



**Zonificación del riesgo a incendios forestales en el municipio de Natagaima, Tolima
mediante el software ArcGIS Pro**

María Camila Sánchez Villalba
Jenny Paola Rivas Bocanegra
Cristian Fabián Matiz Buitrago
Susana Andrea Escudero Hernández

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

Tutor: Juan Sebastián Grisales, Especialista (Esp) en Sistemas de información geográfica y
Geotecnia

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

Cita	(Sánchez Villalba et al., 2025)
Referencia	Sánchez Villalba et al (2025). <i>Zonificación del riesgo a incendios forestales en el municipio de Natagaima, Tolima mediante el software ArcGIS Pro</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Manizales. RIDUM: Repositorio Institucional Universidad de Manizales.
Estilo APA 7 (2020)	



Especialización en Sistemas de Información Geográfica - Virtual

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

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

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

Universidad de Manizales: www.umanizales.edu.co

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

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

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

Contenido

Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
1. Planteamiento del problema.....	13
1.1 Antecedentes	14
2. Justificación	20
3. Objetivos	21
3.1 Objetivo general	21
3.2 Objetivos específicos.....	21
4. Hipótesis	22
4.1 Hipótesis de trabajo.....	22
4.1.1 Hipótesis nula.....	22
4.1.2 Hipótesis alterna.....	22
4.2 Variables.....	22
5. Marco teórico.....	24
5.1 Marco conceptual	24
5.1.1 Incendio de la cobertura vegetal.....	24
5.1.2 Gestión del Riesgo en Incendios Forestales	24
5.1.3 Conocimiento del riesgo de incendios forestales	24
5.1.4 Amenaza de incendio forestal	24
5.1.5 Vulnerabilidad de incendios forestal.....	25
5.1.6 Riesgo de Incendio Forestal	25
5.1.7 Prevención del riesgo en incendios forestales.....	25
5.1.8 Causas de los incendios forestales en Colombia.....	26

5.1.9	Efectos de los incendios forestales	26
5.1.10	Sistemas de Información Geográfica (SIG)	28
5.2	Marco legal.....	28
5.2.1	Leyes y Decretos	29
5.2.2	Resoluciones.....	30
5.2.3	Planes y estrategias.....	30
6.	Metodología.....	31
6.1	Enfoque metodológico	32
6.2	Tipo de estudio	33
6.3	Procedimiento metodológico.....	33
6.3.1	Primera Fase: Recolección de información.....	34
6.3.2	Segunda Fase: Procesamiento	35
6.3.3	Tercera fase: Salidas gráficas	60
7.	Resultados.....	63
7.1	Factores de amenaza.....	71
7.1.1	Susceptibilidad de la cobertura a incendios de la cobertura vegetal	71
7.1.2	Amenaza por accesibilidad.....	75
7.1.3	Amenaza por factor relieve	76
7.1.4	Amenaza por factores climáticos	77
7.1.5	Amenaza por factor histórico	79
7.1.6	Amenaza total a ICV	80
7.2	Factores de vulnerabilidad	82
7.2.1	Vulnerabilidad institucional	82
7.2.2	Vulnerabilidad poblacional	83
7.2.3	Vulnerabilidad ecológica.....	84

7.2.4	Vulnerabilidad física	85
7.2.5	Vulnerabilidad patrimonial	86
7.2.6	Vulnerabilidad de la infraestructura	87
7.2.7	Vulnerabilidad económica.....	88
7.2.8	Vulnerabilidad territorial.....	89
7.2.9	Vulnerabilidad Total	90
7.3	Zonificación del riesgo a incendios forestales	92
8.	Discusión.....	93
9.	Conclusiones	96
10.	Recomendaciones.....	99
11.	Referencias	100

Lista de tablas

Tabla 1 Efectos de los incendios forestales.....	26
Tabla 2 Calificación y categorización general de factores.....	38
Tabla 3 Escala numérica Saaty.....	39
Tabla 4 Características del combustible vegetal para las categorías del nivel 3 del sistema Corine Land Cover.....	42
Tabla 5 Calificación y categorización del tipo, duración y carga total del combustible.....	45
Tabla 6 Clasificación, calificación y categorización de la temperatura.....	47
Tabla 7 Clasificación, calificación y categorización de las precipitaciones.....	47
Tabla 8 Clasificación, calificación y categorización de la pendiente.....	48
Tabla 9 Calificación y categorización del factor accesibilidad.....	49
Tabla 10 Factores de la vulnerabilidad a incendios de la cobertura vegetal.....	50
Tabla 11 Calificación y categorización de la vulnerabilidad por densidad poblacional.....	51
Tabla 12 Calificación y categorización de la vulnerabilidad física.....	52
Tabla 13 Influencia del fuego sobre los ecosistemas continentales y marinos de Colombia.....	52
Tabla 14 Calificación y categorización de la vulnerabilidad ecológica.....	54
Tabla 15 Calificación y categorización de la vulnerabilidad de la infraestructura.....	55
Tabla 16 Calificación y categorización de la vulnerabilidad patrimonial.....	55
Tabla 17 Clasificación del uso actual del suelo a partir de las coberturas de la tierra.....	56
Tabla 18 Calificación y categorización de la vulnerabilidad económica.....	58
Tabla 19 Calificación y categorización de la vulnerabilidad total.....	59
Tabla 20 Calificación y categorización de la zonificación del riesgo a incendios de la cobertura vegetal.....	60
Tabla 21 Construcción de mapas temáticos.....	60
Tabla 22 Variables y fuentes de información empleadas en el análisis de amenaza, susceptibilidad y riesgo por incendios forestales.....	64

Lista de figuras

Figura 1 Metodología general	32
Figura 2 Factores de la amenaza a ICV.....	41
Figura 3 Mapa de tipo de combustible en la susceptibilidad a ICV	72
Figura 4 Mapa de duración del combustible en la susceptibilidad a ICV.....	73
Figura 5 Mapa de carga total de combustible en la susceptibilidad a ICV	74
Figura 6 Mapa de susceptibilidad total a ICV.....	75
Figura 7 Mapa de amenaza por accesibilidad	76
Figura 8 Mapa de amenaza por factor relieve	77
Figura 9 Mapa de amenaza por precipitación	78
Figura 10 Mapa de amenaza por temperatura	79
Figura 11 Mapa de amenaza por factor histórico.....	80
Figura 12 Mapa de amenaza total	81
Figura 13 Mapa de vulnerabilidad institucional.....	83
Figura 14 Mapa de vulnerabilidad poblacional.....	84
Figura 15 Mapa de vulnerabilidad ecológica	85
Figura 16 Mapa de vulnerabilidad física.....	86
Figura 17 Mapa de vulnerabilidad patrimonial	87
Figura 18 Mapa de la vulnerabilidad de la infraestructura.....	88
Figura 19 Mapa de la vulnerabilidad económica de Natagaima	89
Figura 20 Mapa de la vulnerabilidad territorial de Natagaima	90
Figura 21 Mapa de vulnerabilidad total a ICV.....	91
Figura 22 Mapa de zonificación del riesgo a ICV	92

Siglas, acrónimos y abreviaturas

ICV: incendios de la cobertura vegetal

CORTOLIMA: Corporación autónoma regional del departamento del Tolima

IDEAM: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales

UNGRD: Unidad nacional para la gestión del riesgo de desastres

Resumen

Los incendios forestales representan uno de los principales factores de alteración o deterioro del ambiente, impactando negativamente en aspectos sociales, económicos y ambientales de una región. En Colombia, se estima que el 95% de los incendios en la cobertura vegetal reportados tienen un origen antrópico y el 5%, a eventos naturales como: rayos en tormentas eléctricas, erupciones volcánicas o efusiones de lava.

La presente investigación tiene por objetivo crear un mapa de zonificación de riesgo a incendios forestales en el municipio de Natagaima, Tolima, a través del uso del software ArcGIS Pro y la implementación de la metodología establecida por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, denominada “Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal”. En este estudio, se evalúan factores para determinar la amenaza y vulnerabilidad del área de estudio tales como: hidrología, cobertura vegetal, biomasa, vías, pendientes, precipitaciones, densidad poblacional, uso del suelo actual, áreas protegidas, entre otros.

En este sentido, la creación del mapa de zonificación de riesgo a incendios forestales se constituye como un insumo o herramienta de planificación para todos los actores involucrados en la toma de decisiones en la prevención y mitigación de incendios de la cobertura vegetal, donde se focalizan las áreas con mayor probabilidad de ocurrencia y se priorizan acciones de control.

Palabras Amenaza, Vulnerabilidad, Susceptibilidad, Riesgo, Incendios forestales, Sistemas de información geográfica.

Abstract

Forest fires represent one of the main factors of environmental alteration or deterioration, negatively impacting the social, economic, and environmental aspects of a region. In Colombia, it is estimated that 95% of reported forest fires are caused by human activity, and 5% are caused by natural events such as lightning in thunderstorms, volcanic eruptions, or lava flows.

This research aims to create a forest fire risk zoning map in the municipality of Natagaima, Tolima, using ArcGIS Pro software and implementing the methodology established by the Institute of Hydrology, Meteorology, and Environmental Studies (IDEAM), called the "Protocol for the Creation of Forest Fire Risk Zoning Maps." This study evaluates factors to determine the threat and vulnerability of the study area, such as hydrology, vegetation cover, biomass, roads, slopes, rainfall, population density, current land use, protected areas, among others. In this sense, the creation of the forest fire risk zoning map serves as an input or planning tool for all stakeholders involved in decision-making regarding the prevention and mitigation of vegetation cover fires, focusing on the area's most likely to occur and prioritizing control actions.

Keywords: Threat, Vulnerability, Susceptibility, Risk, Forest fire, Geographic information systems.

Introducción

Los incendios forestales se consideran en la actualidad como una de las principales amenazas, teniendo en cuenta su frecuencia, así como la magnitud de sus impactos sobre los medios biótico y abiótico. Si bien, históricamente estos eventos han tenido diversos orígenes, tanto naturales como antrópicos. Diferentes estudios señalan que una gran cantidad de incendios forestales son causados por actividades humanas, especialmente por el uso negligente del fuego en contextos agrícolas, recreativos o de expansión territorial; adicionalmente, las condiciones climáticas actuales favorecen la disponibilidad de material combustible, incrementando de esta manera la severidad y extensión de los incendios en regiones como Norteamérica, Australia y Europa (Farid et al., 2024).

En un contexto nacional, los incendios forestales son clasificados como uno de los principales motores de transformación del ambiente y sus daños alcanzan todos los componentes naturales: aire, suelo, agua, seres vivos, infraestructura, entre otros (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], s.f.). La ocurrencia de incendios forestales es multicausal, con alta dinámica en el tiempo y espacio; en Colombia el 95% de los casos reportados de incendios forestales son ocasionados por el ser humano, debido a la ampliación de la frontera agrícola y la utilización del fuego en la preparación de terrenos agrícolas en el país, potenciado por las condiciones climáticas específicas como el fenómeno “El niño” marcado en periodos secos (IDEAM et al., 2016).

En 2022, la UNGRD (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres) realizó la caracterización general del escenario de riesgo por incendio forestal para Colombia, reiterando que al menos el 95% de los eventos reportados en Colombia, son causados por el ser humano. Para noviembre de 2023 el IDEAM declaró de manera oficial el fenómeno “El niño” en Colombia, resaltando la probabilidad de reducción de precipitaciones en los meses siguientes con respecto a los promedios históricos. Teniendo en cuenta lo anterior y las afectaciones que se vienen presentando, el 27 de enero de 2024 el gobierno nacional expide el Decreto 037 de 2024, por el cual declaró una situación de Desastre Nacional (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático [IDIGER], 2024).

A nivel general en el 2015, los incendios forestales consumieron alrededor de 207.73 hectáreas de capa vegetal, disminuyendo la producción de agua y causando desplazamiento de la

fauna, produciendo así que ciclos ecosistémicos se rompieran. Aunque el departamento cuenta con inversiones para la restauración de zonas perdidas, el valor elevado (\$815.176.687 para el 2015), podría ser menor, si la participación de la población fuera al adecuada, adicionalmente, no se hace evidente la participación del sector privado, por su falta de interés por generar propuestas para contribuir de alguna manera en la restauración de las zonas afectadas (Flórez Guzmán et al., 2017).

El departamento del Tolima presenta una combinación que lo hacen especialmente susceptible a la propagación de incendios forestales: temperaturas elevadas, baja humedad y vegetación densa (Perea & Murillo, 2024). Múltiples estudios revelan la vulnerabilidad y afectaciones del territorio a incendios forestales; identificando áreas susceptibles a incendios forestales (Solarte Casanova, s.f.), afectaciones negativas sobre el ambiente edáfico y la biomasa, y una gran afectación del bosque seco tropical (BsT) que ha sido consumido el 25% de su extensión (Ospina Céspedes, 2017).

Entre 2001 y 2020, el Tolima percibió una alta variabilidad anual en las áreas afectadas por incendios, acumulando un total de 283.610 hectáreas quemadas. La provincia sur afectada principalmente en los municipios de Chaparral, Ortega, Natagaima y Ataco representaron el 24% de estos registros. En la provincia Ibagué, municipios como Espinal, Ibagué, San Luis y Rovira acumularon el 15,42% de los focos, de manera conjunta estos municipios reunieron el 61,66% del total de focos de calor registrados (Perea & Murillo, 2024).

Este trabajo de investigación tiene como objetivo zonificar el riesgo de incendios forestales en el municipio de Natagaima, Tolima, a través de un análisis de los componentes de amenaza, susceptibilidad y vulnerabilidad. Para ello, se utilizará la metodología del protocolo propuesta por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] (2011) para la elaboración de mapas de zonificación del riesgo por incendios en la cobertura vegetal, empleando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se analizarán variables climáticas, sociales, topográficas, de cobertura vegetal y demás elementos con base a las necesidades expuestas en el protocolo en mención, con el fin de generar productos cartográficos que sirvan como insumos técnicos para la planificación territorial y la toma de decisiones con la identificación de aquellas áreas con mayor riesgo y así contribuir a la disminución de las afectaciones.

1. Planteamiento del problema

El municipio de Natagaima ubicado al sur del departamento del Tolima ha venido enfrentando en los últimos años un sin número de emergencias ambientales asociadas a los incendios forestales, los cuales han afectado considerablemente diferentes ecosistemas, entre estos, el asociado al bosque seco tropical, siendo este un ecosistema estratégico que se extiende a lo largo de este municipio. Estos incendios no solamente generan un efecto negativo en la biodiversidad, sino también, a las comunidades locales e infraestructuras públicas y privadas. En el 2024 el municipio enfrentó un incendio de gran magnitud el cual activo las alarmas del gobierno nacional a tal punto que se reportó una ocupación del 83% de las operaciones aéreas del país en solo este municipio, helicópteros con descargas de agua y liquido retardante, junto con 581 unidades terrestres ayudaron a erradicar el fuego (UNGRD, 2024). En ese mismo año, en el mes de septiembre, se utilizaron más de 20.000 galones de agua desde el aire para sofocar los incendios forestales generados en la temporada seca abrasadora del municipio (Gobernación del Tolima, 2024). El evento mencionado anteriormente duro aproximadamente 20 días, se reportó una afectación de 23.900 hectáreas abarcando 6 de las 13 veredas y alrededor de 550 familias afectadas según la alcaldesa del municipio Astrid Pava (Brisneda, 2024).

En síntesis, los incendios forestales en el municipio son un problema recurrente que afecta gravemente a los ecosistemas, la agricultura y las comunidades locales. El clima cálido, la vegetación vulnerable y el impacto del cambio climático aumentan el riesgo, comprometiendo la biodiversidad y la calidad de vida, lo que exige una gestión adecuada del riesgo. La creciente frecuencia y severidad de los incendios, agravada por el cambio climático y sequías prolongadas, representa una amenaza significativa para los recursos naturales, la biodiversidad y el bienestar de las comunidades. Identificar las zonas más vulnerables es fundamental para proteger estos recursos esenciales y garantizar la sostenibilidad socioeconómica de la región

Pese a la gravedad de la situación, aún persisten vacíos importantes en el conocimiento técnico sobre las áreas más vulnerables del municipio, lo que limita la capacidad de respuesta oportuna y la formulación de estrategias de prevención y mitigación del riesgo. Por esta razón, se hace necesario contar con información confiable y actualizada que permita identificar y zonificar las áreas con mayor susceptibilidad a incendios, considerando variables tanto naturales como antrópicas.

Mediante un análisis de factores climáticos, topográficos, de cobertura vegetal y de actividades humanas para identificar las áreas de mayor riesgo y evaluar su impacto en las comunidades y los ecosistemas, el presente estudio pretende responder a la siguiente pregunta investigativa:

¿Cuáles son las áreas con mayor riesgo a incendios en el municipio de Natagaima, Tolima?

1.1 Antecedentes

Contexto internacional

Los incendios en los bosques han aumentado en los últimos años, volviéndose una amenaza mundial para los ecosistemas, la salud de las personas y el clima. Varios estudios y organizaciones internacionales han registrado este fenómeno, subrayando sus causas, efectos y la necesidad de poner en marcha acciones de mitigación y adaptación.

En los últimos 250 años, la cantidad de cambios en los patrones de fuego ha crecido diez veces en comparación con el resto del Holoceno. Este fenómeno está vinculado al aumento del uso de la tierra y al cambio climático causado por el ser humano, lo que impacta la biodiversidad y los servicios que proporcionan los ecosistemas (Sayed et al., 2024).

En diferentes países del mundo, se han desarrollado estudios enfocados en la identificación de zonas de cobertura vegetal vulnerables a incendios mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG) y análisis multivariado.

Tal es el caso de los incendios forestales que afectan anualmente en los ecosistemas mediterráneos de la porción norte de Baja California, en donde recursos de diferente índole se ven comprometidos. Es por esto, que Sepúlveda et al. (2003) desarrollaron un sistema de información geográfica (SIG) integrando índices de peligro y simulación de incendios. La implementación de este sistema permitió identificar la probabilidad de ignición, tasa de dispersión del fuego e índices de quema, lo que permitió diseñar una clasificación de áreas con riesgo de incendio a escala local y estatal.

Por otra parte, Estrela et al. (2005) identificaron que las condiciones meteorológicas constituyen un factor decisivo en la dinámica y evolución de los incendios forestales en la comunidad Valenciana (España). En este sentido, utilizaron un modelo mesoescalar Regional Atmospheric Modelling System para simular los flujos de viento en estos tipos sinópticos,

obteniéndose una cartografía con la evolución del viento a gran resolución y desagregada por cuencas. Los resultados obtenidos se integraron en un SIG para los respectivos análisis cartográficos y consecuentemente, su aplicación en la gestión forestal tanto para prevención como en extinción de incendios.

En otro contexto, Dorrego & Álvarez (2009) menciona que el Sistema de Información Territorial de Galicia (SITGA) ha aplicado diferentes metodologías para la obtención de la cartografía histórica de superficies quemadas y su posterior integración en SIG, utilizando los datos procedentes de diferentes satélites. Como resultado de todos estos procesos se obtiene una amplia cartografía de las zonas quemadas durante los últimos años, lo cual conlleva a la prevención, planificación y protección del territorio.

De acuerdo con Moya et al. (2012), la evaluación de riesgos de incendios forestales y el manejo de combustibles se constituyen en actividades de importancia debido a un incremento en el área quemada se relaciona con el cambio climático global, principalmente. El Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA FS) en el oeste de EEUU fomenta el uso de herramientas para reducir las pérdidas financieras y ecológicas derivadas de los incendios forestales catastróficos. Las actividades del tratamiento de combustibles incluyen una serie de operaciones en el manejo forestal, tales como: adelgazamiento, tratamientos mecánicos (ejemplo, masticación), o incendios prescritos para reducir el combustible y romper continuidad (horizontal y vertical), teniendo como objetivo reducir la frecuencia de los incendios forestales. Sin embargo, incluyendo el manejo de combustibles en la planificación forestal es compleja y requiere probar aplicaciones con software de modelos de comportamiento de incendios en tanto un contexto de la investigación como operacional (Calkin et al., 2011 citados por Ródenas, 2024). En este sentido, las herramientas de visualización proporcionan retroalimentación para diseñar un tratamiento de las masas, ayudando en la comunicación y la comprensión de los efectos futuros y posibles escenarios en un contexto de paisaje.

Según Ródenas (2024), los satélites de observación de la tierra permiten monitorizar de forma regular y con resoluciones espaciales cada vez mejores parámetros geofísicos a nivel global. La monitorización de estos parámetros permite desarrollar nuevas aplicaciones que pueden resultar útiles para predecir el riesgo de producirse desastres naturales como incendios, inundaciones y la propagación de algunas epidemias.

Los modelos predictivos basados en inteligencia artificial son herramientas clave en el estudio de fenómenos naturales adversos o desastres naturales, tanto para la detección temprana de estos como para diseñar rutas de actuación. Estos algoritmos permiten crear modelos aprendidos de la ingestión de muchos datos. Gracias a la gran potencia de cálculo y almacenamiento que tienen los ordenadores actuales, así como el gran número de medidas que se han y se están obteniendo con las misiones de satélite a día de hoy se están desarrollando muchas aplicaciones que aplican las técnicas de Machine learning (ML) (Ródenas, 2024).

Actualmente, se están desarrollando muchos algoritmos predictivos basados en IA y Machine Learning y que utilizan imágenes de satélite en la predicción de desastres naturales. Sin embargo, los desastres naturales no están disminuyendo, y cada vez son más frecuentes y más intensos, seguramente debido a los efectos del cambio climático. Como evidencia se tienen los incendios forestales, que son cada vez más frecuentes y violentos y desde la ONU, a través de su Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) se avisa de que cada vez irán a más. Por ello es importante comprender mejor el comportamiento de estos incendios y de ahí que cada vez aparecen más modelos climáticos enfocados en el estudio de estos, un ejemplo es el proyecto Bee2FireDetection que utiliza la inteligencia artificial de IBM. Como lo sugieren los bomberos, lo más importante es poder predecir la probabilidad de que un incendio se propague rápidamente y se quemen muchas hectáreas. Por ello, el poder predecir el área potencial quemada resulta de gran interés. De lo cual, se ha desarrollado un algoritmo de Machine Learning y se han recopilado datos de incendios ocurridos en Indonesia desde 2010 hasta 2020.

