hectáreas, correspondientes al 24,60 %. La categoría "Alta" comprende 43.632,41 hectáreas, lo que equivale al 20,23 %, mientras que la categoría "Muy alta" es la menos representativa, cubriendo únicamente 1857,78 hectáreas, que corresponden al 0,86 %. Estos resultados subrayan que más de la mitad del área analizada se clasifica como de vulnerabilidad "Baja". Una vez realizada la clasificación y categorización según la tabla 36 se procedió a realizar el mapa de vulnerabilidad, que se encuentra en la figura 30:

Figura 30 Mapa vulnerabilidad



Fuente: elaboración propia, 2025

8.3. Fase 3

En esta fase se da respuesta al objetivo específico 3: Generar un mapa actualizado para la zonificación del riesgo de incendios forestales.

Análisis del riesgo

Luego de la evaluación de la amenaza y vulnerabilidad, se realiza el análisis para la zonificación del riesgo de la cobertura vegetal a incendios forestales. Siguiendo lo mencionado en el protocolo del IDEAM (2011, p.58), se realiza una multiplicación ponderada (ecuación 5) de las variables, se procede a realizar su división en cinco rangos de frecuencia, posteriormente se califica y categoriza, ver la tabla 37:

$$Riesgo = f (Amenaza * Vulnerabilidad) \quad (5)$$

Se toma una fila ejemplo para el desarrollo de la fórmula, se tiene una calificación de amenaza (5) y de vulnerabilidad (4).

$$Riesgo = ((5) * (4)) = 20 \quad (5)$$

Luego, el valor mayor de todos los resultados es (25) y el menor (0), normalizando el resultado ejemplo se tiene que:

$$Normalizacion = (Variable - ValorMenor)/(ValorMayor - ValorMenor)$$

$$Normalizacion = (20 - 0)/(25 - 0) = 0.8$$

Como resultado del ejemplo, se tiene una categoría de zonificación de riesgo “muy alta”.

Tabla 37 Resultado zonificación riesgo de incendios a cobertura vegetal

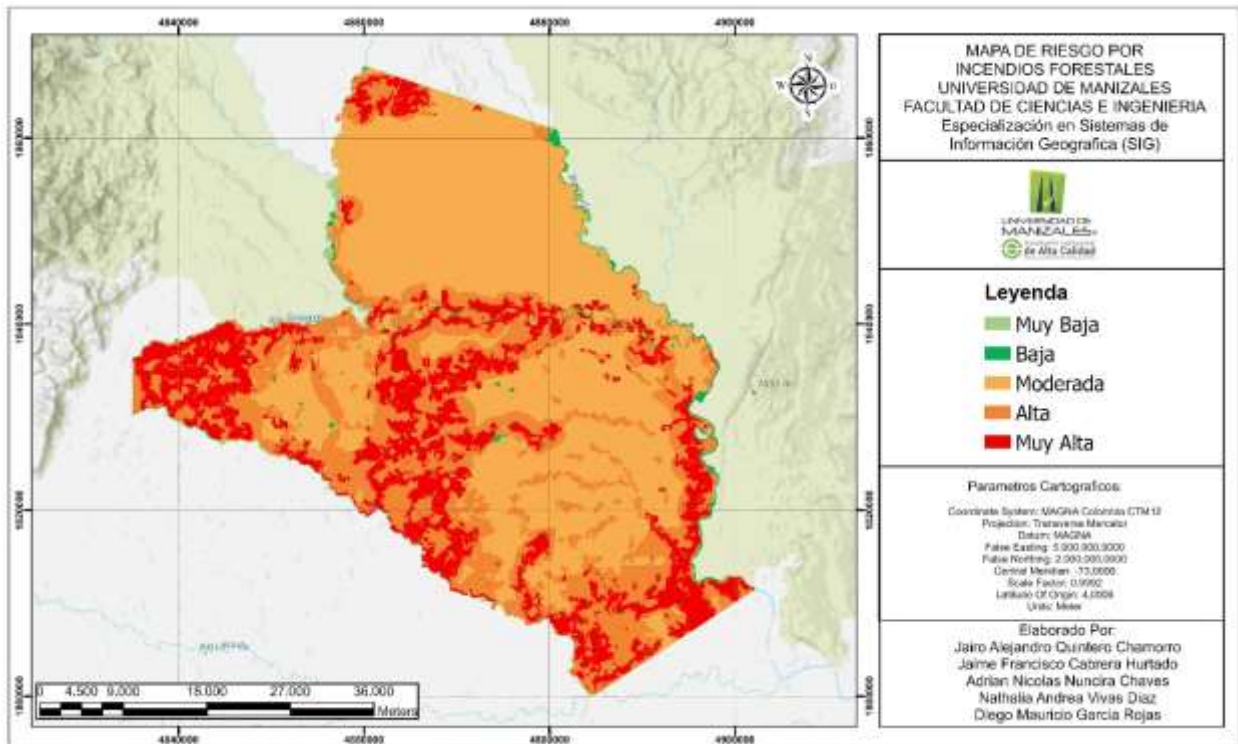
Calificación zonificación riesgo		Categoría zonificación riesgo	Área [ha]	Porcentaje
1	0.000000-0.080000	Muy Baja	1339,81	0,62%
2	0,080001-0,240000	Baja	3721,84	1,73%
3	0,240001 0,400000	Moderada	112545,32	52,17%
4	0,400001-0,640000	Alta	65951,87	30,57%
5	0,640001-1,000000	Muy alta	32183,46	14,92%

Fuente: elaboración propia, 2025

El análisis de la zonificación de riesgos asociados a incendios forestales revela que la categoría "Muy Baja" comprende 1339,81 hectáreas, representando el 0,62 % del territorio. La categoría "Baja" ocupa 3721,84 hectáreas, equivalentes al 1,73 %. Por su parte, la categoría "Moderada" se destaca como la más predominante, abarcando 112.545,32 hectáreas, lo que representa el 52,17 % del área total. En cuanto a la categoría "Alta", esta cubre 65.951,87

hectáreas, correspondientes al 30,57 %, mientras que la categoría "Muy Alta" alcanza 32.183,46 hectáreas, equivalentes al 14,92 %. Estos resultados resaltan que el riesgo "Moderado" es el predominante en el territorio, seguido por los riesgos "Alto" y "Muy Alto", lo que refleja la importancia de implementar estrategias de mitigación en las zonas más afectadas. Ver la figura 31:

Figura 31 Mapa riesgo por incendios forestales



Fuente: elaboración propia, 2025

9. Discusiones

En la investigación se identificó que el 47,63% de la información geoespacial proviene de tres fuentes oficiales principales: IDEAM (19,05%), IGAC (14,29%) y DANE (14,29%). Debido a que estas fuentes oficiales proporcionan información geoespacial de las variables de riesgos por incendios forestales, con el fin de realizar análisis de amenaza y vulnerabilidad en sistemas de información geográfica (SIG). Según Bill, (2022), los datos geoespaciales permiten identificar patrones y relaciones entre variables, en una ubicación específica.

De forma similar Fuentes (2021), logro demostrar que con las fuentes de datos oficiales se puede realizar la cartografía de áreas afectadas por incendios forestales de una forma rápida y precisa, debido a que esta información proviene los sensores remotos MODIS y VIRS y a través de un software SIG en la nube como Google Earth Engine - GEE ser procesadas por algoritmos de procesamiento espacial con el fin de realizar la detección de áreas quemadas. En este sentido, el autor coincide con la utilización de fuentes oficiales para la realización de análisis y procesamiento de variables asociadas a los incendios forestales.

Durante el análisis de amenaza, se encontró un área de 54,04% como alta y un área del 43,48% como muy alta. En decir que las dos categorías representan el 97,52% de las áreas con peligro de ocurrencia de un incendio. Según Minambiente (s.f.), la amenaza es el peligro latente, de presentarse un incendio forestal. En circunstancias similares Sabbagh (2022), en su análisis de amenaza obtiene un resultado de 4,5 de las áreas se encuentran en amenaza alta.

Sin embargo, en el análisis de vulnerabilidad se identificó que 24,60% de las áreas están en categoría alta y el 0,86% están en categoría muy alta, en las cuales inciden directamente los factores como la ocupación ilegal y desarrollo de malas prácticas al interior del parque. Según

UNGRD (2012), define la vulnerabilidad como la probabilidad afectarse o resistir de un elemento expuesto a la ocurrencia de un incendio. En este sentido, Sabbagh (2022) no concuerda con el resultado de vulnerabilidad de la presente investigación ya que obtuvo un resultado general de 3, es decir una vulnerabilidad media.

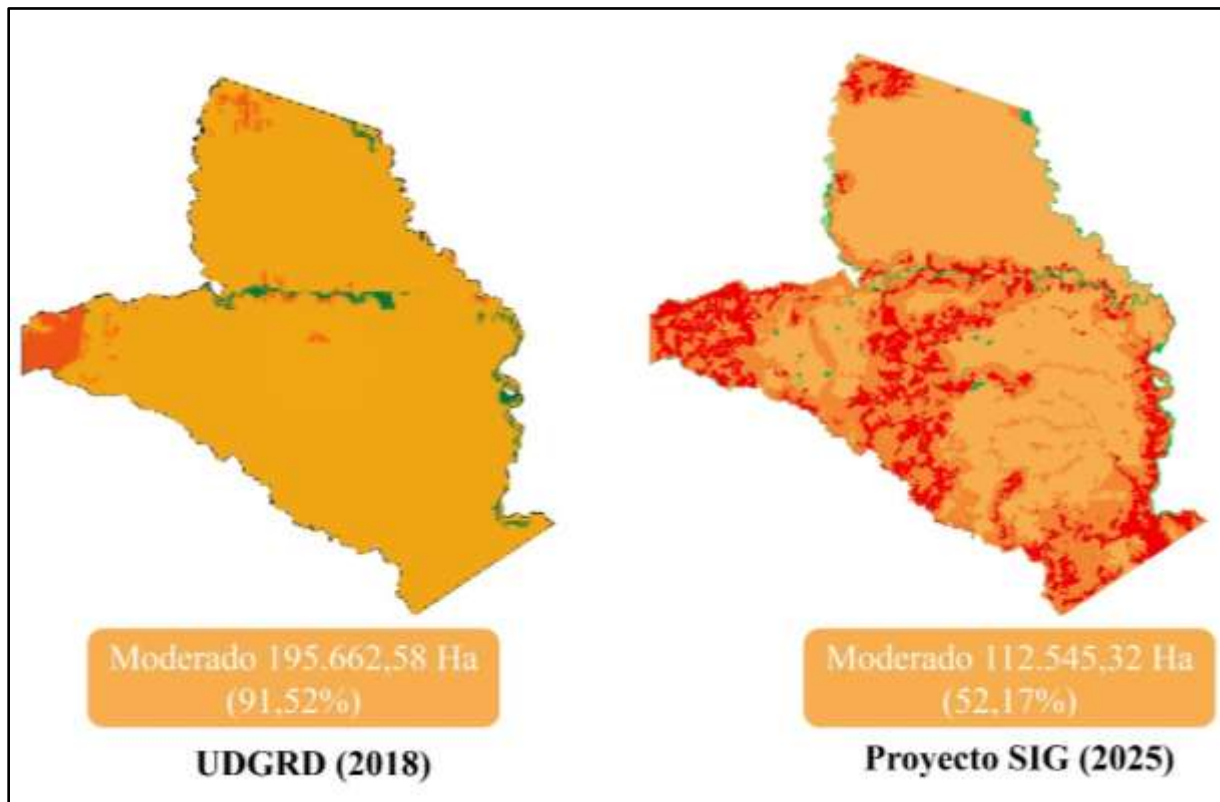
Se generó el mapa de zonificación de riesgo de incendios forestales para identificar las áreas con mayor riesgo a incendios donde las categorías alta y muy alta tienen un 45,49 % entre las dos. Según (IDEAM, 2011) la zonificación de riesgo es la zona donde existe la probabilidad de ocurrencia de un incendio forestal, que puede afectar a los elementos expuestos. De la misma forma (Erni et al., 2024) identifiqué que 32,2 % presentan un mayor riesgo por incendios forestales. Este resultado coincide, ya que ambos estudios se presentan las categorías de riesgo alto y muy alto con porcentajes similares.

En la investigación se identificó que el 14,92% del área del PNN Tinigua presenta un mayor riesgo de incendio forestal. Según (IDEAM, 2011), el riesgo de incendio forestal es la probabilidad de ocurrencia de un incendio forestal en un territorio, ocasionando pérdidas sociales, económicas y ambientales. De forma similar, (Sabbagh, 2022), encontró que el 50% del área presenta un riesgo medio, debido a que los factores como cobertura vegetal, temperatura, pendiente y precipitaciones. Este hallazgo coincide con los resultados obtenidos ya que las variables de temperatura y precipitación tienen una mayor incidencia en la probabilidad de ocurrencia de un incendio forestal en un territorio.

Así pues, al contrastar los resultados de la investigación con los del Plan Departamental para la Gestión del Riesgo de Desastres (Unidad Departamental para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2018) en el departamento del Meta, en la figura 32 se observa una reducción del área en riesgo moderado del 91,52% al 52,17% y un incremento notable en la categoría alta del 4,88%

al 30.57%, donde surge una nueva categoría como muy alta con 14.92%. Esto señala una nueva distribución del riesgo presente relacionado a factores metodológicos, sociales, medioambientales, el uso de herramientas SIG, dinámicas territoriales recientes como actividades antrópicas.

Figura 32 Mapa riesgo por incendios forestales comparativo UNGRD y la investigación.



Fuente: elaboración propia, 2025

10. Conclusiones

Se identificó las áreas con mayor riesgo de incendios forestales con 32.183,46 ha, equivalentes al 14,92% del área, presenta una categoría de riesgo muy alta, debido a que el análisis de riesgo desarrollado utilizó variables como vulnerabilidad poblacional, temperatura y precipitación, que tiene una incidencia en este resultado. Debido a que, en la normalización de estas variables y factores realizada por los expertos consultados, se le asignó un mayor peso porcentual, como se indica en el protocolo del IDEAM.

A partir de la información geoespacial recopilada, concluimos que se utilizó el 47,63% de los datos de tres fuentes oficiales DANE, IDEAM y IGAC. Estas fuentes de información permiten descargar datos geoespaciales para la gestión del riesgo, que posteriormente se analizan en sistemas de información geográfico. Además de ser una opción económica y fiable para realizar estudios de riesgos por incendios forestales.