El principal factor a tener en cuenta es el área total que se ha quemado en el terreno estudiado. La información del área quemada se ha obtenido de la base de datos Global Wildfire Information System (GWIS) mediante la variable `gwis_ba` que asigna a cada punto formado por un valor de latitud y longitud el número de hectáreas que se han quemado en dicho punto. Asimismo, los parámetros utilizados en el algoritmo de predicción de Machine Learning, corresponden a los relacionados con la propagación de incendios: precipitación total, humedad relativa del aire, temperatura, FWI (Fire Weather Index) que es un índice meteorológico utilizado para la estimación del riesgo de incendios, entre otros. De este trabajo, se determinó que las variables que más han influido en la predicción del riesgo de incendio, si se tiene en cuenta la predicción que mejor rendimiento ha proporcionado se ha podido ver que prácticamente todas las variables han tenido cierta importancia. Sin embargo, las más relevantes han sido: la temperatura

mínima, el FWI, el déficit de presión de vapor, la temperatura del suelo durante el día y la humedad relativa del aire. Por lo tanto, se observó que todas las variables que pueden reflejar una sequedad del aire y temperaturas elevadas, teniendo especial importancia las temperaturas mínimas que se puedan registrar, han resultado ser muy útiles a la hora de pronosticar la aparición de incendios (Ródenas, 2024).

Contexto nacional y local

Los incendios forestales constituyen un grave peligro para los ecosistemas existentes en Colombia, intensificados por el clima y la intervención del hombre. Tal es el caso, de los incendios forestales que impactan en la capacidad de recuperación de los bosques inundables en Colombia, modificando su estructura y su función ecológica. Donde, la restauración de estos ecosistemas está influenciada por elementos tales como: la severidad del fuego y las condiciones del agua; Según la investigación de Meza (2023), los incendios afectan a las poblaciones de plantas y la cantidad de material combustible en los bosques inundables de la cuenca del Orinoco en Colombia. En este sentido, dentro de un panorama de deforestación y calentamiento global, se buscan estrategias de mitigación y control de los incendios intensificados en el territorio colombiano (Universidad Nacional Abierta y a Distancia [UNAD], 2024).

Existen dentro de estas estrategias, importantes metodologías relacionadas con los Sistemas de Información Geográfica aplicados en la gestión del riesgo a incendios de la cobertura vegetal a nivel nacional.

Se destaca el ejercicio desarrollado por Herrera (2016), el cual llevó a cabo un estudio acerca de la determinación de zonas de riesgo por incendios forestales en el área de distribución del bosque seco tropical, en el municipio de Ocaña - Norte de Santander, donde se emplearon tecnologías de información geográfica, para la gestión de datos e información necesaria tomada de plataformas y geoportales, adoptando un protocolo diseñado por el IDEAM (2011), el cual se basa en el análisis previo de amenaza y vulnerabilidad y posterior obtención de zonas de riesgo. Todo el trabajo se enmarcó en la tecnología de percepción remota o teledetección, en donde la principal fuente de información fueron imágenes capturadas por satélites.

Asimismo, se resalta el trabajo realizado por Urrea (2020), el cual hace un análisis integral de la amenaza por incendios forestales, que incorpora la ocurrencia de incendios forestales y la

dinámica de estos por medio del análisis de susceptibilidad de la cobertura vegetal, pendientes, patrones climáticos, accesibilidad y registros históricos de la zona de estudio. Este análisis también adopta el método propuesto por el IDEAM denominado “Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal (2011)”, el cual se basa en la recolección de información, clasificación y calificación de los factores ambientales.

Por su parte, Martelo & Ríos (2022) realizaron una evaluación del riesgo a incendios de la cobertura vegetal en el Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá, Colombia), mediante el uso de una metodología multicriterio basada en el protocolo del IDEAM (2011), con adaptaciones conceptuales derivadas de teorías recientes sobre gestión del riesgo. Su análisis integró las variables de amenaza y vulnerabilidad, encontrando que el 27,3 % del área protegida presenta un riesgo alto o muy alto de incendios forestales. Este estudio resalta cómo factores como el cambio en el uso del suelo, las quemas agrícolas en épocas de sequía y el cambio climático incrementan significativamente el riesgo de incendios en ecosistemas estratégicos.

Desde una perspectiva regional, en el año 2024, entre los meses de agosto a octubre se perdieron más de 12.000 hectáreas de bosques arrasados por el fuego en 30 municipios tolimenses, donde Natagaima fue uno de los municipios más afectados, perjudicando con graves quemaduras a la fauna silvestre y a la población (Corporación Autónoma Regional del Tolima [CORTOLIMA], 2024).

El equipo técnico de la UNGRD, el Cuerpo de Bomberos y La cruz roja visitaron el municipio de Natagaima y realizaron sobrevuelos para evaluar y diagnosticar la situación de los incendios; a la población se le brindó atención por afectaciones respiratorias y apoyo psicosocial necesario (UNGRD, 2024). Las afectaciones ambientales de estos incendios forestales obligaron a las entidades públicas y a la población de Natagaima a tomar medidas para la recuperación del ecosistema, en compañía de la Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA) se plantaron 8.000 plántulas, como parte de la iniciativa de restauración ambiental de las zonas dañadas por los incendios forestales que impactaron el departamento en septiembre del año 2024 (CORTOLIMA, 2024).

Escasos estudios acerca de los incendios forestales en la región Andina complican el entendimiento de sus causas y consecuencias a largo plazo. En el estudio de Perea et al. (2024), realizado en la región del Tolima examinó los puntos de calor del sensor MODIS desde 2001 hasta 2022 y su relación con factores como la lluvia mensual, las coberturas vegetales y la altitud del

terreno. Utilizando sistemas de información geográfica se identificaron 7334 focos de calor, presentando patrones bimodales, siendo agosto y septiembre los meses con mayor registro. Estos resultados contribuyen a entender los incendios a nivel departamental.

Con relación a lo anteriormente expuesto, Koudenoukpo (2023) señala que la creciente amenaza de los incendios forestales exige la implementación de estrategias integradas que traten al mismo tiempo la gestión forestal, el cambio climático y la sostenibilidad. La colaboración entre países y la inclusión de las comunidades locales son fundamentales para crear métodos eficaces de prevención y reducción de riesgos.

Asimismo, la adopción de estas metodologías y estrategias han permitido llevar el conocimiento a otros niveles en la toma de decisiones en lo concerniente a la planificación y gestión del riesgo de desastres en nuestro país, lo cual logra mejorar la calidad de vida de nuestra población y evitar pérdidas humanas, económicas y ambientales, en entornos de alta susceptibilidad a los incendios.

2. Justificación

En Colombia se estima que casi la totalidad de los incendios forestales son de origen antrópico, bien sean generados intencionalmente para la ampliación de la frontera agropecuaria, o por negligencia al no tomar las precauciones adecuadas, sobre todo en las quemadas agrícolas; por descuido (fumadores, fogatas, pólvora y cacería de animales, entre otros.); accidentales (caída de líneas eléctricas sobre la vegetación o roce de las mismas con los árboles) y por atentados terroristas (Urrea, 2020).

En el municipio de Natagaima (Tolima), la práctica de realizar quemadas para la adecuación de áreas para cultivos es una amenaza constante, clasificada como media (CMGRD, 2015). Los incendios forestales en la zona rural del Municipio, es bastante recurrente, especialmente durante la época de verano, debido a fenómenos de carácter antrópico. Entre las causas principales se encuentran: la falta de educación de los habitantes sobre buenas prácticas agrícolas y la falta de conciencia en la preservación de los ecosistemas estratégicos (CMGRD, 2015).

En consecuencia, esta propuesta de investigación se realiza con el propósito de generar herramientas que permitan prevenir y mitigar el riesgo de incendios forestales en el municipio de Natagaima, mediante la implementación de sistemas de información geográfica (SIG) en aras de mantener la integridad de los ecosistemas y la comunidad.

El conocimiento de áreas susceptibles de incendios forestales permitirá formular medidas de manejo tanto para la prevención como para la planificación y protección del territorio y la generación de un sistema de alertas tempranas en el municipio, que permitan el monitoreo constante de los focos de alta incidencia de incendios.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Elaborar la zonificación del riesgo a incendios forestales en el municipio de Natagaima, Tolima, con el fin de aportar a la planificación y fortalecimiento de la gestión del riesgo de desastre en la región.

3.2 Objetivos específicos

- Revisar y compilar información secundaria relevante sobre los factores que inciden en la susceptibilidad de la cobertura vegetal, amenaza y vulnerabilidad a incendios forestales en el municipio de Natagaima, Tolima.
- Procesar y analizar los datos recopilados mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la identificación y evaluación de la susceptibilidad de la cobertura vegetal, vulnerabilidad y amenaza a incendios forestales.
- Determinar la susceptibilidad de la cobertura vegetal, el nivel de amenaza, vulnerabilidad y riesgo a incendios forestales.
- Generar el mapa de la zonificación del riesgo a incendios forestales con el propósito de fortalecer la capacidad local de prevención y respuesta a través de la identificación de zonas críticas.

4. Hipótesis

4.1 Hipótesis de trabajo

Las áreas del municipio de Natagaima con mayores temperaturas, menores precipitaciones, coberturas vegetales boscosas y presencia de actividades humanas intensivas (como quemas agrícolas) presentan niveles más altos de riesgo de incendios forestales de acuerdo con el protocolo del IDEAM (2011).

4.1.1 *Hipótesis nula*

No existe una relación significativa entre los factores naturales y antrópicos analizados (clima, topografía, cobertura vegetal, factores sociales, entre otros) y el riesgo de incendios forestales en el municipio de Natagaima.

4.1.2 *Hipótesis alterna*

Existe una relación significativa entre los factores naturales y antrópicos analizados (clima, topografía, cobertura vegetal, infraestructuras, entre otros) y el riesgo de incendios forestales en el municipio de Natagaima, lo que permite zonificar las áreas con mayor riesgo mediante el análisis de amenaza, susceptibilidad y vulnerabilidad.

4.2 Variables

En el presente estudio se han definido como variables independientes aquellos factores naturales y antrópicos que inciden directamente en la ocurrencia y propagación de incendios forestales en el municipio de Natagaima. Estas variables incluyen aspectos climáticos como la temperatura, la precipitación, la humedad o condiciones biofísicas del territorio como la pendiente, el tipo de suelo, la cobertura vegetal; así como variables sociales y de uso del suelo, entre las que se encuentran la densidad poblacional, el nivel socioeconómico, la distancia a centros poblados e infraestructura crítica, el acceso a vías, el uso actual del suelo y la presencia de material vegetal seco o combustible. Por otro lado, las variables dependientes están representadas por los niveles de amenaza,

susceptibilidad y vulnerabilidad, que en conjunto permiten estimar el nivel de riesgo de incendios forestales. Este riesgo constituye la variable dependiente principal del estudio y será clasificado en categorías de bajo, medio y alto, siguiendo los lineamientos metodológicos establecidos por el protocolo para la zonificación de incendios del IDEAM (2011).

5. Marco teórico

5.1 Marco conceptual

5.1.1 Incendio de la cobertura vegetal

Se define como el fuego que se propaga, sin control sobre la cobertura vegetal, cuya quema no estaba prevista (IDEAM, 2011).

5.1.2 Gestión del Riesgo en Incendios Forestales

Proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes, para el conocimiento, reducción del riesgo de incendios forestales, así como su control extinción y restauración de áreas afectadas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012 citado por Herrera, 2016).

5.1.3 Conocimiento del riesgo de incendios forestales

Proceso de la gestión del riesgo en el que se identifican claramente los escenarios de riesgo, se hacen análisis y se evalúa el riesgo a los incendios forestales, se concientiza, sensibiliza, comunica y divulgan los riesgos, se hace igualmente monitoreo y seguimiento, acciones fundamentales que evitan la presencia recurrente de estos incidentes, pues son en un alto porcentaje ocasionados por el hombre por acción u omisión y se pueden prevenir (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012 citado por Herrera, 2016).

5.1.4 Amenaza de incendio forestal

Peligro latente que representa la posible manifestación de un fenómeno particular (en este caso, un incendio de la cobertura vegetal), de origen natural, socio-natural o antropogénico, en un territorio particular, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios y el ambiente, debido a los factores territoriales y medioambientales.

Es un factor de amenaza sobre un elemento o grupo de elementos expuestos (vegetación), que se expresa como la probabilidad de que un evento (incendio) se presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y en un tiempo definido (IDEAM, 2011).

5.1.5 Vulnerabilidad de incendios forestal

Predisposición de un elemento a ser afectado, a sufrir daño y encontrar dificultad de recuperarse. Corresponde a la probabilidad de afectación física, económica, política o social que tiene una comunidad o un grupo de elementos de sufrir efectos adversos en el caso de que se presente un fenómeno peligroso de origen natural o antrópico.

En el caso específico de la vegetación y de los ecosistemas, la vulnerabilidad se expresa como las características propias de la vegetación (adaptación de los ecosistemas al fuego), que determinan su capacidad para sufrir daño y ser afectada o resistir y recuperarse ante la ocurrencia de un incendio de la cobertura vegetal (IDEAM, 2011).

5.1.6 Riesgo de Incendio Forestal

Probabilidad de que se presente un nivel de consecuencias económicas, sociales o ambientales en un territorio particular y durante un lapso definido de tiempo, por la acción de un evento adverso de origen natural o antrópico. Se obtiene al relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos (IDEAM, 2011).

5.1.7 Prevención del riesgo en incendios forestales

Todas las medidas, intervenciones o acciones que se realizan con anticipación, especialmente el conocimiento, con el fin de evitar que se genere el riesgo en incendios forestales. Los instrumentos son los previstos en la planificación, la inversión y el ordenamiento ambiental (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012 citado por Herrera Galviz, 2016).

5.1.8 *Causas de los incendios forestales en Colombia*

De acuerdo con Castañeda (2021), los incendios forestales son una amenaza socionatural. En Colombia se clasifican de acuerdo con su origen (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT], 2002), bien sea natural o antrópico. En Colombia se estima que el **5 %** de los eventos de origen natural puede ocasionarse por la acción de rayos en tormentas eléctricas, erupciones volcánicas, efusiones de lava. Mientras que el **95%** se le atribuye a la acción del ser humano, originado por diferentes causas:

Intencionales: Existe voluntad directa de generar conflagraciones, quemas por conflictos entre personas o comunidades, fogatas, pirómanos, expansión de la frontera agropecuaria, actividades ilícitas, caza de especies, como ejemplo las áreas boscosas de la Amazonia han sido modificadas por causa de la deforestación y la utilización de quemas para habilitar áreas agropecuarias dentro de los procesos de colonización.

Negligencia o descuido: Son descuidos en la utilización del fuego, al no tomar las precauciones necesarias y/o adecuadas. Un ejemplo de ello, son las quemas como practica arraigada culturalmente sin los protocolos necesarios las llamas se salen de control y detonan incendios forestales, un caso en particular es el presentado en zonas cañeras del país donde se usa el fuego como parte de la preparación de sus tierras.

Accidentales: Liberación de energía sin voluntad directa de ocasionar el incendio ejemplo: Rupturas de líneas eléctricas, accidentes automovilísticos, ferroviarios y aéreos.

5.1.9 *Efectos de los incendios forestales*

En Colombia, los incendios forestales se posicionan como un agente de transformación para el cambio de uso del suelo, pérdida y degradación forestal, así como otros servicios ecosistémicos, motor de la deforestación siendo una de las principales amenazas para la sostenibilidad de la oferta ambiental, ya que su magnitud e intensidad genera impactos de diversa índole sobre la población humana, y otras formas de vida (Castañeda, 2021) (Tabla 1).

Tabla 1 Efectos de los incendios forestales

Componente	Efecto
------------	--------

Suelo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pérdida de materia orgánica y nutrientes ▪ Erosión y posterior empobrecimiento de nutrientes ▪ Muerte de organismos, pérdida o cambio de la actividad biológica ▪ Deterioro propiedades físicas y químicas ▪ Reducción de la infiltración
Agua	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento escorrentía superficial ▪ Obstrucción de conducto de agua por acumulación de lodo ▪ Afectación ecosistemas acuáticos ▪ Contaminación de los cuerpos de agua producto del arrastre de sedimentos ▪ Disminución de la recarga de acuíferos
Aire	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Liberación de gases tóxicos y material particulado ▪ Monóxido de carbono ▪ Contaminación atmosférica
Biodiversidad	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cambio en la composición, estructura y función del ecosistema afectado (Potenciar especies invasoras, afectación frecuencia y abundancias especies de flora y fauna, incremento de plagas y enfermedades etc.) ▪ Alteración en las cadenas tróficas ▪ Alteración ciclos biológicos ▪ Cambios microclimas ▪ Fragmentación e incremento efecto borde
Cambio Climático	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disminución de los sumideros de carbono ▪ Aumento de emisiones de gases efecto invernadero

Socioeconómicos	▪	En la salud pública:	quemaduras,	posible
	aumento de la mortalidad	respiratorias,	cardiovascular,	asma
	enfermedades	cancerígeno	aumento del	(OMS)
	riesgo			
▪	Daños propiedad privada y pública:	bosques,		
terrenos agrícolas, Reservas Nacionales		etc.		
▪	Pérdidas económicas directas:	cultivos		
forestales, cosechas agrícolas, ganado,				
maquinaria e infraestructura asociada a				
actividades				productivas
▪	Disminución de fuentes de trabajo:	por		
pérdida de interés en invertir				

Fuente: Castañeda, 2021

5.1.10 *Sistemas de Información Geográfica (SIG)*

Un SIG se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos. Los SIG son una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato. Existen otras muchas definiciones de SIG, algunas de ellas acentúan su componente de base de datos, otras sus funcionalidades y otras enfatizan el hecho de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones, pero todas coinciden en referirse a un SIG como un sistema integrado para trabajar con información espacial, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones en muchas áreas vitales para el desarrollo nacional, incluyendo la relacionada con el estudio científico de la Biodiversidad (Universidad de los Andes, 2006).

5.2 Marco legal

A continuación, se presenta la normatividad y mecanismos jurídicos en Colombia relacionados con la gestión integral en la lucha contra los incendios forestales.

5.2.1 *Leyes y Decretos*

Decreto – Ley 2811 de 1974 “Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”. Título IV. De la Protección Forestal. En su Artículo 241 al 245 señala que 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.

Ley 99 de 1993 “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.” En su Artículo 31 menciona las funciones de las Corporaciones Autónomas Regionales, quienes ejecutaran las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales; de igual manera, garantizar su disposición, administración, manejo y aprovechamiento conforme a las regulaciones expedidas por Minambiente.

Asimismo, en el Artículo 65 hace referencia a las funciones de los municipios en relación con la prestación de asistencia técnica, promoción y ejecución de programas y estrategias en beneficio del desarrollo ambiental y la protección de los recursos naturales, entre otros.

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. En su Artículo 27, menciona: 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 conocimiento del riesgo, de reducción del riesgo y de manejo de desastres en la entidad territorial correspondiente. Asimismo, en el Artículo 35, señala que: La estrategia nacional para la respuesta a emergencias, es el marco de actuación de las entidades del sistema nacional de gestión del riesgo para la reacción y atención de emergencias. Se refiere a todos los aspectos que deben activarse por las entidades en forma individual y colectiva con el propósito de ejecutar la respuesta a emergencias de manera oportuna y efectiva. Por último, el Artículo 37 indica: 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.

5.2.2 Resoluciones

Resolución 373 de 2020 “Por la cual se crea y conforma la Comisión Técnica Nacional Asesora para Incendios Forestales” en su Artículo 1, indica que: 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.” (UNGRD, 2020).

5.2.3 Planes y estrategias

Plan Nacional de Prevención, Control de Incendios Forestales y Restauración de Áreas Afectadas (2002). Es un Plan a veinticinco (25) años, de carácter estratégico, concomitante con el Plan Nacional de Prevención y Atención de Desastres y el Plan Nacional de Desarrollo Forestal y a su vez articulado, entre otros, con el Plan Nacional de Desarrollo Agropecuario y el Plan Nacional de Lucha Contra las Drogas. Se caracteriza por ser preventivo, trascender el corto plazo y convertirse así en un Plan enmarcado en una política de Estado, con cobertura nacional y responsabilidades comunes en las áreas fronterizas (MAVDT, 2002).

Estrategia de Corresponsabilidad Social en la Lucha contra los Incendios Forestales (2011) Busca activar la participación de actores sectoriales e institucionales y comunidad en general, para generar la cultura de la prevención, sensibilizando, capacitando, divulgando, sobre las causas y consecuencias de los incendios forestales, así como comprometiendo acciones que eviten la presencia de los incendios forestales, con el fin de proteger los recursos naturales, en especial la biodiversidad como lo indican las políticas de estado (MAVDT, 2011).

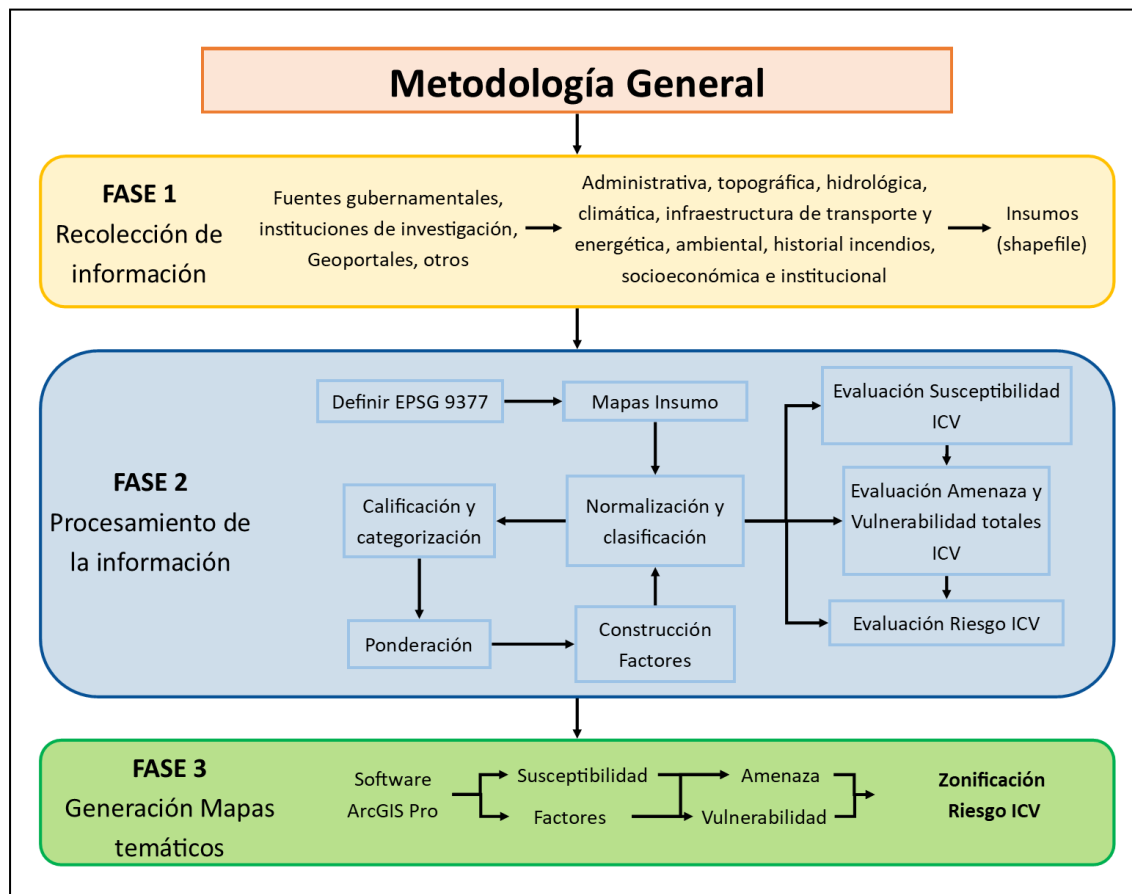
6. Metodología

La metodología adoptada para la presente propuesta de investigación sobre la zonificación del riesgo por incendios forestales en el municipio de Natagaima (Tolima), se fundamenta principalmente en el protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal a escala 1:100.000, desarrollado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM, 2011), nombrado de ahora en adelante como protocolo IDEAM. Se adaptó la metodología para aplicación a escala municipal ya que el protocolo IDEAM se desarrolla a nivel nacional, se ajusta teniendo en cuenta la disponibilidad de información secundaria de los diferentes factores evaluados en el municipio (ver

Figura 1).

El proceso metodológico se resume en la definición de la escala temporal, en este caso se usará de acuerdo con la disponibilidad de información, mapas temáticos o cartografía en formato shapefile del periodo entre 1991 y el 2025. Para la resolución espacial, se define una escala 1:100.000 cubriendo la totalidad del municipio de Natagaima, Tolima. Se seleccionan once (11) factores que inciden en el riesgo a incendios forestales: Susceptibilidad de la cobertura vegetal, Accesibilidad, Físico, Climático, Histórico, Patrimonial, Poblacional, Económico, Institucional, Infraestructura y Territorial que inciden en el riesgo, posteriormente se analizan y se compone la amenaza y la vulnerabilidad, mediante el software ArcGIS Pro se realiza los procesamientos necesarios, con previa normalización, clasificación, categorización y ponderación de las variables de cada factor, dando como resultado los mapas de vulnerabilidad y amenaza totales, finalmente, se computan para obtener la zonificación del riesgo a incendios forestales en la zona de interés.

Figura 1 Metodología general



Nota. ICV: Incendios de la cobertura vegetal.

En la metodología se establecen los enfoques de investigación, esto es, cuantitativo, cualitativo o mixto.

6.1 Enfoque metodológico

El estudio utilizará un enfoque metodológico mixto que combina elementos cuantitativos y cualitativos para alcanzar los objetivos establecidos. La parte cuantitativa se centra en la recopilación, normalización y análisis estadístico de datos numéricos, abarcando variables climáticas, topográficas y de cobertura vegetal. Esto permitirá la creación de factores y la elaboración de mapas utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Por

otro lado, el enfoque cualitativo se dedicará a la interpretación contextual de los resultados, incorporando la experiencia profesional y las percepciones locales para validar los mapas de riesgo conforme a la realidad del territorio. La integración de los enfoques cuantitativo y cualitativo garantiza un análisis integral en la zonificación del riesgo a incendios forestales en Natagaima, Tolima. Este enfoque combina datos objetivos con una comprensión detallada del contexto social y ambiental, enriqueciendo la precisión y relevancia de los resultados obtenidos.

6.2 Tipo de estudio

Este estudio considera tres enfoques: exploratorio, descriptivo y correlacional. Exploratorio por la identificación inicial de factores y la aplicación de metodologías adaptadas al contexto municipal, entendiendo los objetivos de identificar y caracterizar los factores de amenaza y vulnerabilidad que influyen en el riesgo a incendios forestales en Natagaima ya que la generación de mapas y salidas cartográficas busca obtener una comprensión inicial del fenómeno en el área específica. Además, considera un enfoque descriptivo, ya que describe el fenómeno de incendios forestales en términos de localización y características específicas, porque los mapas generados y salidas cartográficas permiten representar espacialmente la distribución del riesgo, mostrando áreas con mayor o menor probabilidad de ocurrencia de incendios y su relación con factores geográficos, climáticos, sociales, entre otros. Y finalmente, correlacional al analizar cómo contribuyen al riesgo los factores normalizados y ponderados, la ponderación de factores implican que cada variable es analizada en función de su relevancia relativa para el fenómeno estudiado, lo cual introduce un enfoque de análisis que explora las relaciones entre las variables y su impacto conjunto en el riesgo. Por ejemplo, la relación entre la pendiente del terreno y la propagación de incendios, o cómo la combinación de altas temperaturas y vegetación seca aumenta la probabilidad de eventos de fuego.

6.3 Procedimiento metodológico

Dando cumplimiento a los objetivos específicos planteados la metodología se desarrolla en tres fases. En la primera fase, se recopilan y organizan los datos necesarios, incluyendo información climática, topográfica, hidrológica, de cobertura del suelo y socioeconómica, obtenida de fuentes oficiales y estudios previos. En la segunda fase, se realiza el procesamiento de los insumos, se

normalizan, clasifican y categorizan las variables para la construcción de los factores identificados como relevantes para el riesgo de incendios forestales, aplicando criterios del protocolo IDEAM (2011) y herramientas estadísticas (análisis multicriterio), una vez construidos los factores se procede a calcular la susceptibilidad de la cobertura vegetal, amenaza, vulnerabilidad y riesgo a incendios forestales. Finalmente, en la tercera fase, mediante herramientas SIG se generan mapas temáticos que representan cada uno de los factores involucrados en el análisis y la integración de estos en la susceptibilidad a la cobertura vegetal, la amenaza, la vulnerabilidad y la zonificación del riesgo a incendios forestales. Se detalla a profundidad cada fase a continuación.

6.3.1 Primera Fase: Recolección de información

Se realiza una profunda búsqueda y recopilación de información cartográfica en formato Shapefile (.shp) disponible en línea, de fuentes gubernamentales o instituciones de investigación, verificando la integridad, correspondencia y confiabilidad de la información. Algunos instrumentos para recolección de información secundaria son las plataformas dispuestas para la publicación de cartografía pública nacional como: el geoportal del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el portal Colombia en mapas, Colombia OT, Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE), Sistema de Información sobre Incendios para la Gestión de Recursos (FIRMS) de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), la página oficial de la Agencia Nacional de Tierra (ANT), el Sistema para el Análisis y Gestión de Información del Licenciamiento Ambiental (ÁGIL) de la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), Geoportal del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH), Geoportal del Servicio Geológico Colombiano (SGC), entre otros.

La recopilación de la información permite la construcción de once (11) factores que inciden en la amenaza, vulnerabilidad y el riesgo a incendios forestales; Susceptibilidad de la cobertura vegetal, Accesibilidad, Físico, Climático, Histórico, Patrimonial, Poblacional, Económico, Institucional, Infraestructura y Territorial.

Se inspecciona información de diferentes componentes, inicialmente información sobre la división político-administrativa de Natagaima, se pretende obtener información de municipios, veredas, cabecera municipal y centros poblados, limite municipal, adicionalmente los limites departamentales del Tolima y Huila. En cuanto a la información topográfica e hidrológica se busca información de curvas de nivel, drenaje sencillo, drenaje doble y cuerpos de agua. Respecto al componente climático es ideal contar con información de 30 años de las variables de precipitación y temperatura. Para la infraestructura se consulta información sobre vías (primarias, secundarias y tercerías), infraestructura energética (Líneas eléctricas, productos, oleoductos, gasoductos, torres de comunicación, etc.) e infraestructura de transporte (Puentes, túneles, aeropuertos, helipuertos, puertos fluviales y/o marítimos, etc.). En el componente ambiental se requiere información de la cobertura vegetal, los ecosistemas y los límites de parques nacionales naturales, reservas regionales o municipales, entre otras zonas de protección ambiental, adicionalmente es necesario contar con información histórica de incendios en el sitio de interés. Por último, para el componente socioeconómico se consulta sitios institucionales de atención (estaciones de bomberos, policías, cruz roja, entre otros), Sitios de interés (cultural, turístico, histórico, arqueológico, mítico-religioso, etc.), centros poblados urbanos y rurales, viviendas aisladas, densidad de la población, resguardos indígenas y conflicto del uso del suelo.

6.3.2 Segunda Fase: Procesamiento

6.3.2.1 Metodología general

En esta fase se definen las coordenadas de trabajo de acuerdo con la normativa vigente y por medio de herramientas SIG se procede a normalizar, clasificar, categorizar y ponderar las diferentes variables que componen el riesgo. Una vez que se han delineado los factores, resulta imperativo establecer un criterio coherente para su integración de la manera más adecuada posible. En este sentido, es necesario clasificar las variables de acuerdo con una escala numérica de riesgo, donde los valores numéricos se asocian a niveles de riesgo (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto). Este proceso implica una transición de una escala nominal-categorica a una de naturaleza

ordinal. Asimismo, la integración de las variables en un índice único requiere que se realice una ponderación de cada una de ellas en función de su relevancia en el riesgo a incendios.

6.3.2.1.1 Definición del sistema de coordenadas

Con los insumos recopilados y mediante la herramienta ArcGIS Pro se define el sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS Origen-Nacional, código EPSG 9377. Se adopta como único datum geodésico oficial de Colombia el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia, también denominado MAGNA-SIRGAS, adoptado como oficial en Colombia en 2005 y actualizado en 2018 por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). En cuanto a la proyección cartográfica se utiliza la más reciente y oficial en Colombia, la proyección Transversa de Mercator origen nacional, denominada CTM12, establecida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) a través de la Resolución 370 de 2021.

6.3.2.1.2 Normalización de variables y factores

Al tener diferencias entre las escalas en las que se miden los factores, es necesario estandarizarlos antes de combinarlos y transformarlos para que todos puedan correlacionarse. Al tener factores con variables de índole continua de características de grupos difusos, que pueden presentar ambigüedad en la definición de límites y rangos, para poder clasificar y categorizar adecuadamente se requiere una normalización.

Se aplica la normalización de datos de manera escalonada y siguiendo la metodología de lógica difusa (fuzzy logic), donde se pretende obtener variables en un rango entre 0 y 1, como indica la lógica difusa los valores de verdad pueden ser cualquier número real entre 0 y 1, los valores resultados serán intermedios como "parcialmente verdadero" o "muy verdadero". Dicho cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Factor Normalizado} = (X - \text{Min}) / (\text{Max} - \text{Min}),$$

Donde;

X = valor que adquiere el factor en un lugar específico del área de estudio

Min = Valor mínimo del factor en toda el área de estudio.

Max = Valor máximo presentado por el factor en toda el área de estudio.

Posterior a la normalización de las variables y factores, se agrupan bajo una distribución de frecuencias en 5 rangos, generando el tamaño de cada rango a partir de una amplitud de valores generados mediante la ecuación de amplitud de rango:

$$\textit{Amplitud de rango} = (Max - Min) / n,$$

Donde;

Max = Valor máximo presentado por el factor en toda el área de estudio.

Min = Valor mínimo del factor en toda el área de estudio.

n = Número total de datos de cada factor.

6.3.2.1.3 Clasificación, calificación y categorización de factores

Para lograr la estandarización de los datos, se asigna una calificación a los rangos obtenidos, en categorías, lo que permite comparar variables que están en diferentes unidades de medida, como paisajes y unidades político-administrativas. Para ello, se aplican principios de lógica difusa, que ayudan a establecer los criterios necesarios para la integración de variables. De este modo, se generan cinco rangos de calificación, que van del 0 al 5, se incluye una clasificación para los registros sin información (6), correspondientes a seis categorías de amenaza y una categoría adicional de "sin información" (ver Tabla 2)

Tabla 2 Calificación y categorización general de factores

(a)		(b)		
Calificación	Categoría	Temperatura media anual (mm)	Calificación	Categoría de amenaza
0	Sin Riesgo	<6°	1	Muy baja
1	Muy baja	6° - 12°	2	Baja
2	Baja	12° - 18°	3	Moderada
3	Moderada	18° - 24°	4	Alta
4	Alta	>24°	5	Muy Alta
5	Muy Alta			
6	Sin información			

Nota. (a): Categorización general para cada factor. (b): ejemplo de la clasificación, calificación y categorización de la temperatura media anual (mm). Fuente: Adaptado de (IDEAM, 2011).

Para la obtención de algunos factores se requieren una clasificación específica de acuerdo con el protocolo IDEAM (Anexo 1). Como requisito previo y para el análisis de factores posteriores, el mapa de coberturas de la tierra debe ser clasificado hasta el tercer nivel de la metodología Corine Land Cover adaptada por IDEAM en el 2011. En lo referente al factor de susceptibilidad de la cobertura vegetal se requiere una calificación de combustibles por cobertura vegetal proporcionado por el protocolo del IDEAM (Anexo 2), donde se define el tipo, duración y carga total de combustible por cobertura de la tierra. Para el factor Vulnerabilidad económica se define una clasificación por coberturas de la tierra de acuerdo con el protocolo del IDEAM (Anexo 3), obteniendo una clasificación de 0 a 5, siendo 0 sin riesgo, 1 el menor valor de vulnerabilidad y 5 el máximo valor de vulnerabilidad. Por último, el factor de vulnerabilidad ecológica requiere una clasificación de la influencia del fuego en los ecosistemas continentales y marinos de Colombia de acuerdo con el protocolo IDEAM (Anexo 4), pudiendo ser: no influidos por el fuego, independientes del fuego, sensibles al fuego y dependientes del fuego.

6.3.2.1.4 Ponderación de factores

Posterior a la estandarización de variables se estructuran los factores y se genera una ponderación de estas. Permitiendo la generación de mapas para cada factor, donde la variable es sustituida por un determinado valor de adecuación (clasificación categórica), independientemente sus unidades de medida iniciales. La ponderación se produce de la consideración subjetiva de que

no todas las variables o factores tienen la misma importancia, por ello se debe asignar un peso relativo permitiendo que los factores incidan en menor o mayor medida sobre la adecuación final. Se basa en el método desarrollado por el matemático Thomas Saaty que consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un Modelo AHP (Proceso Analítico Jerárquico). El AHP ofrece una forma eficiente y visual de organizar la información, descomponerla y analizarla en sus componentes, lo que permite observar los efectos de los cambios en los distintos niveles y sintetizarla de manera clara. El proceso de Saaty se basa en la capacidad de asignar valores numéricos a los juicios emitidos por las personas, lo que permite medir la contribución de cada elemento de la jerarquía al nivel superior del cual forma parte. Para realizar estas comparaciones, se emplean escalas de razón que reflejan preferencias, importancias o probabilidades, fundamentadas en una escala numérica propuesta por Saaty, que abarca del 1 al 9 (ver Tabla 3).

Tabla 3 Escala numérica Saaty

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Sumamente	Muy fuertemente	Fuertemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fuertemente	Muy fuertemente	Sumamente
Menos importante				Igual importante		Mas importante		

Fuente: (IDEAM, 2011)

La ponderación propuesta por el protocolo IDEAM y la cual será adoptada en el presente estudio, sugiere los siguientes valores para cada factor que componen la amenaza y la vulnerabilidad:

Amenaza = Susceptibilidad de la vegetación X (0,17) + A. precipitación X (0,20) + A. temperatura X (0,20) + A. pendientes X (0,07) + A. frecuencia X (0,10) + A. accesibilidad X (0,10)

Vulnerabilidad = *V. institucional* X (0,05) + *V. patrimonial* X (0,20) + *V. poblacional* X (0,31) + *V. territorial* X (0,20) + *V. infraestructura* X (0,06) + *V. económica* X (0,18).

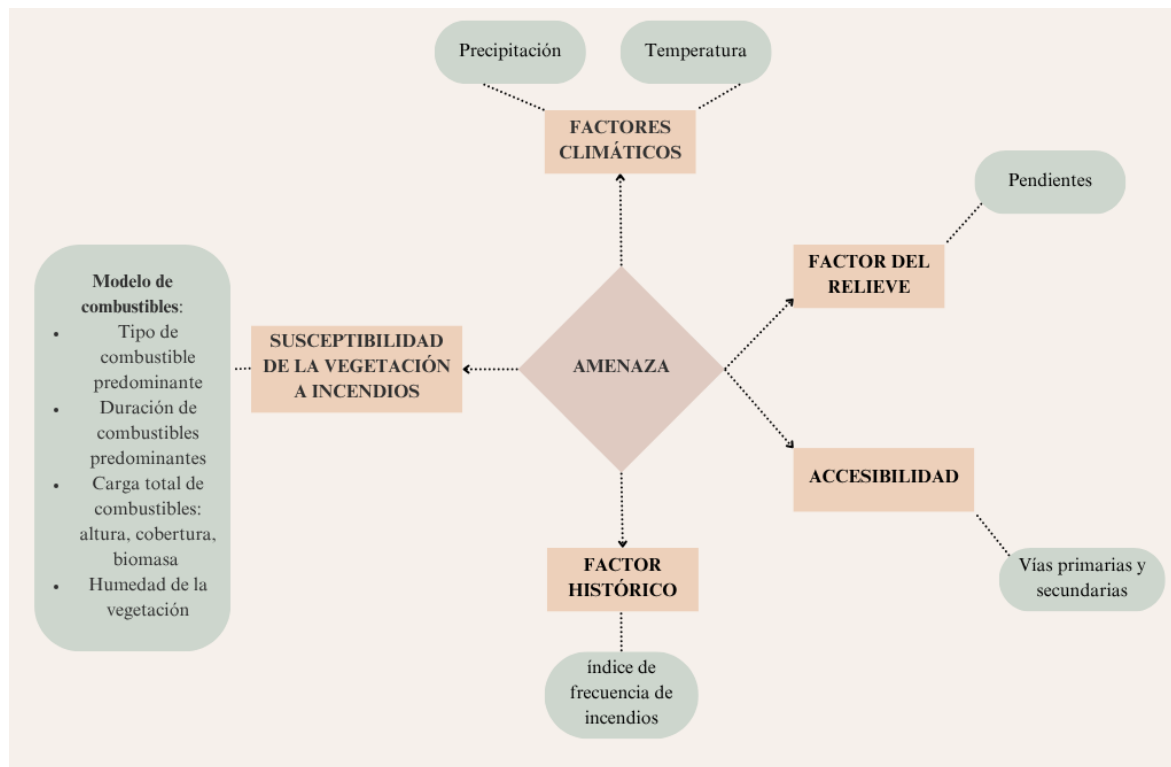
Al tener una sumatoria ponderado total de pesos asignados igual a 1, se considera correcta de acuerdo con el protocolo IDEAM, es posible que la ponderación requiera ser ajustada si no se cuenta con información de algún factor evaluado, redistribuyendo el peso de cada factor para obtener una correcta ponderación.

6.3.2.2 Construcción de factores

6.3.2.2.1 Evaluación de la Amenaza

La amenaza está compuesta por diferentes factores que se interrelacionan para la construcción de la amenaza total, estos factores otorgan una mayor o menor probabilidad de incendio de la cobertura vegetal (). Se construyen los siguientes factores mediante la zonificación y calificación: Susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios (tipo, carga y duración de combustibles), accesibilidad, factores climáticos (temperatura y precipitación), relieve (pendiente) e histórico (frecuencia de incendios); se requiere información base político administrativa, límites, centros poblados, hidrografía, curvas de nivel, vías, cobertura vegetal, precipitaciones y temperatura media multianual, histórico de incendios a nivel municipal y pendientes.

Figura 2 Factores de la amenaza a ICV



Fuente: Adaptado de IDEAM, 2011.

6.3.2.2.2 Evaluación de la Susceptibilidad de la cobertura vegetal

La susceptibilidad de la cobertura vegetal es el factor fundamental de amenaza a incendios forestales, se analiza mediante la identificación y valoración del potencial pirogénico de la vegetación de acuerdo con el modelo de combustibles propuesto por Páramo (2007) para Colombia. Al identificar la condición pirogénica podemos entender el comportamiento del fuego y su modelación con respecto a nuestros ecosistemas. Se construye mediante la clasificación, calificación y categorización de las siguientes variables:

- Tipo de combustible vegetal por ecosistema, definido por la cobertura vegetal dominante.
- Duración de tipo de combustible medido en la cantidad de horas de ignición (1h, 10h, 100h)
- Carga total de combustibles dependiente de la correlación de la altura en metros, valores porcentuales de las coberturas y la biomasa aérea en toneladas por hectárea

El procedimiento de calificación se realiza a partir de las coberturas vegetales, las cuales deben estar clasificadas hasta el nivel 3 de acuerdo al protocolo IDEAM en el sistema Corine Land Cover, se genera una reclasificación por tipos de cobertura asignando una calificación para el tipo, duración y carga total del combustible, para efectos de este estudio se utilizó la Tabla 4.