Después de hacer el análisis con herramientas SIG de la amenaza de incendios forestales del PNN Tinigua, se determinó que el 43,48% del parque se encuentran en áreas con categoría muy alta. Esto se debe a que la temperatura alta y la facilidad de acceso de las comunidades al interior del parque, inciden en la ocurrencia de incendios forestales. Por otro lado, la vulnerabilidad se determinó que el 0,86% del territorio se encuentra en categoría muy alta, 20,23% en categoría alta y el 20,60 en categoría moderada, siendo la ocupación ilegal de asentamientos humanos del PNN Tinigua el que más incide en una mayor vulnerabilidad de incendio forestal.

La actualización del mapa de zonificación de riesgo por incendios forestales permite la toma de decisiones informadas, en las áreas críticas identificadas como zona de riesgo muy alto con un valor de 14,92% y riesgo alto con un valor de 30,57%. Esto debido a que los recursos de

inversión deben tener una focalización en las zonas con mayor riesgo por incendio forestal de origen antrópico y natural.

11. Recomendaciones

Se sugiere fortalecer técnicamente a las instituciones, para contribuir a la gestión del riesgo en incendios forestales de las áreas con un riesgo muy alto, las cuales fueron identificadas por la aplicación del protocolo del IDEAM. Este fortalecimiento puede ser en tecnologías de monitoreo geoespacial como los sistemas de alerta temprana centrados en las comunidades y así garantizar una respuesta oportuna ante un posible evento.

Es fundamental utilizar información geoespacial de datos abiertos que elaboran las entidades públicas, para realizar estudios de gestión de riesgos, en municipios con limitaciones económicas y con una desactualización en la incorporación de estudios de riesgo en sus instrumentos de planificación territorial y ambiental, para garantizar un ordenamiento ambiental del territorio.

Se recomienda a la entidad Parques Nacionales Naturales de Colombia, realizar proyectos de relocalización o reubicación de asentamientos humanos ilegales al interior de los parques identificados después de aplicar el protocolo del IDEAM mediante el uso de herramientas SIG, con el fin de reducir las zonas que se presenta una mayor amenaza y vulnerabilidad a la ocurrencia de un evento de incendios forestales.

Se propone incorporar en el Plan de Manejo Ambiental del PNN Tinigua estrategias de educación y sensibilización ambiental dirigidas a las comunidades al interior del parque en las áreas con riesgo muy alto con un valor de 14,92% y riesgo alto con un valor de 30,57% que se identificaron por el mapa actualizado de riesgo por incendios forestales. Asimismo, se deben fortalecer planes, programas o proyectos de inversión que promuevan las prácticas sostenibles en articulación con los objetivos de conservación del parque.

12. Referencias

- Ajin, R. S., Loghin, A. M., Vinod, P. G., & Jacob, M. K. (2016). Forest fire risk zone mapping using RS and GIS techniques: a study in Achankovil Forest Division, Kerala, India. *Journal of Earth, Environment and Health Sciences*, 2(3), 109-115.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Forest-Fire-Risk-Zone-Mapping-Using-RS-and-GIS-A-in-Ajin-Loghin/8c519080a0de9506403bc2b8f4f26527c31a6458>
- Ali, E. (2020) *Geographic Information System (GIS): Definition, Development, Applications & Components*.
https://www.researchgate.net/publication/340182760_Geographic_Information_System_GIS_Definition_Development_Applications_Components
- Amaya Devia, Laura. (2021). Empleo de S.I.G. en la zonificación de amenaza por Incendios de la cobertura vegetal en Cuítiva-Boyacá escala 1:25000. [Trabajo de grado, Universidad de Cundinamarca]. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2144>
- Armenteras, D., González, T. M., Vargas Ríos, O., Meza Elizalde, M. C., & Oliveras, I. (2020). Incendios en ecosistemas del norte de Suramérica: avances en la ecología del fuego tropical en Colombia, Ecuador y Perú. *Caldasia*, 42(1), 1-16.
<https://doi.org/10.15446/caldasia.v42n1.77353>
- Arellano, A. (27 de julio de 2022). Parque Tinigua, en jaque: cada año se pierden alrededor de 6,000 hectáreas y las alertas de deforestación continúan.
<https://es.mongabay.com/2022/09/alerta-por-deforestacion-en-el-parque-tinigua-en-colombia/>.

- Arias, P., Cabrera, S & Jácome, G. (2024). A Multicriteria Geographic Information System Analysis of Wildfire Susceptibility in the Andean Region: A Case Study in Ibarra, Ecuador. *Fire*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/fire7030081>
- Arispe Alburqueque, C. M & Yangil Vicente, J. S & Guerrero Bejarano, M. A & Lozada de Bonilla, O. R & Acuña Gamboa, L. A & Arrellano Sacramento, C. (2020) La investigación científica, una aproximación para los estudios de posgrado. <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/4310/1/LA%20INVESTIGACION%20CIENTIFICA.pdf>
- Benítez Flórez, D. P. (2023). Análisis de Amenazas por incendios forestales en el Parque Nacional Natural Paramillo. [Trabajo de grado, Universidad de Manizales]. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/6656>
- Bill, R., Blankenbach, J., Breunig, M., Haurert, J.-H., Heipke, C., Herle, S., . . . Werner, M. (2022). Geospatial Information Research: State of the Art, Case Studies and Future Perspectives. *PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 349-389.
- Cabrera, A., Ferro, C., Casallas, A., & López-Barrera, E. A. (2024). Wildfire Scenarios for Assessing Risk of Cover Loss in a Megadiverse Zone within the Colombian Caribbean. *Sustainability*, 16(8), 3410. <https://doi.org/10.3390/su16083410>
- Camacho, A. P., Ilijama, M. V., Aroca, G. B., & Taco, L. V. (2021). Factores condicionantes y climáticos en la amenaza de incendio forestal de la microcuenca del Río Chazo Juan, Ecuador. *Journal of Science and Research*, 6(4), 139-165. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8219911>

- Casas, J. y Blanco, D. (2020). Zonificación de riesgos a incendios forestales en el municipio de Supatá Cundinamarca. [Trabajo de grado, Universidad de Cundinamarca].
<http://hdl.handle.net/20.500.12558/3441>
- Canchón Triana, C. (2024). Zonificación de amenazas de origen natural en el municipio de Quipile, Cundinamarca. [Trabajo de grado, Universidad Antonio Nariño].
<http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/9135>
- Celis, N., Casallas, A., Lopez-Barrera, E. A., Felician, M., De Marchi, M., & Pappalardo, S. E. (2023). Climate Change, Forest Fires, and Territorial Dynamics in the Amazon Rainforest: An Integrated Analysis for Mitigation Strategies. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(10), 436. <https://doi.org/10.3390/ijgi12100436>
- Cely, N., Alvarado, W., Caicedo, A. (2023), Conceptos y enfoques de metodología de la investigación, Bogota, Colombia, 125.
<https://repositorio.ufps.edu.co/bitstream/handle/ufps/6728/CONCEPTOS%20Y%20ENFOQUES%20DE%20METODOLOG%C3%8DA%20DE%20LA%20INVESTIGACI%C3%93N.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Clavijo, J., Hernandez, E., & Sierra, M. R. (2018 -2023). Plan de Manejo del Parque Nacional Natural Tinigua 2018 -2023. Parques Nacionales Naturales de Colombia.
<https://www.parquesnacionales.gov.co/wp-content/uploads/2020/10/plan-de-manejo-del-pnn-tinigua-2018-2023.pdf>
- CIAT, Cormacarena, Corporinoquia, ECOPETROL. (2018). Plan Regional Integral de Cambio Climático para la Orinoquía - Meta, Resumen Ejecutivo. CIAT publicación No. 460