Tabla 4 Características del combustible vegetal para las categorías del nivel 3 del sistema Corine Land Cover

Cobertura (Clasificación Corine Land Cover -Nivel 3-)	Cód. CLC	Tipo de Combustible	Cal. T.C.	Duración del Combustible	Cal. D.C.	Carga Total de Combustible	Cal. C.T.
Tejido urbano continuo	111	Áreas urbanas	0	Áreas urbanas	0	Áreas urbanas	0
Zonas industriales o comerciales	121	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	122	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0
Zonas portuarias	123	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0
Aeropuertos	124	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0
Obras hidráulicas	125	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0
Zonas de extracción minera	131	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0
Zonas de disposición de Residuos	132	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0
Zonas verdes urbanas	141	Pastos	5	1 hora	1	<1 ton/ha	1
Instalaciones recreativas	142	Pastos	5	1 hora	1	1-50 ton/ha	2
Otros cultivos transitorios	211	Hierbas	4	10 horas	2	1-50 ton/ha	2
Cereales	212	Hierbas	4	10 horas	2	1-50 ton/ha	2
Oleaginosas y leguminosas	213	Hierbas	4	10 horas	2	1-50 ton/ha	2
Hortalizas	214	Hierbas	4	10 horas	2	1-50 ton/ha	2
Tubérculos	215	Hierbas	4	10 horas	2	1-50 ton/ha	2

Cobertura (Clasificación Corine Land Cover -Nivel 3-)	Cód. CLC	Tipo de Combustible	Cal. T.C.	Duración del Combustible	Cal. D.C.	Carga Total de Combustible	Cal. C.T.
Cultivos permanentes herbáceos	221	Hierbas	4	10 horas	2	1-50 ton/ha	2
Cultivos permanentes arbustivos	222	Arbustos	3	10 horas	2	50-100 ton/ha	3
Cultivos permanentes arbóreos	223	Árboles	1	100 horas	3	>100 ton/ha	4
Cultivos agroforestales	224	Pastos	3	10 horas	2	50-100 ton/ha	3
Cultivos confinados	225	Hierbas	4	1 hora	1	1-50 ton/ha	2
Pastos limpios	231	Pastos	5	1 hora	1	1-50 ton/ha	2
Pastos arbolados	232	Pastos	5	1 hora	1	1-50 ton/ha	2
Pastos enmalezados	233	Pastos	5	1 hora	1	1-50 ton/ha	2
Mosaico de cultivos	241	Hierbas	4	10 horas	2	1-50 ton/ha	2
Mosaico de pastos y cultivos	242	Pastos/hierbas	5	10 horas	2	1-50 ton/ha	2
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	243	Pastos/hierbas/árboles/arbustos	3	10 horas	2	50-100 ton/ha	3
Mosaico de pastos con espacios naturales	244	Pastos/hierbas/árboles/arbustos	3	10 horas	2	50-100 ton/ha	3
Mosaico de cultivos y espacios naturales	245	Pastos/hierbas/árboles/arbustos	3	10 horas	2	50-100 ton/ha	3
Bosque denso	311	Árboles	1	100 horas	3	>100 ton/ha	4
Bosque abierto	312	Árboles	1	100 horas	3	>100 ton/ha	4
Bosque fragmentado	313	Árboles	2	100 horas	3	>100 ton/ha	4
Bosque de galería y ripario	314	Árboles	1	100 horas	3	>100 ton/ha	4
Plantación forestal	315	Árboles	1	100 horas	3	>100 ton/ha	4
Herbazal	321	Hierbas	4	10 horas	2	1-50 ton/ha	2
Arbustal	322	Arbustos	3	10 horas	2	50-100 ton/ha	3

Cobertura (Clasificación Corine Land Cover -Nivel 3-)	Cód. CLC	Tipo de Combustible	Cal. T.C.	Duración del Combustible	Cal. D.C.	Carga Total de Combustible	Cal. C.T.
Vegetación secundaria o en Transición	323	Árboles/arbustos	2	10 horas	2	50-100 ton/ha	3
Zonas arenosas naturales	331	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0
Afloramientos rocosos	332	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0
Tierras desnudas y degradadas	333	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0
Zonas quemadas	334	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0
Zonas glaciares y nivales	335	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0
Zonas Pantanosas	411	Hierbas	4	1 hora	1	1-50 ton/ha	2
Turberas	412	Hierbas	4	1 hora	1	1-50 ton/ha	2
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	413	Hierbas	4	1 hora	1	1-50 ton/ha	2
Pantanos costeros	421	Hierbas/arbustos	3	1 hora	1	1-50 ton/ha	2
Salitral	422	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0
Sedimentos expuestos en Bajamar	423	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0
Ríos (50 m)	511	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	512	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0
Canales	513	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0
Cuerpos de agua artificiales	514	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0
Lagunas costeras	524	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0
Mares y océanos	522	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0

Cobertura (Clasificación Corine Land Cover -Nivel 3-)	Cód. CLC	Tipo de Combustible	Cal. T.C.	Duración del Combustible	Cal. D.C.	Carga Total de Combustible	Cal. C.T.
Estanques para acuicultura marina	523	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0

Nota. CLC: Corine Land Cover, Cal.: calificación, T.C.: Tipo de combustible, D.C.: Duración del combustible y C.T.: Carga total del combustible. Fuente: Adaptado de IDEAM, 2011 (Anexo 2).

Posterior a la calificación, se procede categorizar la susceptibilidad del tipo, duración y carga total del combustible (ver Tabla 5).

Tabla 5 Calificación y categorización del tipo, duración y carga total del combustible

Tipo de Combustible	Calificación	Categoría de Susceptibilidad
No combustibles	0	Sin Riesgo
Árboles	1	Muy baja
Árboles/arbustos	2	Baja
Arbustos	3	Moderada
Arbustos/Hierbas – árboles/hierbas – pastos/hierbas/arbu- stos/árboles	3	Moderada
Hierbas/ cultivos herbáceos	4	Alta
Hierbas – Pastos	5	Muy Alta
Pastos – zonas verdes urbanas	5	Muy Alta

Duración de los combustibles	Calificación	Categoría de Susceptibilidad
No combustibles	0	Sin Riesgo
1 hora	1	Baja
10 horas	2	Moderada
100 horas	3	Alta

Carga Total de Combustibles	Calificación	Categoría de Susceptibilidad
No combustible	0	Sin Riesgo
<1 ton/ha	1	Baja
1-50 ton/ha	2	Moderada
50-100 ton/ha	3	Alta
>100 ton/ha	4	Muy Alta

Fuente: Adaptado de IDEAM, 2011.

Finalmente, para hallar la susceptibilidad de la cobertura vegetal, se procede a realizar el producto de las variables anteriores mediante la siguiente ecuación:

$$SUSC=CAL(tc) +CAL(dc) +CAL(ct),$$

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,

Posterior al cálculo, el resultado se agrupa en 6 niveles de calificación de acuerdo a la distribución de frecuencias, cada rango se califica de 0 a 5 obteniendo las categorías de la susceptibilidad de la cobertura vegetal.

6.3.2.2.1 Factores Climáticos

El clima es un factor determinante en la generación y la propagación de incendios forestales, determinando la duración y severidad del incendio, siendo mayor en las estaciones secas y calurosas, influyendo directamente sobre la humedad y la cantidad de combustible, ya que determina si la vegetación es más resistente o menos resistente al fuego. Los factores climáticos considerados para este estudio son la temperatura y precipitación media multianual.

Para la generación de cada factor climático es necesario información climática de al menos 30 años de precipitaciones y temperatura. Se generan mapas clasificados, calificados y categorizados para cada factor siguiendo la Tabla 6 y Tabla 7

Tabla 6 Clasificación, calificación y categorización de la temperatura

Temperatura media anual (° C)	Calificación pendiente	Categoría Amenaza
<6	1	Muy baja
6 - 12	2	Baja
12 - 18	3	Moderada
18 - 24	4	Alta
>24	5	Muy Alta

Fuente: Adaptado de IDEAM, 2011

Tabla 7 Clasificación, calificación y categorización de las precipitaciones

Precipitación media anual (mm)	Calificación pendiente	Categoría Amenaza
0 - 7	1	Muy baja
7 - 12	2	Baja
12 - 25	3	Moderada
25 - 75	4	Alta
>75	5	Muy Alta

Fuente: Adaptado de IDEAM, 2011

6.3.2.2.2 Factor Relieve

El relieve es un factor que aumenta la propagación del fuego de acuerdo con su inclinación, siendo más rápida y peligrosa en pendiente fuertes. En la construcción de este factor medido en grados de pendiente, se utiliza como insumo un modelo de elevación del terreno (DEM) construido a partir de información base de las curvas de nivel del terreno. Posteriormente se definen los rangos de clasificación para la calificación y se realiza la categorización de amenaza (Tabla 8).

Tabla 8 Clasificación, calificación y categorización de la pendiente

Grados de pendiente	Clasificación pendiente (%)	Calificación pendiente	Categoría Amenaza
0 - 0,315	0 - 7	1	Muy baja
3,16 - 5,40	7 - 12	2	Baja
5,41 - 11,25	12 - 25	3	Moderada
11,26 - 33,75	25 - 75	4	Alta
>33,76	>75	5	Muy Alta

Fuente: Adaptado de IDEAM, 2011

6.3.2.2.2.3 Factor histórico

Con la información sobre los incendios ocurridos en municipio desde el 2001 hasta el 2024, se analiza la frecuencia de los incendios. Con los datos históricos se calcula el índice de frecuencia de incendios, aplicando la siguiente formula:

$$Fi = \frac{1}{a} \sum_1^a ni ,$$

Fi: Frecuencia de incendio,

a: Número de años,

ni: Número de incendios de cada año.

Posterior al cálculo se normalizan, clasifican y categorizan los índices siguiendo la metodología general con fin de obtener el factor histórico de amenaza a incendios.

6.3.2.2.2.4 Factor accesibilidad

Considerada como factor de amenaza, entendida desde la distribución vial, es fundamental en la generación de incendios, ya que crea las áreas de acceso donde la población podría generar focos de incendio en área forestales. El análisis consiste en calcular la cercanía de las vías a las coberturas vegetales, identificando las coberturas susceptibles a incendios. Requiere como insumo la malla vial del municipio, que incluya las vías primarias, secundarias y terciarias. El procedimiento consiste en generar cuatro (4) buffers desde las vías, cada uno de 500 metros,

cubriendo ambos lados de las vías, esto indicara la cercanía de las coberturas a las vías, a continuación se procede a calificar y categorizar la amenaza (Tabla 9).

Tabla 9 Calificación y categorización del factor accesibilidad

Distancia a la vía (ancho buffer en metros)	Calificación	Categoría Amenaza
> 2000	1	Muy baja
1500 - 2000	2	Baja
1000 - 1500	3	Moderada
500 - 1000	4	Alta
0 - 500	5	Muy Alta

Fuente: Adaptado de IDEAM, 2011

6.3.2.2.3 Amenaza total a incendios de la cobertura vegetal

Con la información generada de los factores que componen la amenaza, se procede a realizar una suma ponderada para hallar la amenaza total a incendios de la cobertura vegetal, mediante la siguiente formula:

$$\text{Amenaza} = \text{Susceptibilidad de la vegetación } X (0,17) + A. \text{ precipitación } X (0,20) + A. \text{ temperatura } X (0,20) + A. \text{ pendientes } X (0,07) + A. \text{ frecuencia } X (0,10) + A. \text{ accesibilidad } X (0,10).$$

Con los resultados de la suma ponderada, se genera una distribución de frecuencias para construir 5 rangos, así generar su calificación y categorización, representando el rango menor la amenaza muy baja, el rango mayor la amenaza muy alta y sus rangos medios en las categorías intermedias, siguiendo la metodología general.

6.3.2.2.4 Evaluación de la Vulnerabilidad

Se entiende la vulnerabilidad como las posibles pérdidas o daños que pueden sufrir la población, los bienes y el medio ambiente ante el fenómeno de incendios de la cobertura vegetal, entendida desde el grado de fragilidad, el valor y las posibles pérdidas de los elementos del territorio y no desde la medición de efectos. La evaluación de la vulnerabilidad busca identificar

los elementos expuestos al fenómeno de incendios forestales. Proteger la vida y la seguridad de las personas, las instalaciones e infraestructura habitada, el valor económico de los sistemas forestales, los sitios de interés histórico-artístico, entre otros elementos del territorio serán el objetivo de esta evaluación. En la Tabla 10 se detallan los factores que componen la vulnerabilidad.

Tabla 10 Factores de la vulnerabilidad a incendios de la cobertura vegetal

Vulnerabilidad Total a Incendios de la Cobertura Vegetal					
VULNERABILIDAD INSTITUCIONAL	VULNERABILIDAD POBLACIONAL	VULNERABILIDAD LA INFRAESTRUCTURA	VALNERABILIDAD PATRIMONIAL	VALNERABILIDAD TERRITORIAL	VALNERABILIDAD Economica
<ul style="list-style-type: none"> * Existencia de alertas tempranas * Funcionamiento y organización de los CREPAD y CLOPAD * Presencia y dotación de entidades de respuesta * Accesibilidad y tiempos de respuesta 	<p>Ocupación: Densidad poblacional</p> <p>Colindancia: Áreas vegetales cercanas a asentamientos humanos</p> <p>Proximidad: Cercanía entre poblaciones y coberturas con riesgo de incendio</p>	<p>La vulnerabilidad se relaciona con la presencia y cercanía de:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Vías y ferrocarriles * Líneas eléctricas * Oleoductos, gasoductos y productos asociados * Infraestructura de comunicación * Aeropuertos 	<ul style="list-style-type: none"> * Zonas con alto valor patrimonial natural * Áreas con valor histórico, arqueológico, artístico o cultural 	<p>Incluye factores:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Físicos: Erodabilidad y conflictos en el uso del suelo * Ecosistémicos: Tipo de ecosistemas y su sensibilidad al fuego 	<ul style="list-style-type: none"> * Agricultura y ganadería * Comercio e industria * Minería * Plantaciones y extracción forestal en bosques naturales

Fuente: Adaptado de IDEAM, 2011

Para el cálculo de cada uno de los factores que componen la vulnerabilidad, se aplica la metodología general, es necesario contar con información específica de la densidad poblacional tanto rural como urbana, las coberturas vegetales, el uso actual y conflictos del uso del suelo, áreas protegidas, ya sean nacionales o regionales, infraestructura energética y de transporte, localización de los organismos de socorro y centros de interés turístico, cultural, arqueológico o religioso.

6.3.2.2.4.1 Vulnerabilidad poblacional

Es posible evaluarla desde tres elementos incluyendo la ocupación, colindancia y dispersión de la población en el territorio de acuerdo con el protocolo IDEAM. La ocupación se define como la presencia de la población en un área, representando la densidad poblacional tanto en la cabecera municipal y como las zonas rurales, se utilizan como insumos el censo poblacional del DANE, localización de centros poblados urbanos y rurales, viviendas aisladas e información predial rural.

Inicialmente, se calcula el promedio de densidad poblacional para áreas urbanas y rurales de la jurisdicción del municipio, a partir del censo poblacional de áreas urbanas y rurales, se divide sobre el área en km² del municipio, permitiendo conocer la cantidad de personas promedio por km². Posteriormente, se calcula la densidad poblacional por unidad administrativa de vereda, a partir del censo poblacional y el área en km² por vereda, definiendo el número de habitantes por km² de cada vereda, posteriormente se aplica la categorización de la Tabla 11.

Tabla 11 Calificación y categorización de la vulnerabilidad por densidad poblacional

Rangos de densidad poblacional	Rangos de la población	Calificación	Categoría de Vulnerabilidad
Sin población	Rangos dependientes de la columna anterior	0	Sin Riesgo
< 1/2 del promedio del municipio		1	Muy baja
De 1/2 al promedio del municipio		2	Baja
Promedio del municipio		3	Moderada
Promedio del municipio al doble de este		4	Alta
Al doble del promedio del municipio		5	Muy Alta

Fuente: Adaptado de IDEAM, 2011

6.3.2.2.4.2 Vulnerabilidad física

Definida a partir de los conflictos del uso del suelo, elemento que puede aumentar la categoría de amenaza, se realiza clasificando y categorizando de acuerdo al peso que tenga un conflicto para que un área sea más o menos vulnerable frente las amenazas a incendios del territorio. Para efectos de este estudio se califica y categorizan los conflictos del uso del suelo de acuerdo con la Tabla 12.

Tabla 12 Calificación y categorización de la vulnerabilidad física

Clasificación conflictos de uso	Calificación	Categoría de vulnerabilidad
Uso adecuado	1	Baja
Subutilización	2	Moderada
Sobreutilización	3	Alta
Conflictos en tierra de régimen jurídico especial	4	Muy Alta

Fuente: Adaptado de IDEAM, 2011

6.3.2.2.4.3 Vulnerabilidad ecológica

Es evaluada a partir de la adaptación de los ecosistemas al fuego, entendiendo el papel que ejerce el fuego sobre el desarrollo, regeneración y conservación de los ecosistemas, es decir que los regímenes del fuego determinan la vulnerabilidad de los ecosistemas del territorio. Es necesario realizar una reclasificación desde el mapa de ecosistemas de acuerdo al Anexo 4 influencia del fuego sobre ecosistema del protocolo IDEAM, para efectos de este estudio se realizan de acuerdo con la Tabla 13, dentro de la clasificación se encuentran 5 categorías de ecosistemas: no influidos por el fuego (ecosistemas no combustibles), independientes del fuego (no requieren el fuego para los procesos naturales de sucesión, sensibles al fuego porque no poseen mecanismos de resiliencia ni resistencia adecuados, los daños podrían ser irreparables), sensibles al fuego (sin necesidad del fuego en procesos naturales pero más resistentes que los independientes, los daños afectan significativamente los ciclos naturales), influidos por el fuego (ecosistemas en transición, intervenidos de manera antropogénica, normalmente quemados con fines agrícolas, son la barrera entre los ecosistemas dependientes e independientes o sensibles al fuego) y dependientes del fuego (ecosistemas que requieren el fuego para sus procesos esenciales de propagación, presentan adaptación al fuego y responden de manera positiva).

Tabla 13 Influencia del fuego sobre los ecosistemas continentales y marinos de Colombia

Influencia	Bioma	Cobertura
No combustibles / sin	Orobioma Bajo Andes	Aguas continentales artificiales
		Aguas continentales naturales
		Zonas desnudas

Influencia	Bioma	Cobertura
	Zonobioma Alternohígrico / Subxerofítico Tropical Alto Magdalena	Aguas continentales artificiales
		Aguas continentales naturales
Independientes del fuego	Orobioma Bajo Andes	Áreas Mayormente alteradas
		Áreas urbanas
	Zonobioma Alternohígrico / Subxerofítico Tropical Alto Magdalena	Áreas mayormente alteradas
		Áreas urbanas
Sensibles al fuego	Orobioma Bajo Andes	Bosques naturales
		Bosques plantados
		Pastos
		Vegetación secundaria
		Arbustales
	Zonobioma Alternohígrico / Subxerofítico Tropical Alto Magdalena	Arbustales
		Bosques naturales
		Herbazales
Pastos		
Influidos por el fuego	Orobioma Bajo Andes	Áreas agrícolas heterogéneas
		Cultivos anuales o transitorios
		Cultivos semipermanentes y permanentes
	Zonobioma Alternohígrico / Subxerofítico Tropical Alto Magdalena	Áreas agrícolas heterogéneas
		Cultivos anuales o transitorios
		Cultivos semipermanentes y permanentes

Fuente: Adaptado de IDEAM, 2011

Posteriormente a la calificación de los ecosistemas, se procede asignar una calificación de la influencia del fuego y categoría de vulnerabilidad de acuerdo con la Tabla 14.

Tabla 14 Calificación y categorización de la vulnerabilidad ecológica

Influencia del fuego en los ecosistemas	Calificación	Categoría de vulnerabilidad
No influidos por el fuego	0	Sin Riesgo
Dependientes del fuego	1	Baja
Influidos por el fuego	2	Moderada
Sensibles al fuego	3	Alta
Independientes al fuego	4	Muy Alta

Fuente: Adaptado de IDEAM, 2011.

6.3.2.2.4.4 Vulnerabilidad territorial

La vulnerabilidad territorial explica los cambios físicos del suelo ya sean de origen natural y antrópico, considerando las dinámicas de los asentamientos humanos, las dinámicas socioeconómicas, que alteran y degradan el paisaje, las características el medio ambiente natural, como los cambios que desfavorecen los elementos expuestos, disminuyendo su protección frente amenazas. El cálculo de la vulnerabilidad territorial es el resultado de la suma ponderada de los factores físico y ecológico, con su respectiva distribución en 5 rangos de frecuencias, calificación y categorización de acuerdo a la metodología general.

6.3.2.2.4.5 Vulnerabilidad de la infraestructura

Se evalúa la vulnerabilidad de la infraestructura, considerando la infraestructura energética, líneas eléctricas, poliductos, instalaciones de comunicaciones; y la infraestructura de transporte, puentes, vías férreas, aeropuertos, helipuertos, entre otras. Infraestructura que pueda tener afectación ante la amenaza a incendios forestales.

El análisis se lleva a cabo mediante el cálculo de proximidad a las infraestructuras existentes en el municipio, por medio de la generación de cuatro (4) buffers alrededor de cada tipo de infraestructura relacionada, posteriormente se determina acorde a la Tabla 15 la vulnerabilidad de la infraestructura.

Tabla 15 Calificación y categorización de la vulnerabilidad de la infraestructura

Distancia infraestructura (ancho buffer en metros)	Calificación	Categoría de vulnerabilidad
> 2000	1	Muy baja
1500 - 2000	2	Baja
1000 - 1500	3	Moderada
500 - 1000	4	Alta
0 - 500	5	Muy Alta

Fuente: Adaptado de IDEAM, 2011.

6.3.2.2.4.6 Vulnerabilidad patrimonial

Fragilidad de las áreas de importancia patrimonial ante la ocurrencia de un incendio de la cobertura vegetal, ya sean naturales como los parques nacionales naturales, reservas forestales nacionales, áreas de protección regional, áreas de paramo, cuencas abastecedoras, ecosistemas estratégicos, reservas de la biosfera; y antrópicos como áreas de manejo especial (resguardos, reservas indígenas, comunidades afrocolombianas, etc.), sitios de interés histórico, artístico, cultural o religioso, como parques arqueológicos, monumentos, iglesias, etc.

Para calcular la vulnerabilidad patrimonial se subdivide en áreas de valor patrimonial ya sean naturales o antrópicas, teniendo en cuenta las áreas de conservación y protección natural de la fauna, flora y el recurso hídrico, así como los sitios de interés patrimonial antrópico. Se procede a realizar una interpolación de áreas de interés patrimonial para generar una clasificación, calificación y categorización de acuerdo con la Tabla 16.

Tabla 16 Calificación y categorización de la vulnerabilidad patrimonial

Clasificación del 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: Adaptado de IDEAM, 2011

6.3.2.2.4.1 Vulnerabilidad económica

Este componente se define por las áreas de producción de bienes y servicios, dentro de las que se consideran las áreas agrícolas, ganaderas, forestales, mineras, entre otras, que pueden ser afectados en mayor o menor grado por los incendios de la cobertura vegetal. La generación de la vulnerabilidad, inicialmente se basa en la reclasificación de las coberturas de la tierra para asignar el uso actual del suelo, de acuerdo con la Tabla 17.

Tabla 17 Clasificación del uso actual del suelo a partir de las coberturas de la tierra

Cobertura (Clasificación Corine Land Cover - Nivel3)	Código CLC	Vulnerabilidad Económica	Clasificación
Tejido urbano continuo	111	Zonas urbanas, cuerpos de agua y otros	1
Tejido urbano discontinuo	112	Zonas urbanas, cuerpos de agua y otros	1
Zonas industriales o comerciales	121	Zonas mineras, industriales, comerciales	4
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	122	Zonas mineras, industriales, comerciales	4
Zonas portuarias	123	Zonas mineras, industriales, comerciales	4
Aeropuertos	124	Zonas mineras, industriales, comerciales	4
Obras hidráulicas	125	Zonas mineras, industriales, comerciales	4
Zonas de extracción minera	131	Zonas mineras, industriales, comerciales	4
Zonas de disposición de residuos	132	Zonas urbanas, cuerpos de agua y otros	1
Zonas verdes urbanas	141	Zonas naturales y de conservación	2
Instalaciones recreativas	142	Zonas naturales y de conservación	2
Otros cultivos transitorios	211	Zonas agrícolas y ganaderas	5
Cereales	212	Zonas agrícolas y ganaderas	5
Oleaginosas y leguminosas	213	Zonas agrícolas y ganaderas	5
Hortalizas	214	Zonas agrícolas y ganaderas	5
Tubérculos	215	Zonas agrícolas y ganaderas	5
Cultivos permanentes herbáceos	221	Zonas agrícolas y ganaderas	5
Cultivos permanentes arbustivos	222	Zonas agrícolas y ganaderas	5
Cultivos permanentes arbóreos	223	Zonas forestales y de cultivos arbóreos	3
Cultivos agroforestales	224	Zonas forestales y de cultivos arbóreos	3
Cultivos confinados	225	Zonas agrícolas y ganaderas	5
Pastos limpios	231	Zonas agrícolas y ganaderas	5

Cobertura (Clasificación Corine Land Cover - Nivel3)	Código CLC	Vulnerabilidad Económica	Clasificación
Pastos arbolados	232	Zonas agrícolas y ganaderas	5
Pastos enmalezados	233	Zonas agrícolas y ganaderas	5
Mosaico de cultivos	241	Zonas agrícolas y ganaderas	5
Mosaico de pastos y cultivos	242	Zonas agrícolas y ganaderas	5
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	243	Zonas agrícolas y ganaderas	5
Mosaico de pastos con espacios naturales	244	Zonas agrícolas y ganaderas	5
Mosaico de cultivos y espacios naturales	245	Zonas agrícolas y ganaderas	5
Bosque denso	311	Zonas naturales y de conservación	2
Bosque abierto	312	Zonas naturales y de conservación	2
Bosque fragmentado	313	Zonas naturales y de conservación	2
Bosque de galería y ripario	314	Zonas naturales y de conservación	2
Plantación forestal	315	Zonas forestales y de cultivos arbóreos	3
Herbazal	321	Zonas naturales y de conservación	2
Arbustal	322	Zonas naturales y de conservación	2
Vegetación secundaria o en transición	323	Zonas naturales y de conservación	2
Zonas arenosas naturales	331	Zonas naturales y de conservación	2
Afloramientos rocosos	332	Zonas naturales y de conservación	2
Tierras desnudas y degradadas	333	Zonas naturales y de conservación	2
Zonas quemadas	334	Zonas urbanas, cuerpos de agua y otros	2
Zonas glaciares y nivales	335	Zonas naturales y de conservación	2
Zonas pantanosas	411	Zonas naturales y de conservación	2
Turberas	412	Zonas naturales y de conservación	2
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	413	Zonas naturales y de conservación	2
Pantanos costeros	421	Zonas naturales y de conservación	2
Salitral	422	Zonas naturales y de conservación	2
Sedimentos expuestos en bajamar	423	Zonas naturales y de conservación	2
Ríos (50)	511	Zonas urbanas, cuerpos de agua y otros	1
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	512	Zonas urbanas, cuerpos de agua y otros	1
Canales	513	Zonas urbanas, cuerpos de agua y otros	1
Cuerpos de agua artificiales	514	Zonas urbanas, cuerpos de agua y otros	1

Cobertura (Clasificación Corine Land Cover - Nivel3)	Código CLC	Vulnerabilidad Económica	Clasificación
Lagunas costeras	524	Zonas urbanas, cuerpos de agua y otros	1
Mares y océanos	522	Zonas urbanas, cuerpos de agua y otros	1
Estanques para acuicultura marina	523	Zonas naturales y de conservación	2

Fuente: Adaptado de IDEAM, 2011

Posteriormente a la clasificación económica del territorio, se procede a calificar y categorizar teniendo en cuenta la Tabla 18.

Tabla 18 Calificación y categorización de la vulnerabilidad económica

Clasificación económica	Calificación	Categoría de vulnerabilidad
Cuerpos de agua	1	Muy baja
Zonas naturales y de conservación	2	Baja
Zonas urbanas, zonas mineras, industriales y comerciales	3	Moderada
Zonas forestales y de cultivos arbóreos	4	Alta
Zonas agrícolas y ganaderas	5	Muy Alta

Fuente: Adaptado de IDEAM, 2011.

6.3.2.2.4.2 Vulnerabilidad institucional

El componente institucional comprende las entidades institucionales para la atención de contingencias frente a los incendios de la cobertura vegetal y sus debilidades, considerando la falta de organización y eficiencia de la gestión de riesgo a nivel local, la deficiente cobertura de los organismos de control y asistencia a desastres, falta de dotación de los equipos especializados, entre otras. Dentro del análisis se contempla la distancia y tiempo de desplazamiento de los organismos de control (Bomberos, defensa civil, cruz roja, etc.) a las áreas con mayor amenaza, mediante el cálculo de isócronas, que representan área de tiempo de desplazamiento de los organismos a las zonas de mayor amenaza, posteriormente y siguiendo la metodología general, se genera la agrupación en 5 rangos de frecuencias, se califica y categoriza la vulnerabilidad institucional.

6.3.2.2.5 Vulnerabilidad total a incendios de la cobertura vegetal

La vulnerabilidad total comprende los componentes vulnerables calculados anteriormente (Poblacional, físico, ecológico, territorial, de infraestructura, patrimonial, económico e institucional), los cuales deben ser estandarizados, ya que representan diferentes unidades de medidas, se propone la normalización de datos, para calcular posteriormente cinco (5) rangos de frecuencias, calificarlos y categorizarlos en la vulnerabilidad total (ver Tabla 19).

Tabla 19 Calificación y categorización de la vulnerabilidad total

Ponderación vulnerabilidad total	Calificación	Categoría de vulnerabilidad total
Distribución de frecuencias de la suma ponderadas en 5 rangos de frecuencia	1	Muy baja
	2	Baja
	3	Moderada
	4	Alta
	5	Muy Alta

Fuente: Adaptado de IDEAM, 2011.

6.3.2.2.6 Zonificación del Riesgo a incendios de la cobertura vegetal

El riesgo se entiende como la probabilidad de ocurrencia de consecuencias o pérdidas, siendo el producto ponderado de la amenaza y la vulnerabilidad, con la interacción de elementos que las componen. La zonificación del riesgo a incendios de la cobertura vegetal (RICV), se hará bajo la metodología general, al realizar el producto entre amenaza total y vulnerabilidad total, se agrupan los resultados en cinco (5) rangos de frecuencias, se califica y categoriza (ver Tabla 20).

Tabla 20 Calificación y categorización de la zonificación del riesgo a incendios de la cobertura vegetal

Ponderación zonificación del RICV	Calificación	Categoría de zonificación del RICV
Distribución de frecuencias de la suma ponderadas en 5 rangos de frecuencia	1	Muy baja
	2	Baja
	3	Moderada
	4	Alta
	5	Muy Alta

Fuente: Adaptado de IDEAM, 2011

6.3.3 Tercera fase: Salidas gráficas

La tercera fase consiste en la construcción de mapas temáticos mediante la herramienta SIG ArcGIS PRO, se pretende la generación de mapas de cada factor con los insumos recolectados y procesados, su posterior integración en los mapas de la amenaza y vulnerabilidad totales, y finalmente el mapa de la zonificación del riesgo a incendios. En la Tabla 21 se resumen los mapas temáticos a construir, los insumos necesarios para construir los mapas insumo, que permitirán la creación de factores y finalmente, las salidas gráficas principales de susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios, amenaza y vulnerabilidad total a incendios y la zonificación de incendios de la cobertura vegetal.

Tabla 21 Construcción de mapas temáticos

Mapas Temáticos		Proceso	Insumos
		Base Salidas Gráficas	Veredas de Natagaima
		<i>Político - Administrativo</i>	<i>Municipios Aledaños del Depto. De Tolima-Huila</i>
			<i>Limite Municipal</i>
Zonificación De	Amenaza Total a ICV	Susceptibilidad total de la Cobertura Vegetal	Cobertura de la Tierra clasificado a nivel 3 del CLC
		Amenaza por Accesibilidad	Vías (primarias, secundarias y tercerías)
			Tipo combustible
			Duración combustible
		Carga combustible	
		Buffers de Accesibilidad	

Mapas Temáticos**Proceso****Insumos**

Base Salidas Gráficas
Político - Administrativo

Veredas de Natagaima
Municipios Aledaños del Depto.
De Tolima-Huila
Limite Municipal

Vulnerabilidad Total a ICV	Amenaza por Pendientes	Pendientes (Modelo de elevación del Terreno - DEM)	Curvas de nivel
	Amenaza por Precipitación	Precipitaciones clasificadas	Isoyetas (datos 10-30 años)
	Amenaza por Temperatura	Temperatura clasificada	Isotermas (datos 10-30 años)
	Amenaza por frecuencia	Frecuencia de incendios	Puntos históricos de incendios de 24 años de MODIS BURN AREAS)
	Vulnerabilidad Institucional	Organización Institucional (Isócronas)	Puntos de los sitios institucionales: Bomberos, Policía, Cruz Roja, DCC, CREPAD, etc.
	Vulnerabilidad Poblacional	Densidad poblacional rural y urbana	Censo poblacional DANE 2018
	Vulnerabilidad Ecológica	Clasificación de la Influencia del fuego en Ecosistemas	Ecosistemas
	Vulnerabilidad Física	Conflictos de uso del suelo clasificado	Conflicto de uso del suelo
	Vulnerabilidad Patrimonial	Limites PNN, reservas regionales y municipales	Polígonos con las aéreas respectivas
			Resguardos
Vulnerabilidad de la Infraestructura	Buffers Vías	Vías (primarias, secundarias y tercerías)	
	Buffers Infraestructura Energética	Líneas eléctricas, productos, oleoductos, gasoductos, torres de comunicación, etc.	

<i>Mapas Temáticos</i>	<i>Proceso</i>	<i>Insumos</i>
	<i>Base Salidas Gráficas</i> <i>Político - Administrativo</i>	<i>Veredas de Natagaima</i> <i>Municipios Aledaños del Depto.</i> <i>De Tolima-Huila</i> <i>Limite Municipal</i>
	Buffers Infraestructura de transporte	Aeropuertos, puentes, helipuertos, puertos fluviales y/o marítimos, etc.
Vulnerabilidad Económica	Uso actual del suelo clasificado	Cobertura de la Tierra en CLC nivel 3
Vulnerabilidad Territorial		Vulnerabilidad Física Vulnerabilidad Ecológica

Fuente: Adaptado de IDEAM, 2011

7. Resultados

Para el desarrollo del presente estudio, se llevó a cabo la revisión y compilación de información secundaria relevante relacionada con los factores que inciden en la susceptibilidad de la cobertura vegetal, así como en la amenaza y vulnerabilidad frente a incendios forestales en el municipio de Natagaima, Tolima. Este proceso permitió identificar, seleccionar y organizar los insumos necesarios para la elaboración de los mapas temáticos que sustentan el análisis del riesgo.

El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) se utilizó en la identificación de zonas con riesgo de incendios forestales en el municipio de Natagaima como un recurso para organizar y evaluar la información. En el primer nivel, se identificaron los factores que afectan la amenaza y la vulnerabilidad, asignando a cada uno un peso relativo de acuerdo a su impacto en el fenómeno. En el segundo nivel, se combinaron esos factores para evaluar de manera distinta la amenaza y la vulnerabilidad. Finalmente, en el tercer nivel, ambos elementos se unieron para crear la zonificación del riesgo, lo que facilitó la obtención de una representación espacial más clara y organizada del territorio en relación con la ocurrencia de incendios forestales.

A continuación, en la Tabla 22, se presenta con los principales insumos utilizados, indicando para cada uno su origen, ya sea a partir de fuentes secundarias (institucionales, bibliográficas o bases de datos) o elaborados directamente en el marco de este trabajo. Esta sistematización constituye la base técnica que respalda los resultados cartográficos obtenidos y garantiza la trazabilidad de la información empleada.

Tabla 22 Variables y fuentes de información empleadas en el análisis de amenaza, susceptibilidad y riesgo por incendios forestales

COMPONENTES	FACTORES (Norm. Clas. Categ.)	Mapas	Proceso	Insumo	FECHA	ESCALA	FUENTE	Comentarios / Observaciones
Salidas gráficas	Todos	Político - Administrativo	Recorte y Proyección de coordenadas a Origen nacional	Veredas (26)	31/12/2020	1:10.000	https://www.colombiainmapas.gov.co/?e=-87.3432432910149,-6.082948744200529,-61.15183704102185,15.974779304949639,4686&b=igac&u=0&t=29&servicio=690	DANE (2020) e IGAC (2016)
			Departamentos Tolima-Huila	1/04/2022	1:100.000	https://www.colombiainmapas.gov.co/?e=-87.3432432910149,-5.95183923659325,-61.15183704102185,16.101483899324254,4686&b=igac&u=0&t=23&servicio=205	Cartografía base de 2022; IGAC	
			Municipios Tolima-Huila Aledaños	1/04/2022	1:100.000	https://www.colombiainmapas.gov.co/?e=-87.3432432910149,-5.95183923659325,-61.15183704102185,16.101483899324254,4686&b=igac&u=0&t=23&servicio=206	Municipios de Colombia	
			Limite Municipal	30/12/2024	1:100.000	IGAC https://www.colombiainmapas.gov.co/?e=-75.32082811632695,3.345523146841085,-74.91158739367054,3.7162925510833156,4686&b=igac&u=73483&t=29&servicio=199		
			Curvas de nivel	1/04/2022	1:100.000	https://www.colombiainmapas.gov.co/?e=-76.92860962562074,2.7116294631886313,-73.65468384437162,5.489259755055295,4686&b=igac&u=73&t=23&servicio=9507	Ortoimagen en 2024; resolución n 3m	

AMENAZA TOTAL A INCENDIOS DE LA COBERTUR A VEGETAL	Susceptibilidad	Tipo	Reclasifi	Cobertura de	1/11/2	1:100.	https://visualizador.ideam.gov.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/6b758d66-80c8-4c37-a775-98e169713459	
	total de la Cobertura	Combust	cación	la Tierra en	024	000		
	Vegetal	ible		CLC nivel 3				
		Duración						
		combusti						
		ble						
		Carga						
	combusti							
	ble							
Amenaza por	Buffers	Múltiple	Vías	2022	1:100.	https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-75.32517121034896,3.471113447419669,-74.91593048769256,3.8418318236133024,4686&b=igac&u=73483&t=2306&servicio=205		
Accesibilidad	Vías	rings	(primarias, secundarias y terciarias)		000			
Amenaza por	Pendientes	Slope	DEM o curvas de nivel	1/04/2022	1:100.	https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-87.3432432910149,-5.95183923659325,-61.15183704102185,16.101483899324254,4686&b=igac&u=0&t=23&servicio=205		
Amenaza por	Isoyetas	Interpolación	Registro estaciones climáticas	1991-2020	1:100.	http://archivo.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima		
Precipitación		Spline			000			
Amenaza por	Isoterma	Interpolación	Registro estaciones climáticas	1991-2020	1:100.	http://archivo.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima		
Temperatura	s	Spline			000			
Amenaza por	Frecuencia de incendios	Kernel Density	Puntos de incendios registro histórico 23	2000-2025	Resol. Esp. 500 metros	https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/order/4/MCD64A1--61/2000-01-01..2025-05-12/DB/-75.8,4.4,-74.3,3.1	MODIS NASA	

VULNERABILIDAD TOTAL A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL	Vulnerabilidad Institucional	Organización Institucional (Isócronas)	Service area	años MODIS BURN AREAS Puntos (sitios institucionales: Bomberos, Policía, Cruz Roja, DCC, CREPAD, etc.)	2025	N/A	Generación por parte de los autores	Según información de la ubicación en Google, se realizó el levantamiento de los puntos
	Vulnerabilidad Poblacional	Densidad poblacional rural y urbana	Buffers	Censo poblacional espacializado	2018	1:100.000	https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-75.32517121034896,3.471113447419669,-74.91593048769256,3.8418318236133024,4686&b=igac&u=73483&t=36&servicio=2253	Dentro de distribución espacial está la densidad, no se encuentran datos actualizados

Vulnerabilidad Territorial	Vulnerabilidad Ecológica	Influencia del fuego en Ecosistema	Reclasificación	Ecosistemas	nov-24	1:100.000	https://visualizador.ideam.gov.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/6b758d66-80c8-4c37-a775-98e169713459	
	Vulnerabilidad Física	Conflicto de uso del suelo	Reclasificación	Conflicto de uso del suelo	2012	1:100.000	https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-77.37904907874689,1.926756584115182,-70.83119751624862,7.47588498771617,4686&b=igac&u=73&t=43&servicio=1652	
Vulnerabilidad Patrimonial	Limites PNN, reservas regionales y municipales	Intersect Poligonal		Polígonos PNN, RNSC, reservas regionales y municipales	2020	1:100.000	https://www.colombiaenmapas.gov.co/#	
	Resguardos			Polígonos resguardos	2024	1:100.000	https://data-agenciadetierras.opendata.arcgis.com/datasets/agenciadetierras::resguardo-indigena-formalizado/about	Se incluyen; Resguardo o Indígena Pijao El Tambo registrada en Coyaima y Resguard

							o Indígena Pijao de Beltrán registrad o en Ataco, pero con superfici e de tierras en Natagaim a
	Sitios de interés cultural, <u>turístico</u> , histórico, <u>arqueoló gico</u> , mítico- <u>religioso</u> , etc.		Ubicación polígonos o puntos	2022	1:100. 000	https://ags.esri.com/arcgis/rest/services/LivingAtlas/Sitios_Arqueologicos/MapServer/0	Sitios turísticos , Sitios Arqueoló gicos, sitios religiosos
Vulnerabilidad de la Infraestructura	Buffers Vías	Multiple rings buffers	Vías (primarias, secundarias y terciarias)	2022	1:100. 000	https://www.colombiamapas.gov.co/?e=-75.32517121034896,3.471113447419669,-74.91593048769256,3.8418318236133024,4686&b=igac&u=73483&t=2306&servicio=205	

	<p>Infraestructura Energética</p>		<p>Líneas eléctricas, productos, oleoductos, gasoductos, torres de comunicación, etc.</p>	<p>2013-2019</p>	<p>1:100.000</p>	<p>https://sig.anla.gov.co/index.aspx</p>		<p>Fuente IGAC 2022: Línea alta tensión catod Base y ANLA: Líneas Alta tensión 2012, Líneas P. Infraestructura 2019, Líneas P. S. Energía 2013, Ductos S. Hidrocarburos 2013, áreas Otorgadas S. Hidrocar</p>
--	-----------------------------------	--	---	------------------	------------------	--	--	---

buros
2014

	Infraestructura de transporte		Aeropuertos, puentes, helipuertos, puentes fluviales y/o marítimos, etc.	2022	1:100.000	https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-75.32517121034896,3.471113447419669,-74.91593048769256,3.8418318236133024,4686&b=igac&u=73483&t=2306&servicio=205
Vulnerabilidad Económica	Uso actual del suelo (Anexo 3 IDEAM)	Reclasificación	Cobertura de la Tierra en CLC nivel 3	1/11/2024	1:100.000	https://visualizador.ideam.gov.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/6b758d66-80c8-4c37-a775-98e169713459

A continuación, se presentan los mapas correspondientes a los factores de amenaza y vulnerabilidad, insumos fundamentales para la zonificación del riesgo a incendios forestales en el municipio de Natagaima. Cada una de las gráficas ha sido descrita de manera individual con el fin de interpretar su distribución espacial y aportar a la comprensión integral del riesgo.

7.1 Factores de amenaza

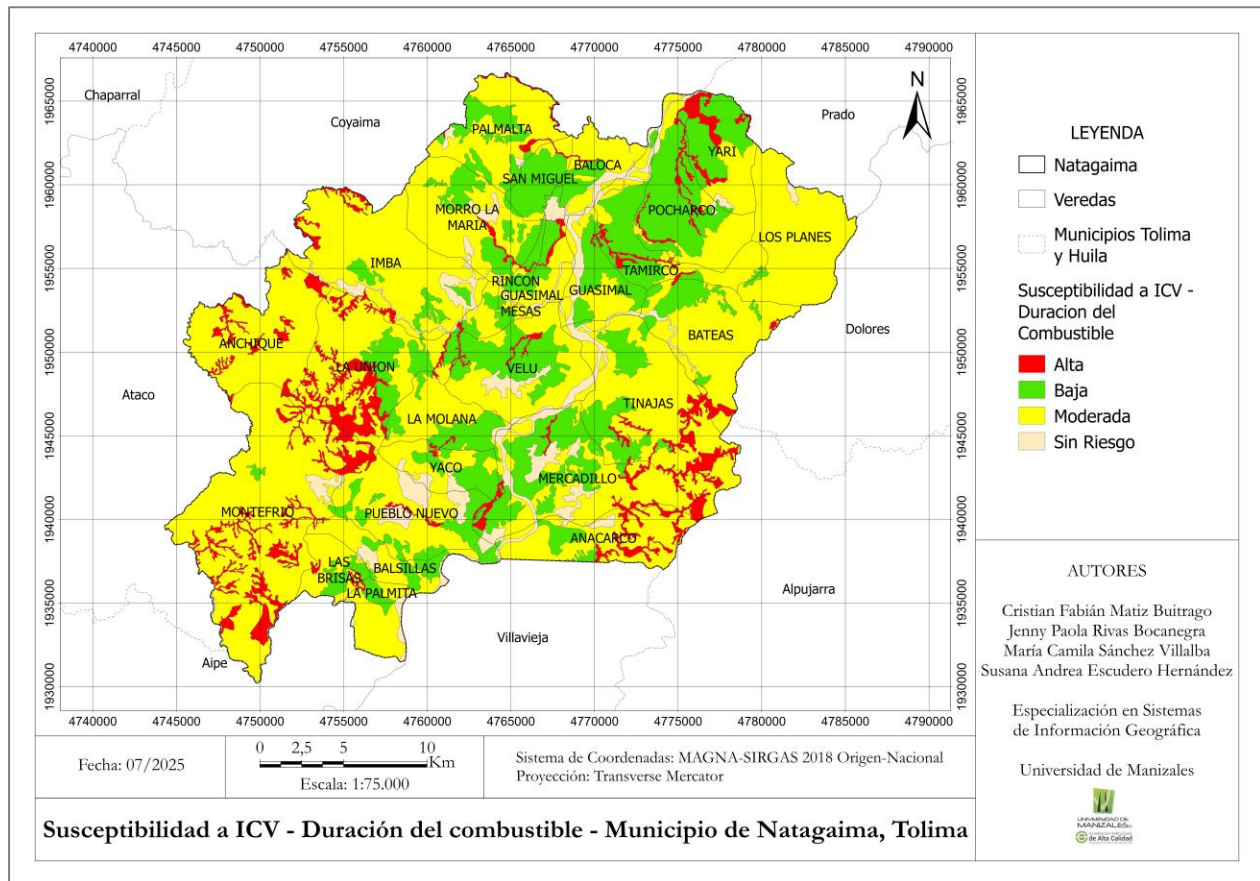
7.1.1 Susceptibilidad de la cobertura a incendios de la cobertura vegetal

7.1.1.1 Tipo de combustible

El tipo de combustible presenta una distribución espacial general de categoría alta con 25.060,27 ha, que representa el 29,22% del municipio, seguida de la categoría Muy alta con 24.892,01 ha (29,03%) la cual se presenta principalmente en las veredas Tinajas, Pocharco y Mercadillo, en menor proporción las veredas de Anarco, Montefrío y Los Planes. La categoría moderada con 18.351,03 ha (21,40%) se presenta en mayor proporción en las veredas Imba, Tinajas y Pocharco.