- Coello, J. C. (2023). Comparación y análisis estadístico entre modelos de probabilidad de ocurrencia de incendios forestales para Honduras. Año 2019. *Ciencias Espaciales*, 14(2), 19-37. <https://doi.org/10.5377/ce.v14i2.16918>
- Diario Occidente. (3 de febrero de 2025). Colombia enfrenta temporada de menos lluvias con alto riesgo de incendios, así lo afirmó el Ideam. Obtenido de <https://occidente.co/colombia/colombia-enfrenta-temporada-de-menos-lluvias-con-alto-riesgo-de-incendios-asi-lo-afirmo-el-ideam/>
- Díaz, J., Pinzón, P., (2007). Plan de Manejo del Parque Nacional Natural Tinigua 2007 -2012. Parques Nacionales Naturales de Colombia.
- Desastres, U. N.-U. (22 de 05 de 2020). Mitigar la vulnerabilidad es responsabilidad de todos. Obtenido de https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co:8443/bitstream/handle/20.500.11762/20871/Guia_elaboracion_plan_departamental_gestion_del_riesgo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Environmental Systems Research Institute - ESRI. (2024). Diccionario SIG de Esri Support. <https://support.esri.com/es-es/gis-dictionary/modis>
- Eoportal. (2024). Terra (EOS/AM-1). <https://www.eoportal.org/satellite-missions/terra>
- Eoportal. (2024). Agua (EOS/PM-1). <https://www.eoportal.org/satellite-missions/aqua>
- Eoportal. (2024). Suomi NPP (Asociación Nacional de Órbita Polar). <https://www.eoportal.org/satellite-missions/suomi-npp>
- Espinel García, D. (2021). Influencia de factores meteorológicos sobre la incidencia de los incendios forestales y el transporte de las emisiones hacia las ciudades andinas. [Trabajo de grado, Universidad de los Andes]. <http://hdl.handle.net/1992/53006>

- Erni S., Wang, X., Swystun, T., Taylor, S., Parisien, M., Robinne, F., Eddy, B., Oliver, J., Armitage, B. & Flannigan M. (2024). Mapping wildfire hazard, vulnerability, and risk to Canadian communities. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 101 (), 104221. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.104221>
- Feron, S., Cordero, R., Damiani, A., MacDonell, S., Pizarro, J., Goubanova, K., Beaulieu, A. (2024). América del Sur se está volviendo más cálida, más seca y más inflamable. *Comunicaciones Tierra y Medio Ambiente*, volume 5, Número de artículo: 501. Obtenido de <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01654-7>
- Fuentes, M. L., Funes, M., Mariño, F., Pozzi Tay, E.F., Sandon, L., Villagra, C & Chaves, A. (2021). Cartografía oficial de áreas afectadas por incendios forestales en la Provincia de Córdoba. *Jornadas IDERA 2023*. https://opendata.fi.uncoma.edu.ar/jornadasIDERA/trabajos2023/Fuentes_etal.pdf
- García Echeverri, L. (2021). Estudio multitemporal de los incendios de 2019 en Roraima (Brasil) a partir de imágenes satelitales. [Trabajo de grado, Universidad de los Andes]. <http://hdl.handle.net/1992/55561>
- Hernández Samperi, R & Fernandez Collado, C. & Batista Lucio, M.P. (2014) *Metodología de la investigación* (6ta ed.) México: McGraw Hill, Interamericana Editores. <https://www.digitalrepositorio.com/files/original/97a5883a1d6106e6ac908afd7ea838d1.pdf>
- Herrera, J.D., Criado, J.C.H., López, O.L.O. (2024). Susceptibility of the Vegetation to Forest Fires in the Dry Forest of Ocaña—Colombia. In: Carlos-Martinez, H., Tapia-McClung, R., Moctezuma-Ochoa, D.A., Alegre-Mondragón, A.J. (eds) *Recent Developments in*

- Geospatial Information Sciences. iGISc 2023. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61440-8_15
- Huyen, D. T., & Tuan, V. A. (2008, December). Applying GIS and Multi-Criteria Evaluation in Forest Fire Risk Zoning in Son La Province, Vietnam. In Int Symp Geoinfor Spat Infrastruct Dev Earth Allied Sci. <https://www.geoinfolab.org/gisideas10/papers/APPLYING%20GIS%20AND%20MULTI%20CRITERIA%20EVALUATION%20IN%20FOREST.pdf>
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI. (2022). Puntos de Calor. SITAC. <https://siatac.co/puntos-de-calor/>
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI. (2022). Cicatrices de Quema. SITAC. <https://siatac.co/cicatrices-de-quema/>
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI. (2022). ¿Qué es SIAT-AC?. SITAC. <https://siatac.co/sobre-siatac/>
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI. (2022). Monitoreo Ambiental - SIMAAC. SITAC. <https://siatac.co/monitoreo-ambiental-simaac/>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (15 de febrero de 2025). Boletín de Alertas por Pronóstico de la Amenaza por Incendios de la Cobertura Vegetal (BAICV). Obtenido de https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2025-02-15/046_baicv_febrero_15_2025.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (s.f.). Zonificación del riesgo a incendios. <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/zonificacion-del-riesgo-a-incendios#mapa1>

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2011). Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000 / ajustado. IDEAM.
http://www.ideam.gov.co/documents/11769/68985506/PROTOCOLO+AJUSTADO_MASPAS+DE+ZRICV+copia.pdf/77d37bb7-3e62-44b1-b8a8-dcd5079b6883
- Ley 165 de 1994. Por medio de la cual se aprueba el "Convenio sobre la Diversidad Biológica", hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992. 26 de julio de 2006. D.O. No. 41589.
<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Ley-165-de-1994.pdf>
- Ley 1523 de 2012. Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. 24 de abril de 2012.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>
- Lizarazo, M. (7 de febrero de 2023). Sí, disminuyeron los incendios en la Amazonia, pero es un dato a revisar con cuidado. El Espectador.
<https://www.elespectador.com/ambiente/amazonas/si-disminuyeron-los-incendios-en-la-amazonia-pero-es-un-dato-a-revisar-con-cuidado/>
- Forero L, L. (2023). Zonificación de amenazas por incendios forestales en el municipio de San Juan de Rioseco Cundinamarca según metodología IDEAM [Tesis de grado, Universidad Santo Tomas]. <http://hdl.handle.net/11634/53884>
- Luu, C., Forino, G., Yorke, L., Ha, H., Bui, Q. D., Tran, H. H., Nguyen, D. Q., Duong, H. C., and Kervyn, M.: Integrating susceptibility maps of multiple hazards and building exposure distribution: a case study of wildfires and floods for the province of Quang