En el mapa se observa que las zonas con mayor susceptibilidad (muy alta y alta) se concentran en el centro y suroriente del municipio, mientras que las zonas de menor susceptibilidad se ubican de forma dispersa, principalmente en el occidente y áreas cercanas a cuerpos de agua o coberturas agrícolas, ver Figura 3.

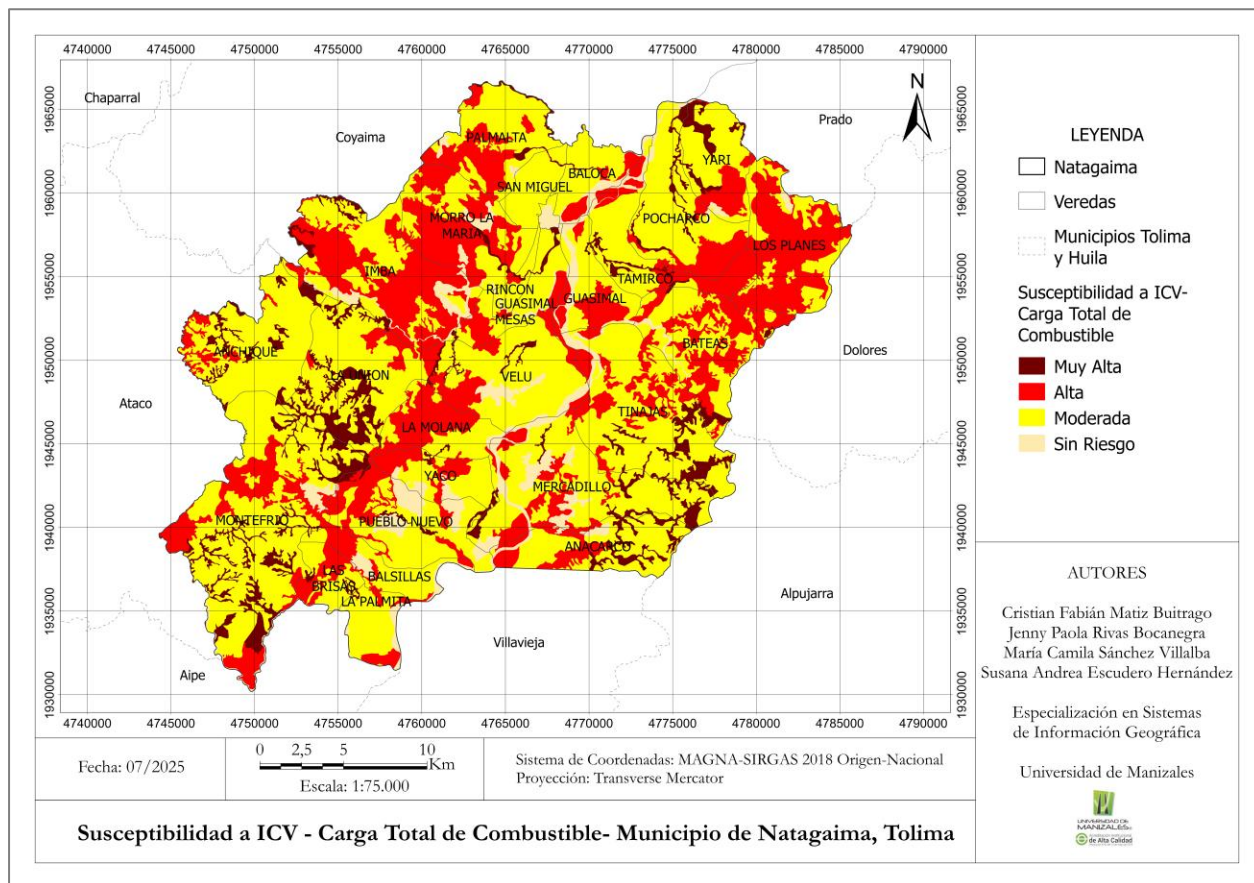
Figura 4 Mapa de duración del combustible en la susceptibilidad a ICV



7.1.1.3 Carga total del combustible

El factor de Carga total del combustible tiene como resultado, una predominancia de la categoría Moderada con 50.006,85 ha, lo que representa el 58,19% del área total del Municipio. Seguidamente, se encuentra la categoría Alta con 24.571,08 ha (28,59%), en donde se evidencia mayormente en las veredas: Imba, Los Planes, Morro La María y Montefrío. Asimismo, la categoría Muy alta tiene un área de 6.431,07 ha (7,48%), donde se presenta predominantemente en las veredas: Montefrío, La Unión y Tinajas (ver Figura 5).

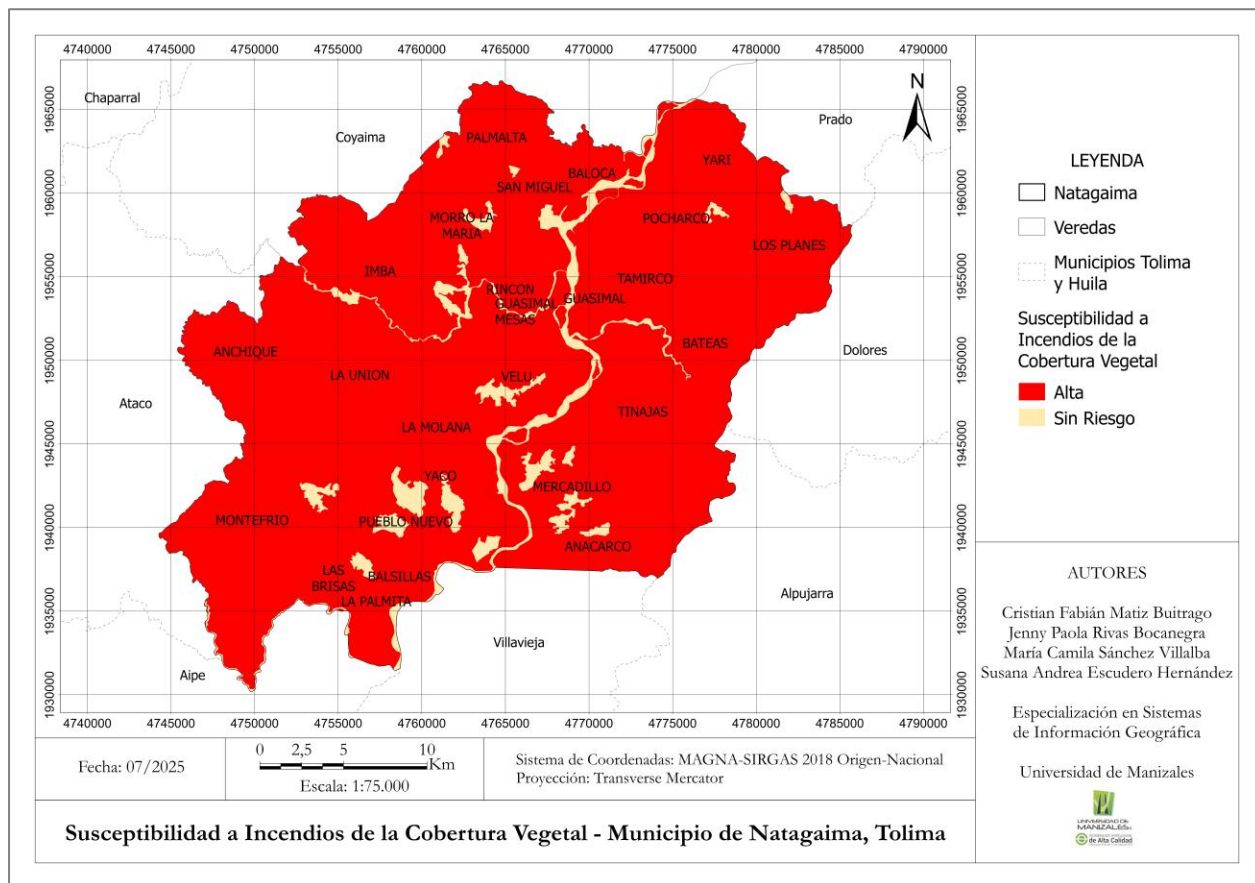
Figura 5 Mapa de carga total de combustible en la susceptibilidad a ICV



7.1.1.4 Susceptibilidad total a incendios de la cobertura vegetal

Se puede apreciar en la Figura 6, que el municipio de Natagaima presenta una susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal predominantemente alta, lo cual corresponde al 94,27% del área total de la zona de estudio. Este resultado se debe a la condición pirogénica de las coberturas de la tierra identificadas, la cual se determinó a partir de los parámetros evaluados tales como: tipo de combustible, carga total del combustible y duración del combustible.

Figura 6 Mapa de susceptibilidad total a ICV

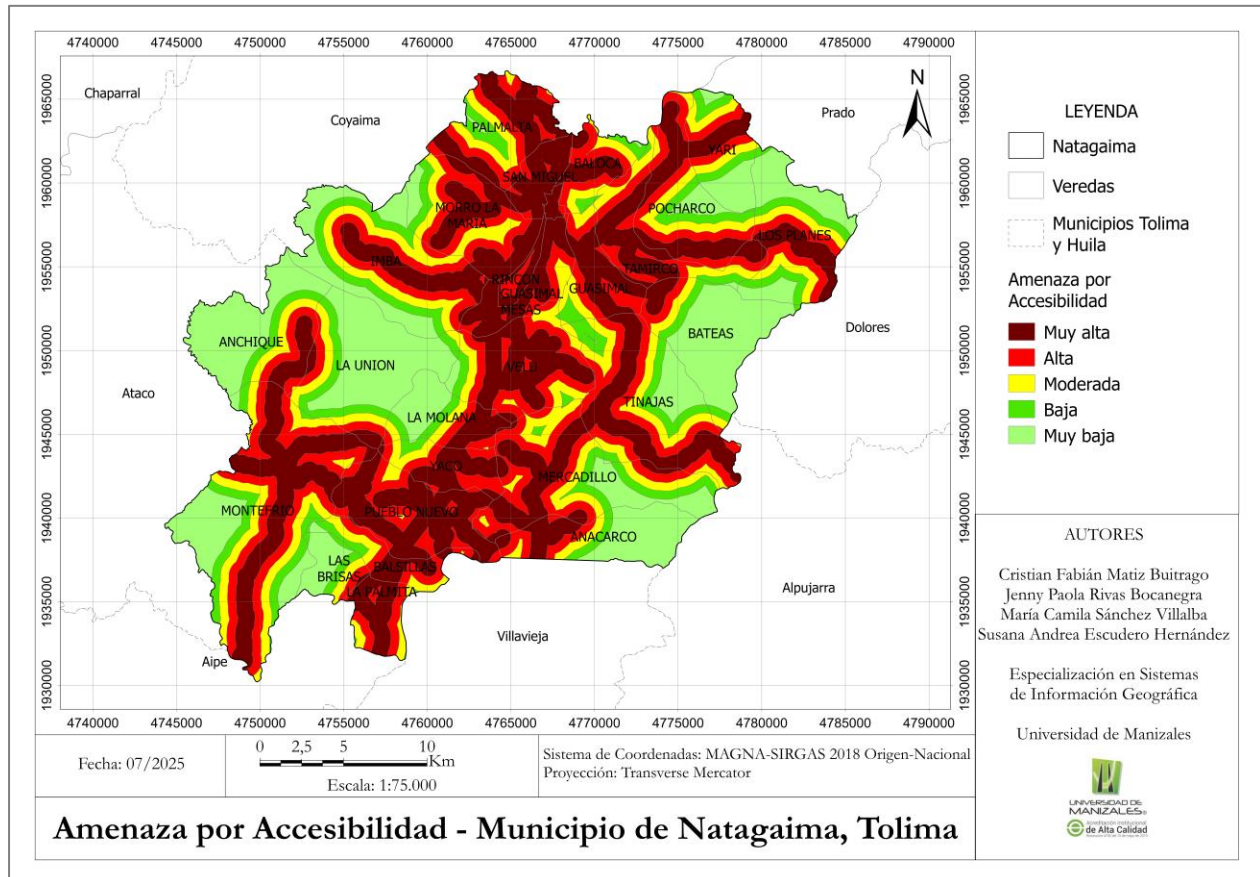


7.1.2 Amenaza por accesibilidad

Este mapa representa la amenaza territorial asociada a la accesibilidad, es decir, la facilidad con la que una zona del municipio puede ser alcanzada a través de la red vial o caminos existentes. Esta variable es clave para entender la presión antrópica que puede ejercer la población sobre los ecosistemas, y su relación con riesgos como la deforestación, incendios o expansión de actividades agropecuarias. Se destaca en mayor proporción la categoría Muy alta con 26.945,65 ha con el 31,4%, en mayor proporción en las veredas Montefrío, Pueblo Nuevo y Velú seguida de la categoría Muy baja con una extensión de 19.583,11 y el 22,8% de representatividad, en mayor proporción en la vereda La Unión, Bateas y Anchique. Se observa que las zonas con amenaza muy alta y alta se concentran a lo largo de las vías principales y secundarias, distribuidas radialmente

desde el centro del municipio hacia las veredas. En contraste, las áreas más alejadas de las rutas de acceso presentan niveles de amenaza bajos a muy bajos (ver Figura 7).

Figura 7 Mapa de amenaza por accesibilidad

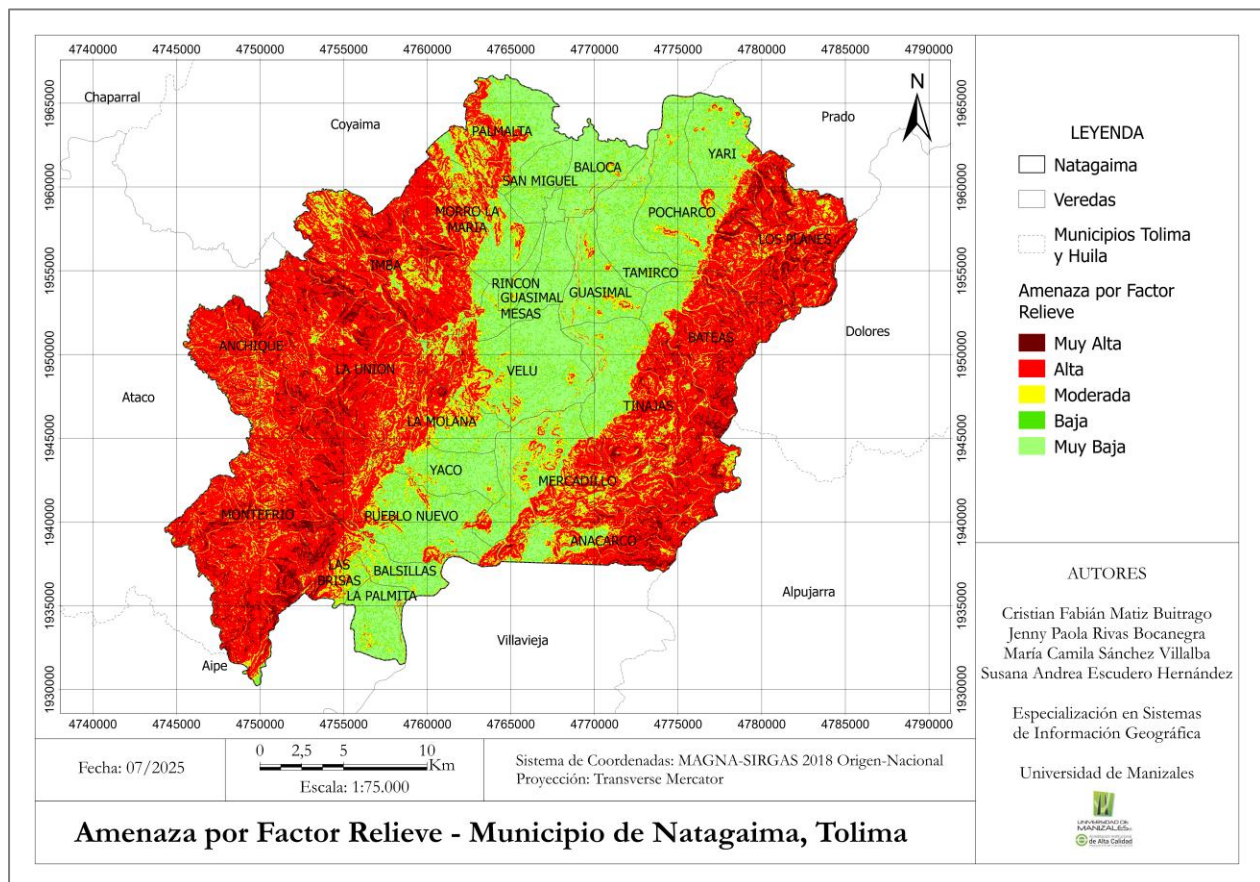


7.1.3 Amenaza por factor relieve

La amenaza por factor relieve comprende la rápida propagación del fuego en las pendientes, la Figura 8 refleja el resultado del análisis. De manera general se distingue las categorías; alta con 39.208,96 ha (45,63%) y muy alta con 4.662,90 ha (5,43%), en los extremos oriental y occidental del municipio, donde predomina la topografía accidentada con montañas dispersas, estas áreas pertenecen a las veredas Imba, Anchique, La Unión, Montefrío, Los Planes, Bateas, en menor proporción en las veredas Morro La María, Palmalta, Tinajas, Mercadillo y Anarco. En la parte central del municipio el panorama cambia drásticamente, debido al valle del río Magdalena donde

predominan las categorías; muy baja con 22.399,27 ha (26,07%) y baja con 8.285,67 ha (9,64%), comprendiendo el casco urbano de Natagaima y también las veredas Baloca, Rincón, Guasimal, Guasimal Mesas, Tamirco, San Miguel, Velú, Yaco y la Palmita. La categoría moderada se presenta de forma dispersa en la transición entre categorías con de 11378,21 ha (13,24%) (ver Figura 8).

Figura 8 Mapa de amenaza por factor relieve



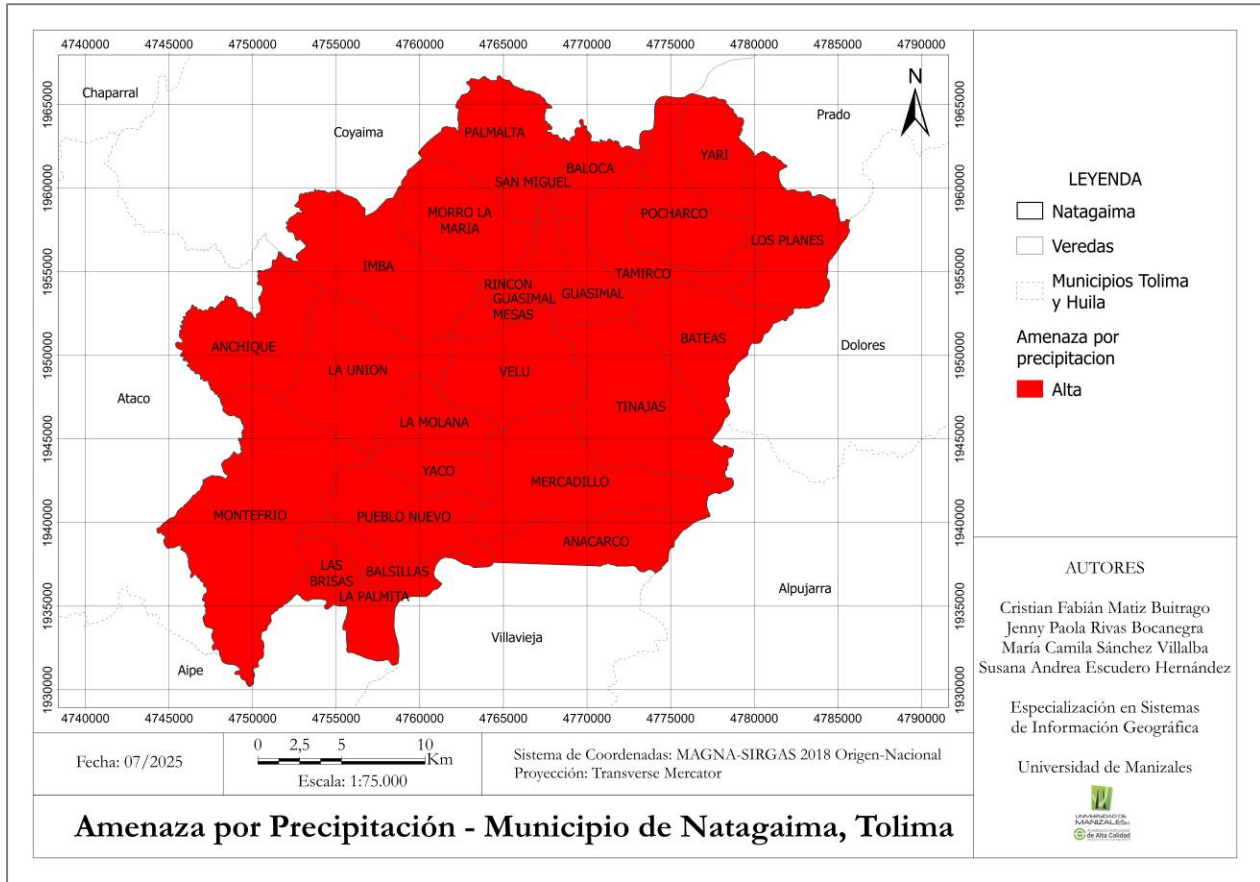
7.1.4 Amenaza por factores climáticos

7.1.4.1 Amenaza por precipitación

Una vez obtenidos los datos de la precipitación media multianual de las estaciones meteorológicas ubicadas en los departamentos de Tolima y Huila, se procedió al cálculo de las

Isoyetas utilizando el software ArcGIS pro. Para ello, se realizó la conversión del formato ráster a shapefile, lo que permitió determinar que en el área de estudio se presentan precipitaciones entre 1000 y 2000 mm. Según la clasificación del IDEAM, esta condición corresponde a una categoría de amenaza Muy alta (ver Figura 9).