- Nam, Vietnam, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 24 (12), 4385–4408,
<https://doi.org/10.5194/nhess-24-4385-2024>
- Martelo-Jiménez, Nicolás, & Vargas Ríos, Orlando. (2022). Evaluación del riesgo a incendios de la cobertura vegetal del Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá, Colombia). *Caldasia*, 44(2), 380-393. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v44n2.91115>
- Mejuto, M. F., Castaño, S., & Vela, A. (1999). Utilidad de las técnicas de observación de la tierra a la elaboración de mapas de vulnerabilidad y riesgo de contaminación de aguas subterráneas. VIII Congreso Nacional de Teledetección. Recursos Hídricos y Agricultura, 22–24.
- Mendoza Astocaza, S., & Rupa Quispitupa, J. M. (2022). Pérdida de cobertura vegetal a causa de los incendios forestales durante 2019–2021 en la localidad de San Jerónimo, Cusco. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/91340>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2022). Lineamientos para la definición, concertación y seguimiento de las determinantes ambientales aplicables a los Planes Parciales. Dirección de Ordenamiento Ambiental Territorial y SINA, 1–90.
- Minambiente, M. d. (s.f.). Ameza, Vulnerabilidad y Riesgo. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/amenaza-vulnerabilidad-y-riesgo/>
- Monterroso Rivas, A. I., López García, J., & Gómez Díaz, J. D. (2010). Apoyo del gobierno mexicano a los agricultores en la gestión de desastres (FAPRACC) y posibles impactos en la aptitud agrícola por cambio climático: Su monitoreo y evaluación a partir de tecnologías satelitales en México. San Juan-Argentina, 15.

- National Geographic. (12 de enero de 2025). “*Este Mapa de La NASA Nos Ofrece Una Perspectiva Distinta de Los Incendios Forestales.*” National Geographic España, www.nationalgeographic.com.es/medio-ambiente/mapa-nasa-nos-ofrece-nueva-perspectiva-incendios-forestales_24013.
- Olaya, E., Pedraza, B., (2018). Plan de Manejo del Parque Nacional Natural Tinigua 2018 -2023. Parques Nacionales Naturales de Colombia.
- Organización de las Naciones Unidas. (16 de enero de 2025 “El Aumento de Los Incendios Forestales Provocados Por El Clima Exige Más Inversión En Prevención.” *Noticias ONU*, news.un.org/es/interview/2025/01/1535771.
- Organización de las Naciones Unidas, (23 de Febrero de 2022) “Los Incendios Forestales Aumentarán Un 30% Para 2050 Y Un 50% Para Fin de Siglo Debido a La Crisis Climática.” *Noticias ONU*, news.un.org/es/story/2022/02/1504472.
- Pazmiño, D. Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación Y Desarrollo*, 7(1), 10-18.
<https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1800>
- PNNC. (2024). Parques Nacionales Naturales de Colombia. Obtenido de Acerca de la entidad: <https://www.parquesnacionales.gov.co/entidad/acerca-de-la-entidad/>
- PNNC, (2021). Parques Nacionales Naturales de Colombia. Guía de estandarización de presiones antrópicas en las áreas protegidas administradas por parques nacionales naturales de Colombia. https://old.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2021/07/aamb_gu_02_estandarizacion-de-presiones-antropicas-en-las-ap-administradas-por-pnnc-_v2.pdf

- Quintero, D. & Silva, S. (7 de febrero de 2022). Colombia está perdiendo un parque nacional natural. El Espectador. https://www.elespectador.com/ambiente/amazonas/colombia-esta-perdiendo-un-parque-nacional-natural/#google_vignette
- Ramos Ramírez, J. (2020). Aplicación de imágenes satelitales del sensor MODIS en la Gestión de Riesgos. <http://hdl.handle.net/11634/30430>
- Richter, F. Y. Artículo| Vegetación y Material Combustible.
- Rios Cruzado, Z. E. (2023). Prevención y reducción de riesgo ante incendios forestales en la región Cusco. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/8107>
- Rocha D., Valenzuela D. (2020). Zonificación De Amenaza Por Incendios Forestales En El Municipio De Nimaima Cundinamarca. [Trabajo de grado, Universidad de Cundinamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.12558/3783>
- Sabbagh Gutiérrez, Y. (2022). Estrategia de mitigación de impactos ambientales generados por la amenaza de incendios forestales en la vereda el Porvenir – Puerto López (Meta). [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. <http://hdl.handle.net/11634/44164>
- Sánchez Castillo, N. (2023). Identificación espacial de áreas con amenaza de incendio forestal en el municipio de Cota Cundinamarca, empleando sistemas de información geográfica a escala 1:25.000. [Trabajo de grado, Universidad Antonio Nariño]. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/8368>
- Sanjuan Rojas, M., & Serrano Guerrero, J. A. (2020). Propuesta de perfiles de proyectos de gestión para la prevención de incendios forestales en los Cerros Orientales de Bogotá. <http://hdl.handle.net/11349/25339>

- Semana (18 de febrero de 2020). Incendio consume 30 hectáreas del Parque Nacional Natural Tinigua. Semana. <https://www.semana.com/medio-ambiente/articulo/incendio-consume-30-hectareas-del-parque-nacional-tinigua/48667/>
- Servicio Geológico de EE.UU. - USGS. (2024). Landsat 8. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>
- Singha, C., Swain, K., Moghimi, A., Foroughnia, F., Swain, F. (2024). Integrating geospatial, remote sensing, and machine learning for climate-induced forest fire susceptibility mapping in Similipal Tiger Reserve, India. *Forest Ecology and Management*, 555 (). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121729>
- Sostenible., M. d. (2022 - 2023). Informe de rendición de cuentas. Bogotá D.C.
- Sowmya, S. V., & Somashekar, R. K. (2010). Application of remote sensing and geographical information system in mapping forest fire risk zone at Bhadra wildlife sanctuary, India. *Journal of Environmental Biology*, 31(6), 969. https://www.jeb.co.in/journal_issues/201011_nov10/paper_13.pdf
- Talero Rodríguez, Y. (2020). Empleo de S.I.G. en la zonificación de amenaza por Incendios de la cobertura vegetal en Cuítiva-Boyacá escala 1:25000. [Trabajo de grado, Universidad Antonio Nariño]. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2144>
- Tan, C., & Feng, Z. (2023). Mapping forest fire risk zones using machine learning algorithms in Hunan province, China. *Sustainability*, 15(7), 6292. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/7/6292>
- Tariq, A., Shu, H., Siddiqui, S., Mousa, B. G., Munir, I., Nasri, A., ... Baqa, M. F. (2021). Forest fire monitoring using spatial-statistical and Geo-spatial analysis of factors determining

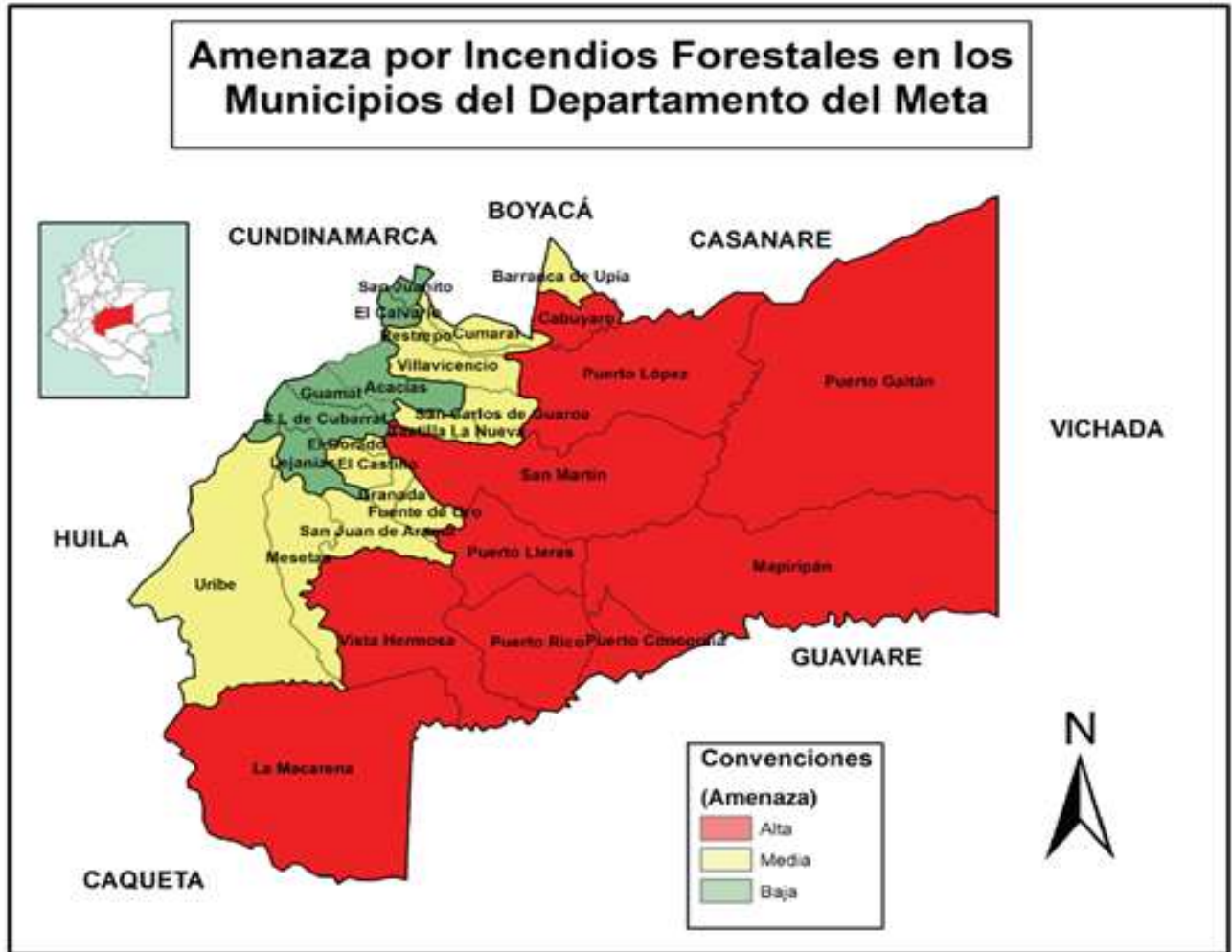
- forest fire in Margalla Hills, Islamabad, Pakistan. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 1212–1233. <https://doi.org/10.1080/19475705.2021.1920477>
- UAECD. (2022). Resolución temporal. Ideca: Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital. <https://www.ideca.gov.co/recursos/glosario/resolucion-temporal>
- Unidad Departamental para la Gestión del Riesgo de Desastres (2018). Plan Departamental para la gestión de riesgo de desastres, <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co:8443/handle/20.500.11762/28951>.
- Urrutia Garces C. (2018). Zonificación de riesgos a incendios forestales en zona rural del municipio de Santiago de Cali. [Trabajo de grado, Universidad de Manizales]. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/3847>
- Urrea Romero, D. (2020). Determinación De Áreas Susceptibles A Incendios Forestales En El Fuerte Militar De Tolemaida - Nilo, Cundinamarca. [Trabajo de grado, Universidad de Cundinamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.12558/3930>
- Van Hoang, T., Chou, T. Y., Fang, Y. M., Nguyen, N. T., Nguyen, Q. H., Xuan Canh, P., Ngo Bao Toan, D., Nguyen, X. L., & Meadows, M. E. (2020). Mapping Forest Fire Risk and Development of Early Warning System for NW Vietnam Using AHP and MCA/GIS Methods. *Applied Sciences*, 10(12), 4348. <https://doi.org/10.3390/app10124348>
- WWF. (29 de enero de 2024). Así afectan los incendios forestales a nuestra biodiversidad. <https://www.wwf.org.co/?386350/incendios-forestales-en-Colombia-hoy-afectan-la-biodiversidad>
- Zárate López, L. G. (2004). Estudio de las características físicas y geométricas de la llama en los incendios forestales [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93747>

Zhang, F., Zhang, B., Luo, J., Liu, H., Deng, Q., Wang, L., & Zuo, Z. (2023). Forest fire driving factors and fire risk zoning based on an optimal parameter logistic regression model: a case study of the Liangshan Yi Autonomous Prefecture, China. *Fire*, 6(9), 336.