Figura 9 Mapa de amenaza por precipitación

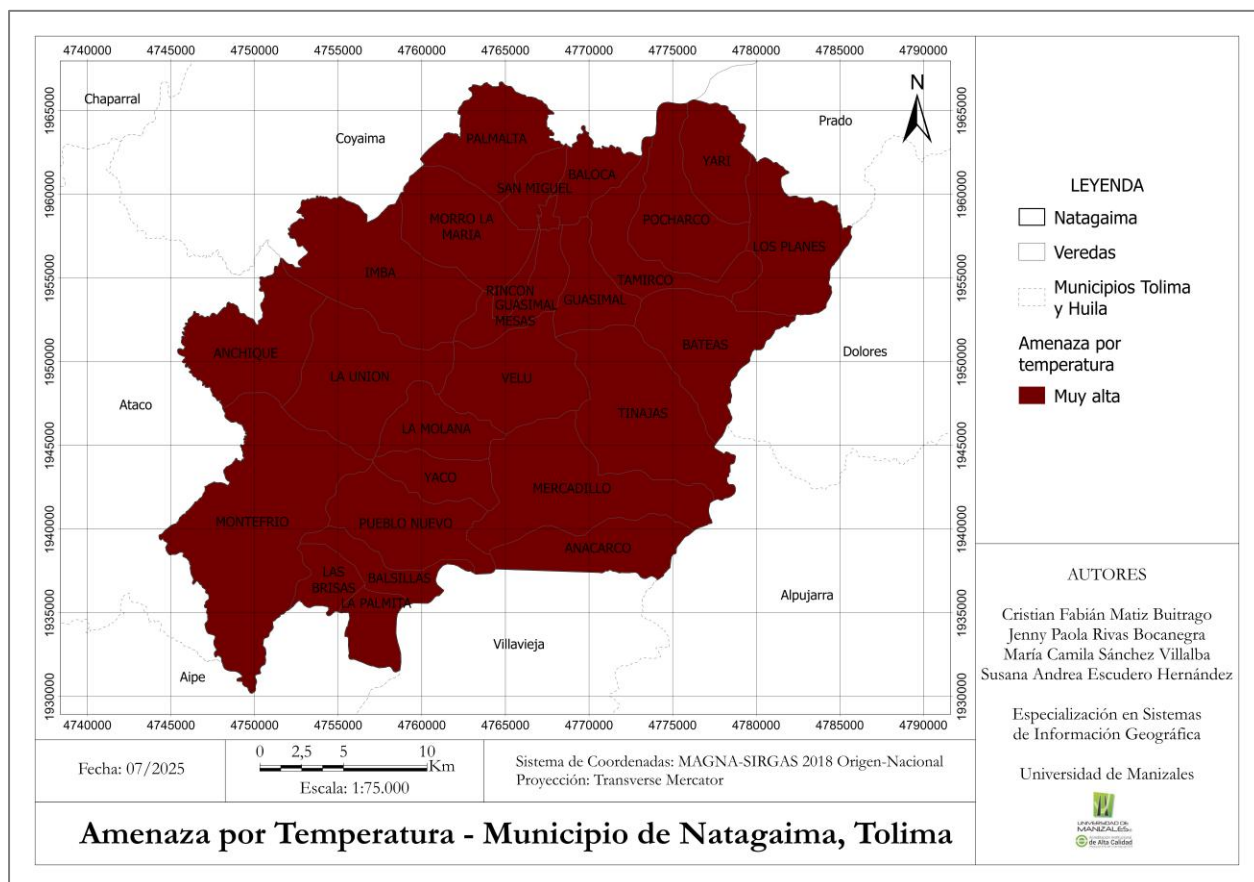


7.1.4.2 Amenaza por temperatura

Una vez obtenidos los datos de la temperatura media multianual de las estaciones meteorológicas ubicadas en los departamentos de Tolima y Huila, se procedió al cálculo de las Isotermas utilizando el software ArcGIS pro. Para ello, se realizó la conversión del formato ráster a shapefile, lo que permitió determinar que en el área de estudio se presentan temperaturas

superiores a 24°C. Según la clasificación del IDEAM, esta condición corresponde a una categoría de amenaza alta (ver Figura 10).

Figura 10 Mapa de amenaza por temperatura

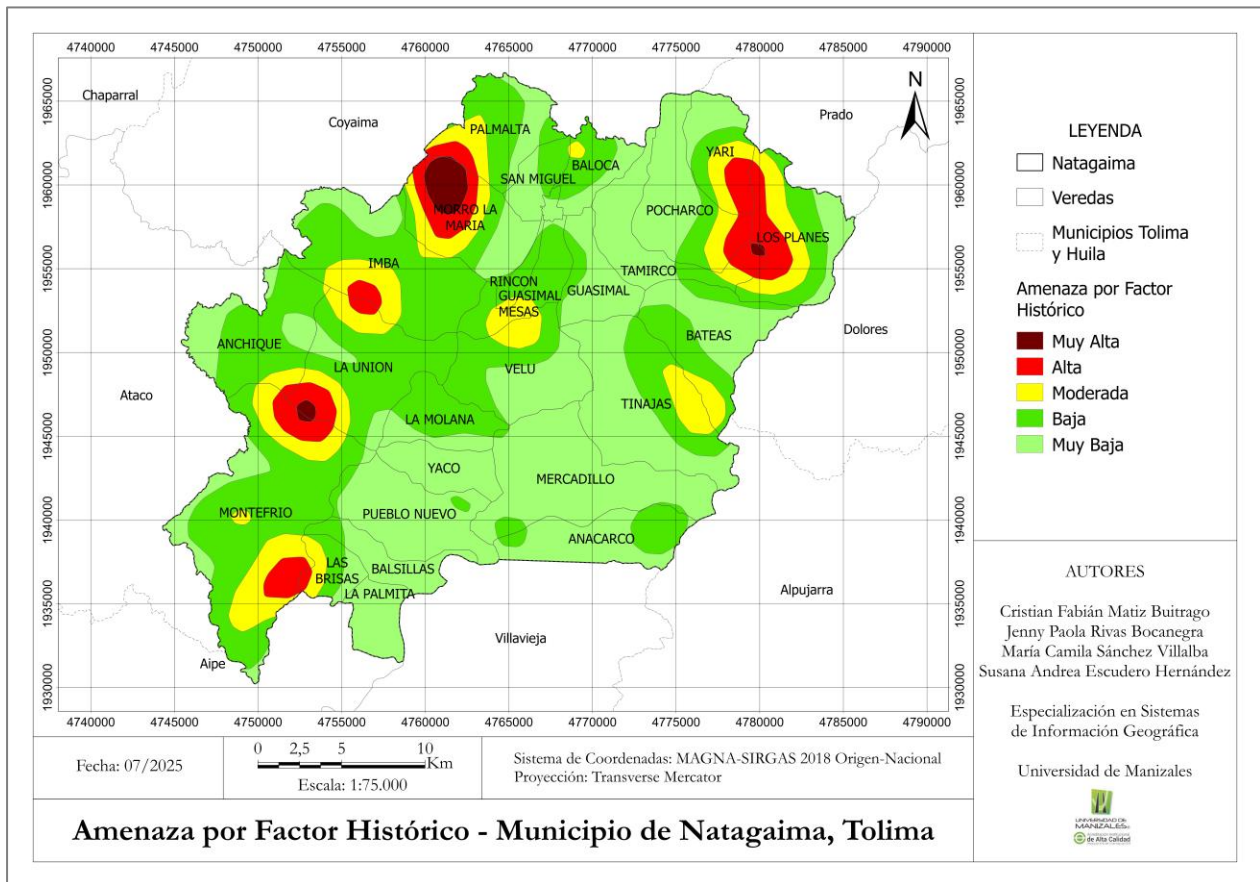


7.1.5 Amenaza por factor histórico

Con un periodo de análisis de 24 años desde el 2001 al 2024, la amenaza por factor histórico de incendios forestales obtuvo como resultado el mapa presentado en la Figura 11. La categoría de amenaza muy alta con 863,58 ha que representa alrededor del 1% del total del municipio se evidencia en las veredas de Morro La María, La Unión y Tamirco. Circundante a la categoría anterior se encuentra la amenaza alta con 4.622,55 ha (5,38%), presente en las veredas de Morro La María, Imba, Tamirco, Pocharco, los Planes, Yari, La Unión, Montefrío y Las Brisas; de tal modo que se define un patrón de incendios y convierte estas veredas en las más propensas a la

ocurrencia de incendios. La amenaza moderada con 9.903,73 ha (11,52 %) se presenta en las veredas mencionadas anteriormente y en Palmalta, Baloca, Velú, Guasimal Mesas, Bateas y Tinajas. Por último, la amenaza baja con 31.699,25 ha (36,89%) y muy baja con 38.845,90 ha (45,2%), representan la mayor área del municipio (82,09%) y se localizan de manera dispersa en el resto de las veredas del municipio, concentrándose una franja central en la amenaza muy baja.

Figura 11 Mapa de amenaza por factor histórico

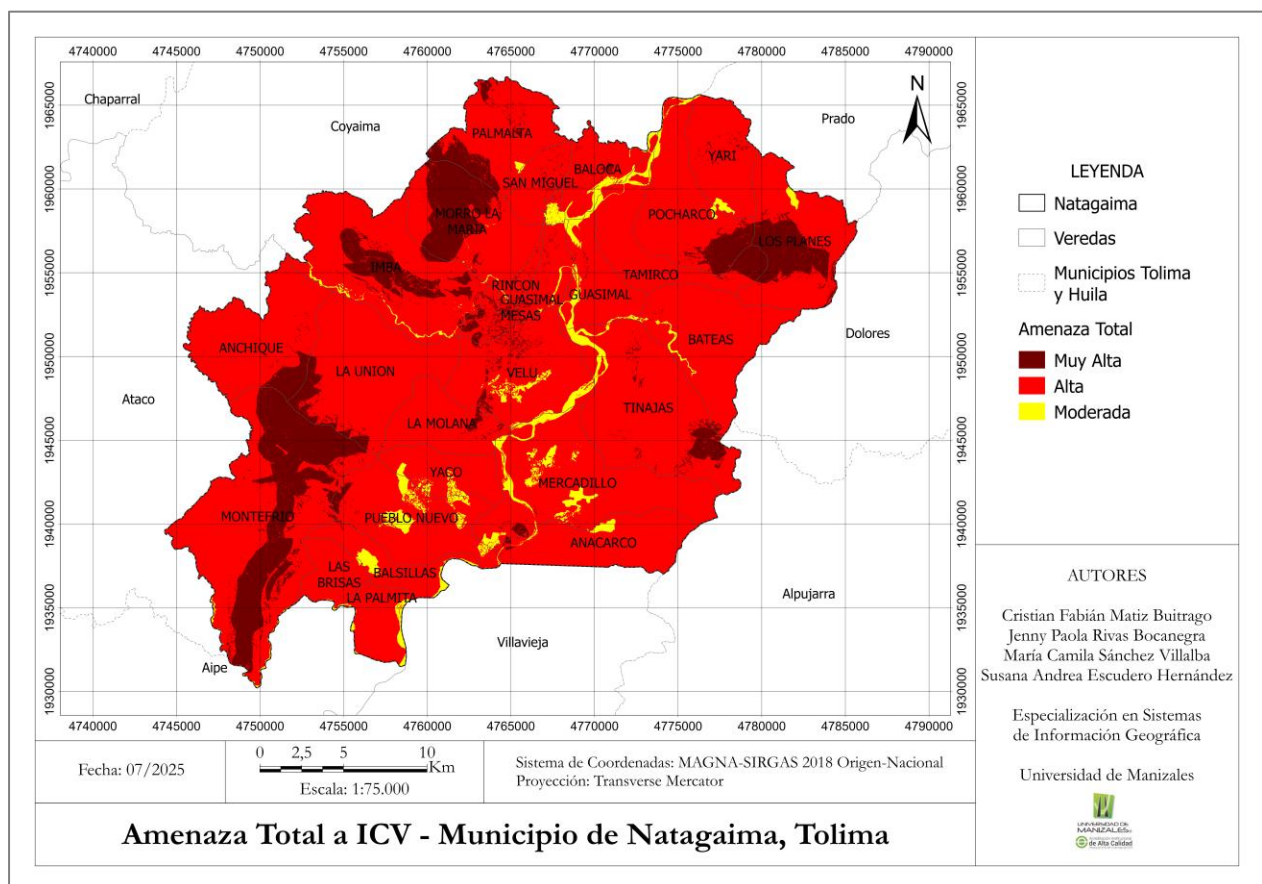


7.1.6 Amenaza total a ICV

En la Figura 7 se evidencia la amenaza total en el municipio, resultado de integrar las amenazas por susceptibilidad a ICV, relieve, precipitación y temperatura, histórico y accesibilidad. Siendo predominante la amenaza de categoría alta, se extiende por 71.550,99 ha, alrededor de 83,26% del total del área del municipio. La amenaza muy alta cubre 11.372,38 ha (13,23%),

comprende las veredas Morro La María, Imba, La Unión, Montefrío, Anchique, Pocharco, Los Planes y Tinajas principalmente, se observan pequeñas áreas dispersas en otras veredas como Palmalta, Yari, Velú, Rincón, Guasimal Mesas, La Molana y Mercadillo. La categoría de amenaza moderada se extiende por 3.011,65 ha (3,5%) del municipio, presente en el casco urbano de Natagaima y las veredas de Baloca, Tamirco, Guasimal, Tinajas, Mercadillo, Yaco, Pueblo Nuevo, Balsillas, Anarco y La Palmita, sitios con cercanías al Río Magdalena y sus tributarios.

Figura 12 Mapa de amenaza total

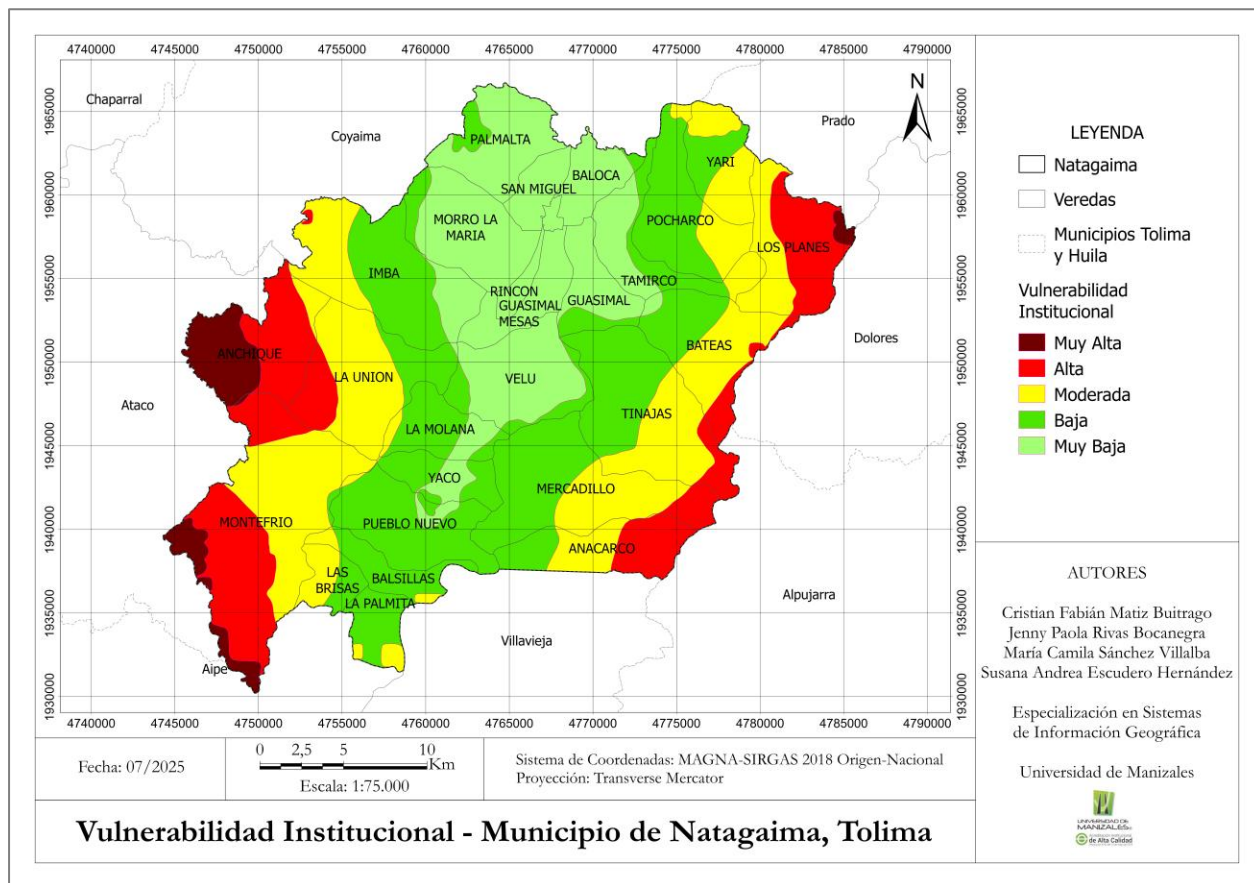


7.2 Factores de vulnerabilidad

7.2.1 *Vulnerabilidad institucional*

Resultado del análisis con isócronas de la vulnerabilidad institucional, que permitió determinar la cobertura y tiempo de respuesta de las entidades para la gestión del riesgo a incendios en el municipio (ver Figura 13). Se evidencia una clara centralización de las entidades de respuesta ante posibles incendios, lo que demarca una vulnerabilidad muy baja en 19.431,10 ha (22,61 %) correspondiente casco urbano y las veredas aledañas, seguida de la vulnerabilidad baja en 28.107,73 ha (32,71 %), con tiempos de atención promedio de 0-60 minutos y 60-120 minutos respectivamente. La vulnerabilidad moderada se presenta en 22.720,23 ha (26,44 %) cubriendo áreas al occidente y oriente del municipio, donde el tiempo de atención podría oscilar entre 120-180 minutos. Por último, las áreas con categoría de vulnerabilidad alta comprenden 12.769,81 ha (14,86 %) y muy alta con 2.906,14 ha (3,38 %), se localizan al borde municipal occidental y oriental, donde el tiempo de respuesta podría variar entre 180 a 300 minutos, cabe aclarar que la deficiencia de cobertura de respuesta depende directamente de la maya vial y el tipo de vías existente, así como la centralización de entidades encargadas.

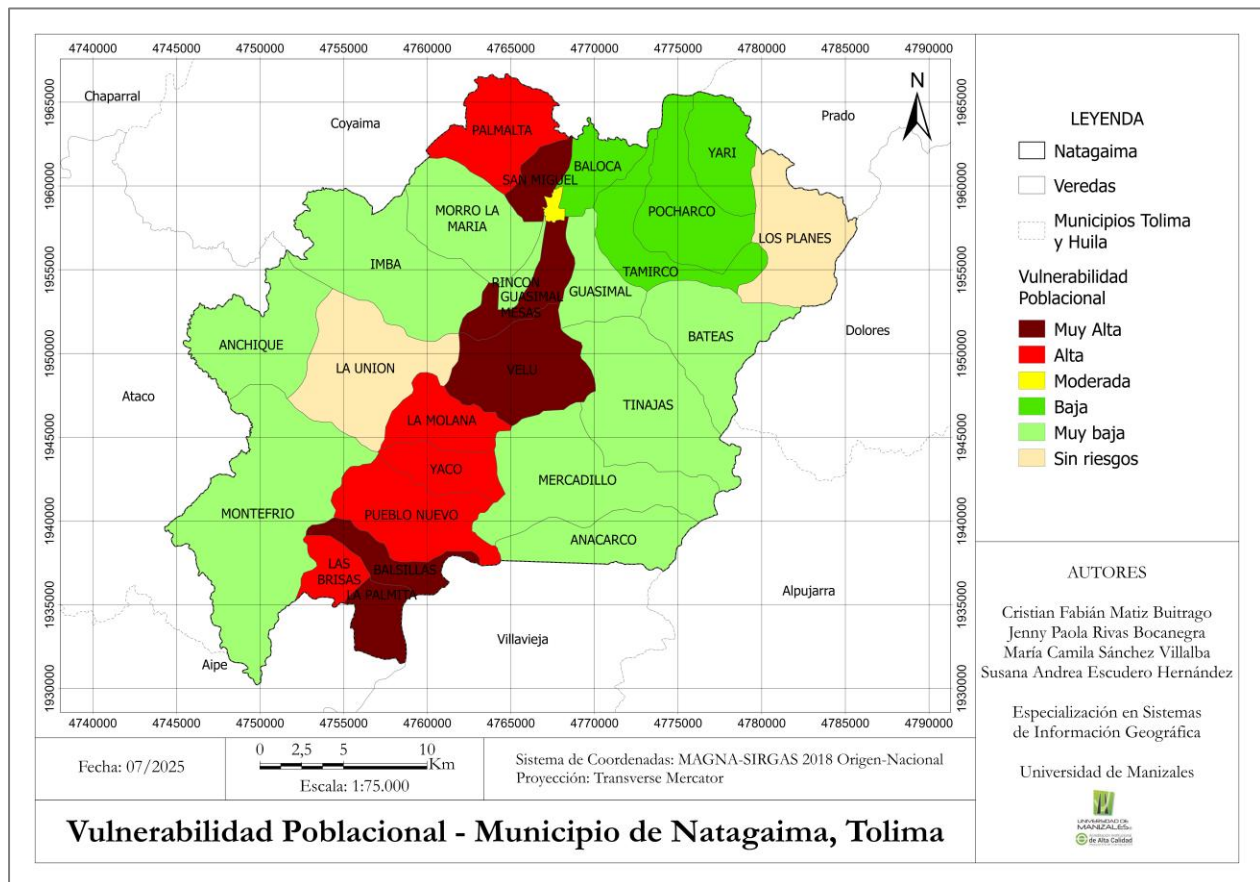
Figura 13 Mapa de vulnerabilidad institucional



7.2.2 Vulnerabilidad poblacional

En la Figura 14 se detalla el resultado del análisis de la vulnerabilidad poblacional. Considerando inicialmente el casco urbano de Natagaima donde se concentra la mayor parte de la población y presenta una vulnerabilidad moderada en 180,41 ha (0,21%). En el sector rural, la vulnerabilidad muy alta con una extensión de 9.594,93 ha (11,17 %) se presentan las veredas más pobladas como Velú, San Miguel, La Plamita, Guasimal Mesas y Balsillas. La vulnerabilidad alta con 11.720,50 ha (13,64%) se localiza en las veredas de Palmalta, La Molana, Yaco, Pueblo Nuevo, y Las Brisas. En cuanto a la vulnerabilidad baja se presenta en 10.270,41 ha del municipio (11,95%), en las veredas Baloca, Yari, Pocharco y Tamirco. Las veredas La Unión y Los Planes se encuentran sin riesgos por ausencia de población. Finalmente, las demás veredas presentan una vulnerabilidad baja y comprenden 45.033,50 ha (52,4 %).