<https://www.mdpi.com/2571-6255/6/9/336>

Anexos

Anexo A Mapa de Amenaza por incendios forestales



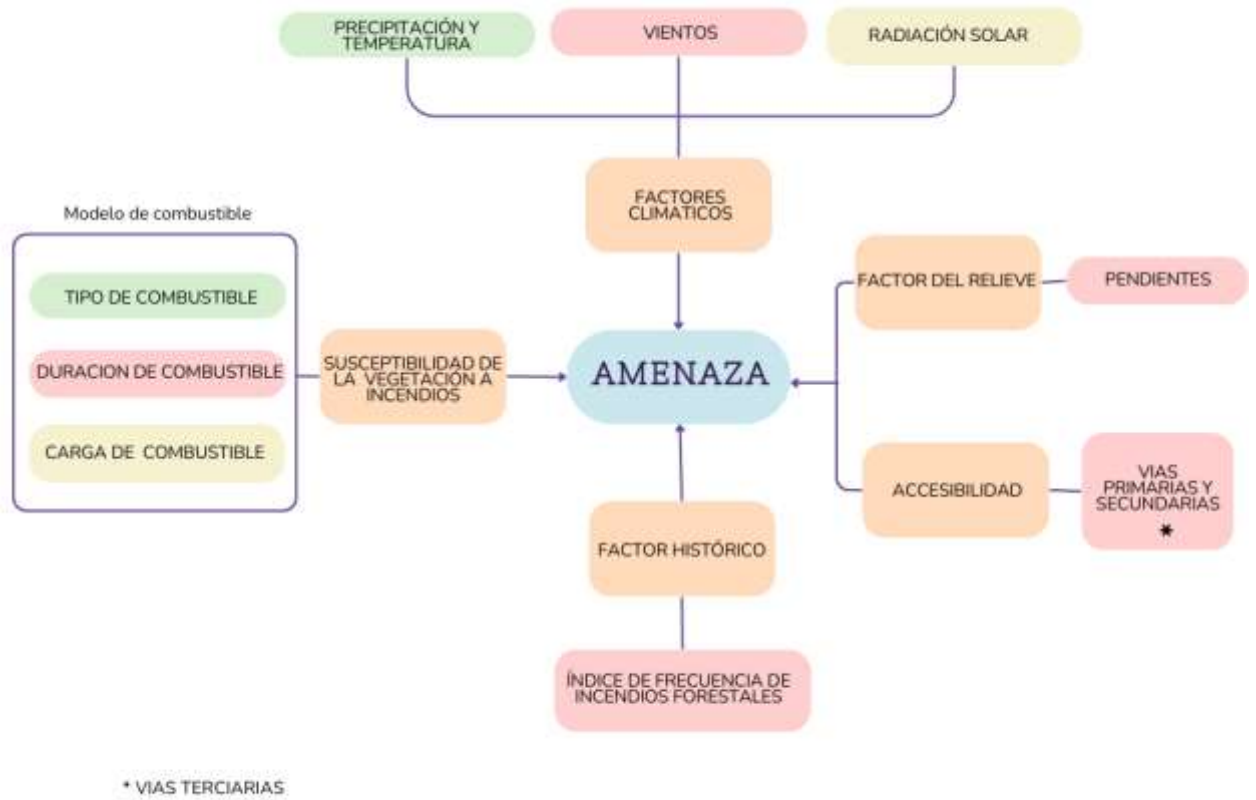
Fuente: PDGRD - Meta 2018

Anexo B Ficha 2.

ETAPA	INFORMACIÓN REQUERIDA	DESCRIPCIÓN	INFORMACIÓN ALTERNATIVA Y/O COMPLEMENTARIA	FUENTES	COMPONENTE EN QUE SE UTILIZA	FACTOR QUE LO UTILIZA	PROCEDIMIENTO PARA OBTENCIÓN DEL FACTOR	NIVEL DE REQUERIMIENTO	
								Obligatorio	Opcional
Preparación (elaboración de la base cartográfica de la zona de estudio)	Mapa de límites político-administrativos	Límites oficiales de la Corporación o ente territorial, del (los) departamento(s), municipal y veredas del área a analizar a escalas 1:300.000, 1:50.000 o 1:25.000, según sea el caso.		IGAC, DANE, UAFOPN, Cartografía POT, EOT, PBOI, CAR	Todas	Todas		X	
	Hidrografía	Cartografía de la red hidrográfica (ríos, quebrados, lagos, lagunas, etc.)		IGAC, Cartografía POT, EOT o PBOI, CAR	Símbolos gráficos	Símbolos gráficos			X
Análisis de susceptibilidad	Mapa de cobertura de la tierra CLC	Cartografía actualizada de coberturas de la tierra según la clasificación Corine Land Cover (CLC) adaptado para Colombia, clasificado al tercer nivel para escalas 1:300.000, al cuarto o quinto nivel para escala 1:50.000 y al sexto o séptimo nivel para escalas 1:25.000 y mayores.	De no tenerse información de coberturas bajo la metodología CLC para la escala de trabajo, se hace necesario generar una actualización de la información de coberturas existente para el área de estudio a la metodología CLC.	IGAC, IDEAM, UAFOPN, AUR, SAP, SINCHI, INVERSI, CAR y Secretarías de ambiente, Cartografía POT, EOT o PBOI	Susceptibilidad	Susceptibilidad Tipo de combustible	Mapa obtenido a partir de la reclasificación del mapa de coberturas CLC. El anexo 2 muestra los equivalencias dadas a cada cobertura de acuerdo con sus características.	X	
						Susceptibilidad Duración del combustible	Obtenido a partir de la reclasificación del mapa de tipo de combustible. El anexo 2 muestra las equivalencias dadas.	X	
	Mapa de biomasa	Contiene la información sobre los valores de biomasa para los diferentes tipos de coberturas. Es indispensable para la generación del mapa de carga de combustible, que forma parte del análisis de susceptibilidad de la vegetación.	Si no se tiene el mapa de biomasa se debe utilizar información secundaria sobre carga de biomasa para distintos tipos de coberturas, la cual debe ser realizada utilizando el mapa de tipo de combustible y el mapa de coberturas CLC, para obtener el mapa de carga de combustible.	IDEAM, UAFOPN	Susceptibilidad	Susceptibilidad Carga de combustible	Se obtiene a partir de la clasificación del mapa de biomasa, utilizando la información de biomasa para distintos tipos de coberturas. De lo contrario se utiliza el mapa de coberturas CLC, las equivalencias de carga de combustible para las diferentes coberturas se muestran en el anexo 2.	X	

Fuente: IDEAM, 2011.

Anexo C Esquema componentes de la Amenaza



Fuente: Adaptado de IDEAM (2011).

Anexo D Esquema componentes de la Vulnerabilidad



Fuente: Adaptado de IDEAM (2011).

Anexo E *Matriz de recursos de información secundaria*

Etapa	Componente	Nombre de Capa	Fuente	Enlace de descarga
		MGN2018 Integrado con CNPV2018, nivel de Departamento	DANE	https://www.dane.gov.co/files/geoportal-provisional/index.html
Preparación (obtención de la base cartográfica de la zona de estudio)	Limites Políticos y Administrativos	MGN2018 Integrado con CNPV2018, nivel de Municipio	DANE	https://www.dane.gov.co/files/geoportal-provisional/index.html
		Tinigua	PNN	RUNAP (parquesnacionales.gov.co)
		Nivel de referencia de veredas	DANE	Geo portal DANE- Página de descarga
Preparación (obtención de la base cartográfica de la zona de estudio)	Hidrografía	Drenaje Doble	IGAC	Capa Digital Drenaje Doble. República de Colombia. Escala 1: 1 000 000. Año 2007. Servicio WMS Escala 1: 1000 000. (icde.gov.co)
		Drenaje Sencillo	IGAC	Metadatos ICDE
		Hidrorivers (humedal)	Hydrosheds	https://www.hydrosheds.org/products/hidrorivers

		Zonificación Hidrográfica 2013	IDEAM	Inicio - DATOS ABIERTOS (ideam.gov.co)
Análisis de susceptibilidad	Cobertura de la tierra	Coberturas de la tierra 2018	IDEAM	http://www.siac.gov.co/coberturas-de-la-tierra1
	Vías	Red Vial Nacional (vías primarias y secundarias)	INVIAS	https://inviasopendata.invias.opendata.arcgis.com/
	Vías	Vías terciarias	DNP	https://onl.dnp.gov.co/Paginas/IA-Vias-Terciarias.aspx
	Vías	Vías terciarias (digitalización con imagen sasplanet)	Elaboración propia	GDB
Análisis de Amenaza	Modelo Digital de Terreno	DEM Departamento del Meta res. 30x30	CORMACARENA	GDB Corporativa
	Precipitación	Precipitación media anual y multianual	IDEAM (DHIME)	http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/
	Temperatura	Temperatura media anual y multianual	IDEAM (DHIME)	http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/
	Dirección y velocidad de los vientos	Dirección y velocidad medias	IDEAM (DHIME)	http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/

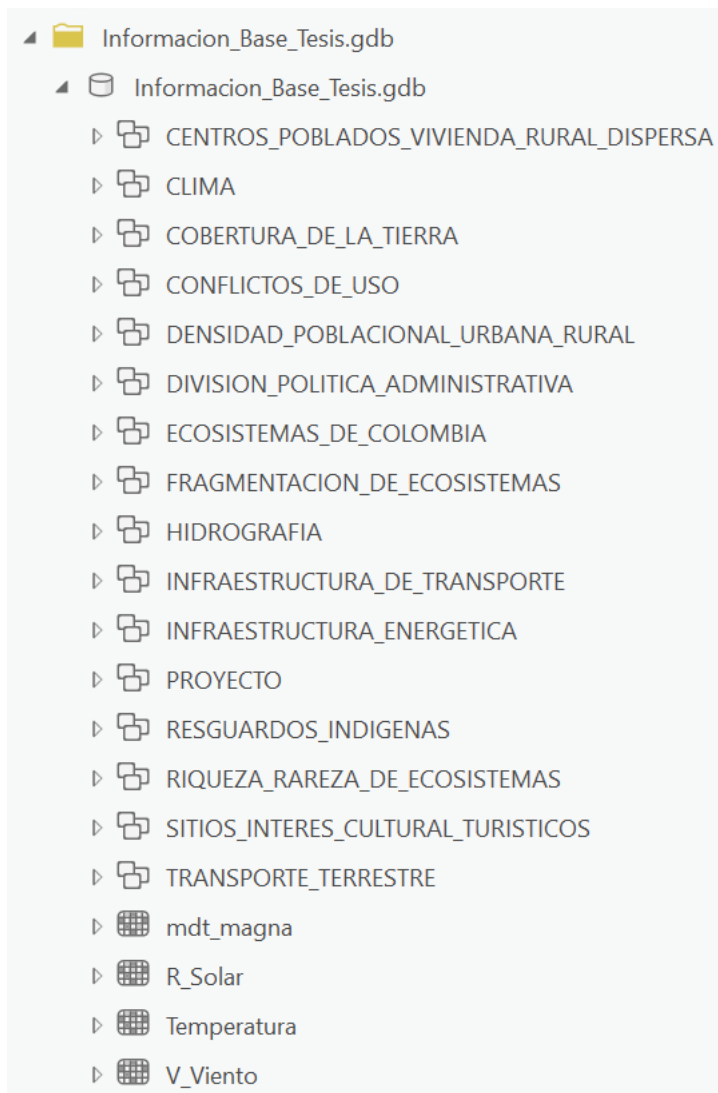
		anuales y multianuales		
	Radiación solar	medias anuales y multianuales	IDEAM (DHIME)	http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/
Análisis de vulnerabilidad	Organización social	Organizaciones (ubicación)	Elaboración propia.	GDB
	Densidad de la población urbana y rural	MGN2018 Integrado con CNPV2018, nivel de Municipio	DANE	https://www.dane.gov.co/files/geoportal-provisional/index.html
	Distribución espacial de la población	Viviendas rurales dispersas (digitalización con imagen sasplanet)	Elaboración propia	GDB
	Centros poblados y viviendas dispersas	Viviendas rurales dispersas (Calculo metodología DANE)	Elaboración propia	GDB
	Ecosistemas de Colombia	Ecosistemas potenciales de Colombia, año 2015, Escala 1:100.000	Humboldt	http://geonetwork.humboldt.org.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/08b22fe2-5c4a-4b7a-89a8-ed6ea5d9cbdb
	Fragmentación de ecosistemas	Degradación de Bosque 2020-2022	SIATAC	coberturas Portal de Datos Abiertos del

			SIAT-AC - Instituto SINCHI (siatac.co)
riqueza y rareza ecosistémica	Mapa de riqueza de regiones bióticas por cada ecosistema potencial de referencia utilizado en el proceso de Lista Roja de Ecosistemas de Colombia, elaborado en 2017 a escala 1:100.000.	Humboldt	http://geonetwork.hu mboldt.org.co/geonet work/srv/spa/catalog.g.search#/metadata/92cc49dc-34bf-41c0-8163-21b28e58f05a
Conflictos de uso del suelo	Mapa de Conflictos de Uso del Territorio Colombiano a escala 1:100.000	IGAC	https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia
Límites de PNN, reservas regionales y municipales	Tinigua	PNN	RUNAP (parquesnacionales.gov.co)
Sitios de interés cultural, turístico	Sitios turísticos, senderos	PNN	GDB corporativa
Resguardos	Resguardos	Ministerio del interior, ANT	Resguardos Indígenas Resguardos Indígenas Agencia

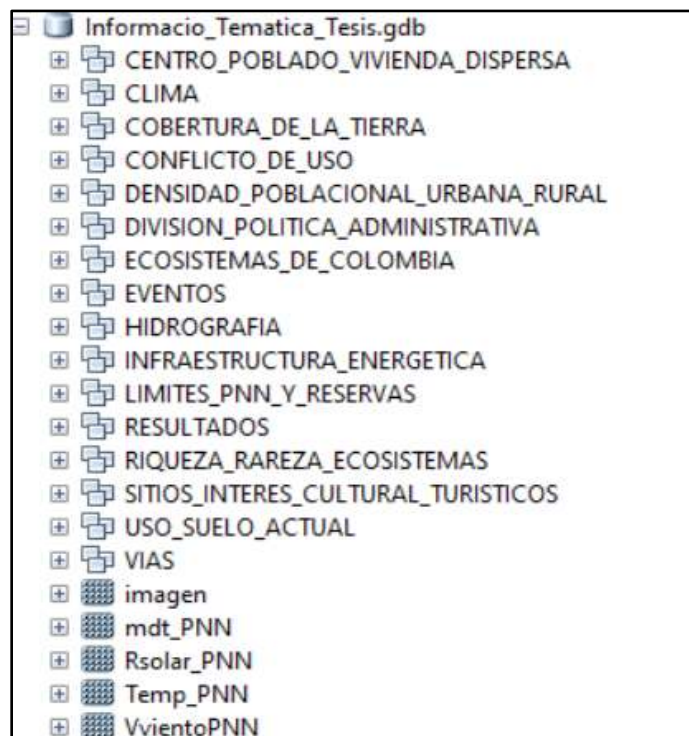
			Nacional de Tierras (arcgis.com)
Vías	Red Vial Nacional (vías primarias y secundarias)	INVIAS	https://inviasopendata-arcgis.com/
Vías	Vías terciarias	DNP	https://onl.dnp.gov.co/Paginas/IA-Vias-Terciarias.aspx
Vías	Vías terciarias (digitalización con imagen sasplanet)	Elaboración propia	GDB
Infraestructura Energética	Infraestructura Energética	CORMACARENA	GDB Corporativa
Infraestructura Transporte	Ubicación de aeropuertos, helipuertos, puertos fluviales y/o marítimos.	INVIAS	https://inviasopendata-arcgis.com/
Uso actual del suelo	Coberturas de la tierra 2018	IDEAM	http://www.siac.gov.co/coberturas-de-la-tierra1https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiIt7n9pvyHAXWrSjABHcNIK

ywQFnoECBgQAQ
&url=http%3A%2F
%2Fwww.siac.gov.c
o%2Fcoberturas-de-
la-
tierra1&usg=AOvVa
w0AEtI68VGzjVsB
W4nw1T4L&opi=89
978449

Fuente: elaboración propia, 2025

Anexo F *Informacion_Base_Tesis.gdb*

Fuente: elaboración propia, 2025

Anexo G *Informacio_Tematica_Tesis.gdb*

Fuente: elaboración propia, 2025