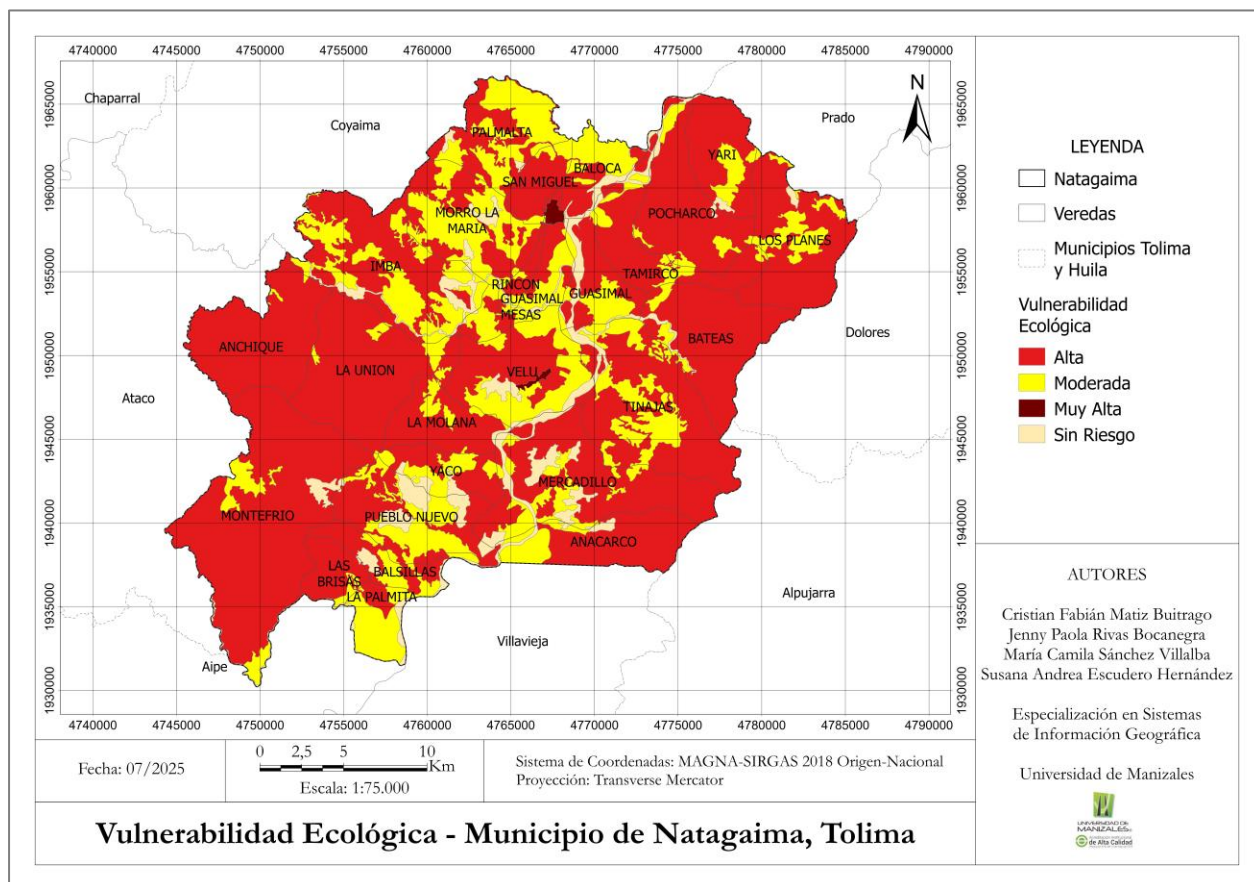
Figura 14 Mapa de vulnerabilidad poblacional



7.2.3 Vulnerabilidad ecológica

En la Figura 15 se detalla el resultado del análisis de la vulnerabilidad ecológica, donde predominan ecosistemas sensibles al fuego, es decir, donde prevalece la vegetación natural (bosques, Arbustales y vegetaciones secundarias), presentando una vulnerabilidad alta en 60.709,55 ha correspondientes al 70,65% del total del área del municipio, seguida de ecosistemas influidos por el fuego principalmente de áreas agrícolas donde la vulnerabilidad es moderada en 20.299,44 ha (23,62%). Cabe resaltar que el casco urbano de Natagaima presenta vulnerabilidad muy alta en 189,98 ha (0,22%); y, por último, en zonas húmedas (ríos, lagos y lagunas) o desprovistas de vegetación no hay vulnerabilidad, se extiende por 4.736,06 ha y corresponde al 5,51% del área total del municipio.

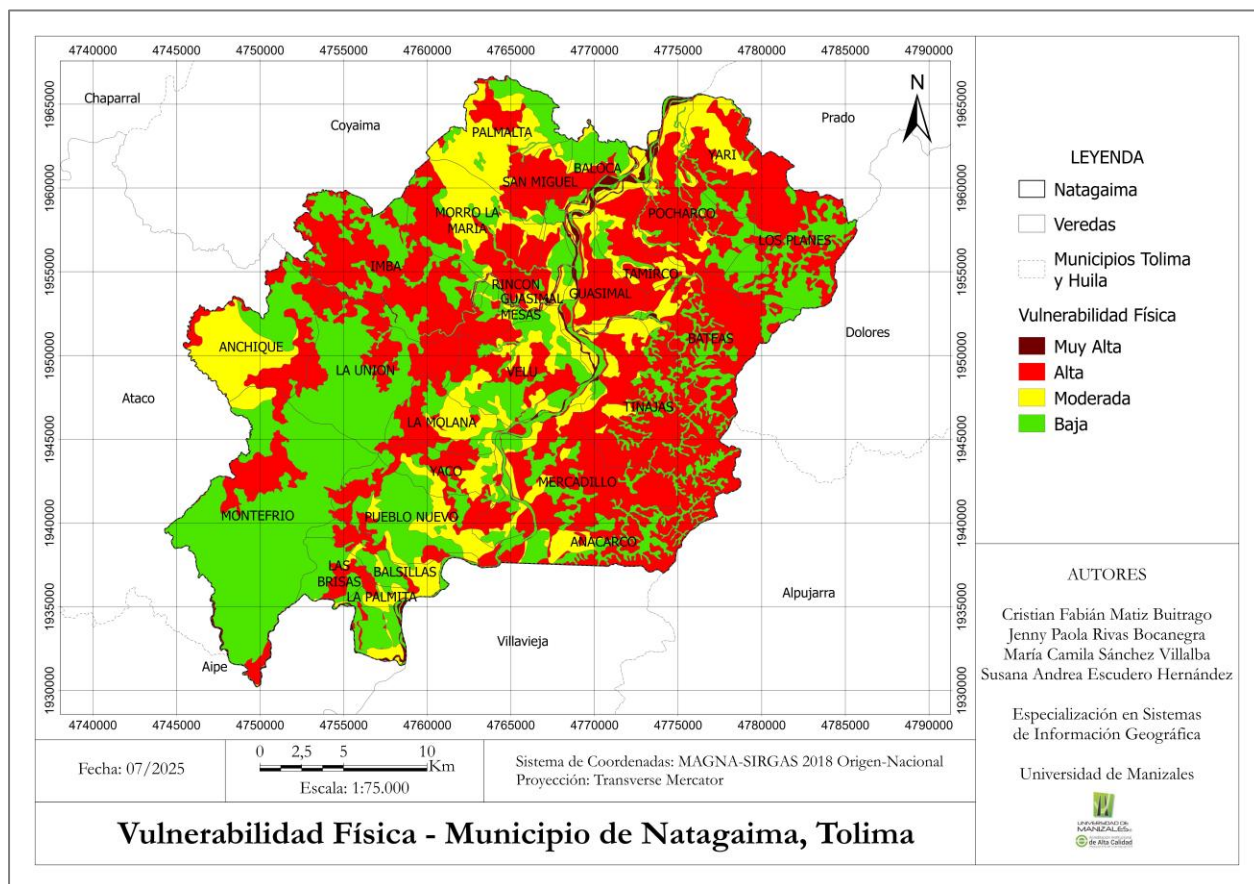
Figura 15 Mapa de vulnerabilidad ecológica



7.2.4 Vulnerabilidad física

El análisis de vulnerabilidad física comprende los conflictos del uso del suelo, su resultado denota principalmente vulnerabilidad alta con el 44,04% del área total (37.846,53 ha) correspondiendo a la sobreutilización del suelo, se evidencia un patrón con las veredas cercanas al río Magdalena. Es seguida por la vulnerabilidad baja con el 37,85% (32.523,97 ha) correspondiente al uso adecuado. La vulnerabilidad moderada fijada en la subutilización se presenta en el 17,06% del área (14.662,92 ha) y finalmente, es muy alta en el 1,05% (901,58 ha) del municipio y se ubicada principalmente en áreas que presentan conflictos de tierra de régimen jurídico especial, como el conflicto con el recurso hídrico, por ello se evidencia en orillas y curso del río Magdalena (ver Figura 16).

Figura 16 Mapa de vulnerabilidad física

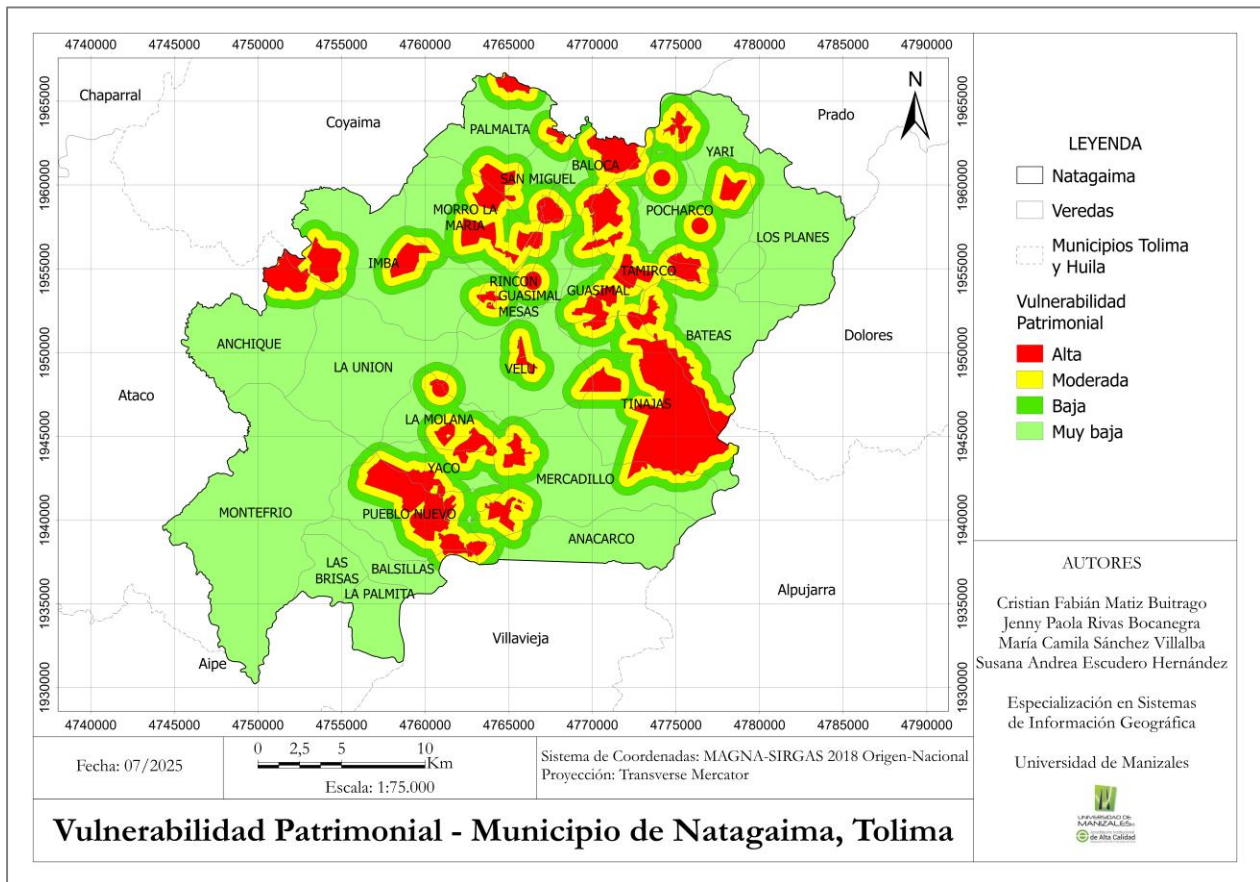


7.2.5 Vulnerabilidad patrimonial

El mapa de Vulnerabilidad Patrimonial presenta una clasificación en cuatro niveles: muy baja, baja, moderada y alta, representados con una escala de colores que va del verde claro al rojo, la vulnerabilidad muy baja (verde claro) predomina en gran parte del territorio con 49799,42ha (58%), especialmente en veredas como, Montefrío, La Unión, Los Planes y Imba, donde el patrimonio se encuentra menos expuesto a amenazas; seguida de la moderada (amarillo) con una extensión de 13546,26 ha (16%) se concentra alrededor de los focos de alta vulnerabilidad, afectando principalmente veredas como Tinajas, Mercadillo, Morro y La María, lo que sugiere una mayor exposición del patrimonio a impactos potenciales. Las zonas con vulnerabilidad baja (verde medio) se distribuyen como franjas de transición alrededor de áreas críticas con una

extensión de 12421,93ha (14%). Finalmente, las áreas con vulnerabilidad alta (rojo) se presentan de forma puntual con un 12% de representatividad, siendo más notorias en las veredas de Tinajas, Pueblo Nuevo, Yaco, Mesa, San Miguel, Baloca, Guasimilla, Rincón e Imba, donde la presión sobre los valores patrimoniales es mayor y se requieren acciones prioritarias de protección y gestión (ver Figura 17).

Figura 17 Mapa de vulnerabilidad patrimonial

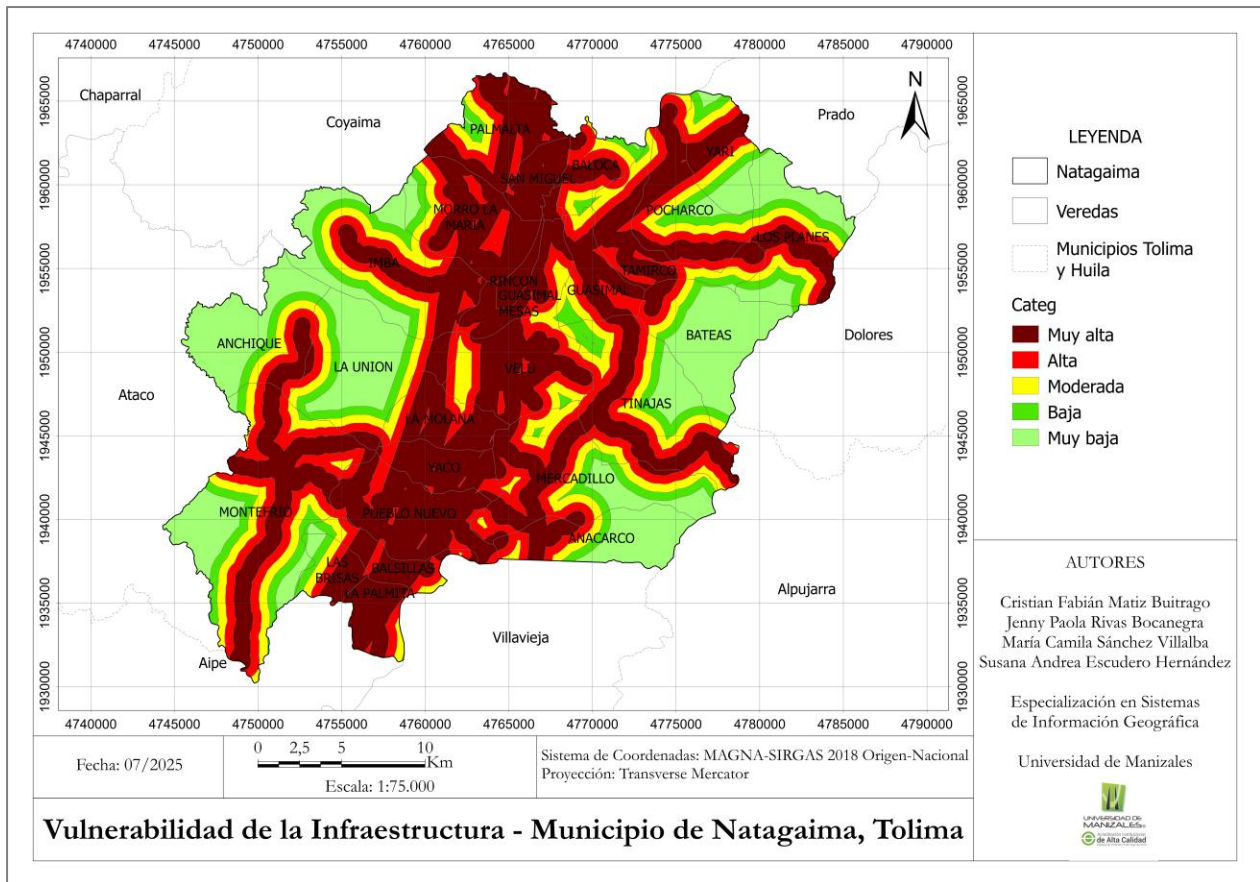


7.2.6 Vulnerabilidad de la infraestructura

El mapa presenta la vulnerabilidad de la infraestructura, donde se observa que se concentra principalmente la categoría muy alta con un total de 33.337,56 ha sido esta la más representativa con un 39,9% en el área central del municipio, coincidiendo con la red vial, los principales centros poblados y su infraestructura energética, mayoritariamente en los municipios de Pueblo Nuevo,

Montefrío y Morro La María, seguida de las categorías alta en los municipios de Montefrío, Tinajas y Mercadillo con un 19,6% y muy baja en los municipios de Bateas, Anchique y La Unión con un 19,5% de representatividad (ver Figura 18).

Figura 18 Mapa de la vulnerabilidad de la infraestructura

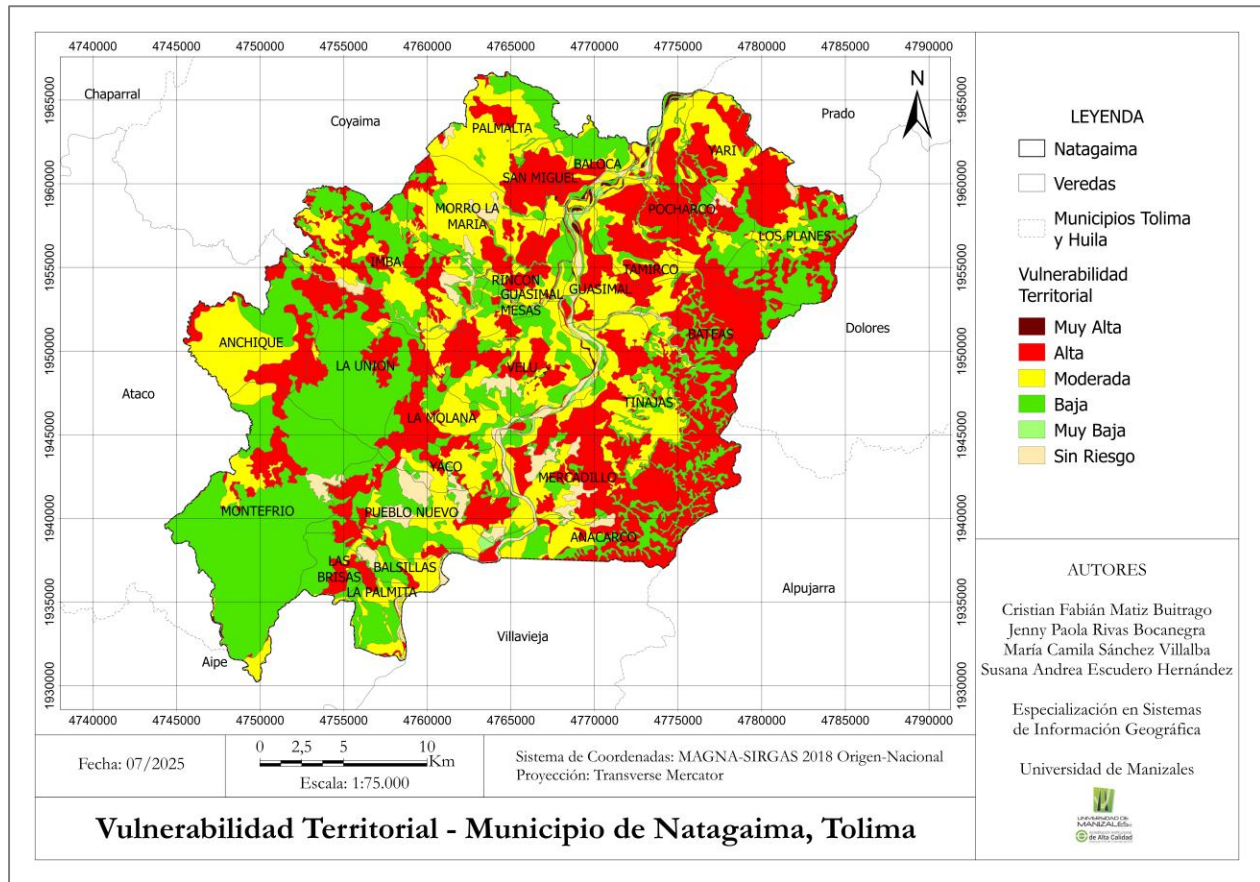


7.2.7 Vulnerabilidad económica

De acuerdo con la Figura 19, la vulnerabilidad económica se ve representada en tres categorías: Muy alta, Baja y Muy Baja. La de mayor extensión corresponde a la categoría Baja con un área de 43.313,32 ha, es decir, un 50,40% del área total de Natagaima. Las veredas con una vulnerabilidad económica baja se concentran en los costados este y oeste de Natagaima, donde sobresalen las veredas: Montefrío, Anchique, La Unión, Los Planes e Imba. En cuanto a la categoría Muy alta, corresponde a un área de 40.158,26 ha (46,73%), la cual se concentra en la

ubicadas principalmente en la sección central del municipio. La categoría sin riesgo se extiende por 3.263,98 ha (3,8%) en cercanías al Río Magdalena, en menor proporción, pero con distribución similar se evidencia una vulnerabilidad muy baja en 346,57 ha (0,4 %) y por último vulnerabilidad con categoría muy alta en 232,37 ha (0,27 %).

Figura 20 Mapa de la vulnerabilidad territorial de Natagaima

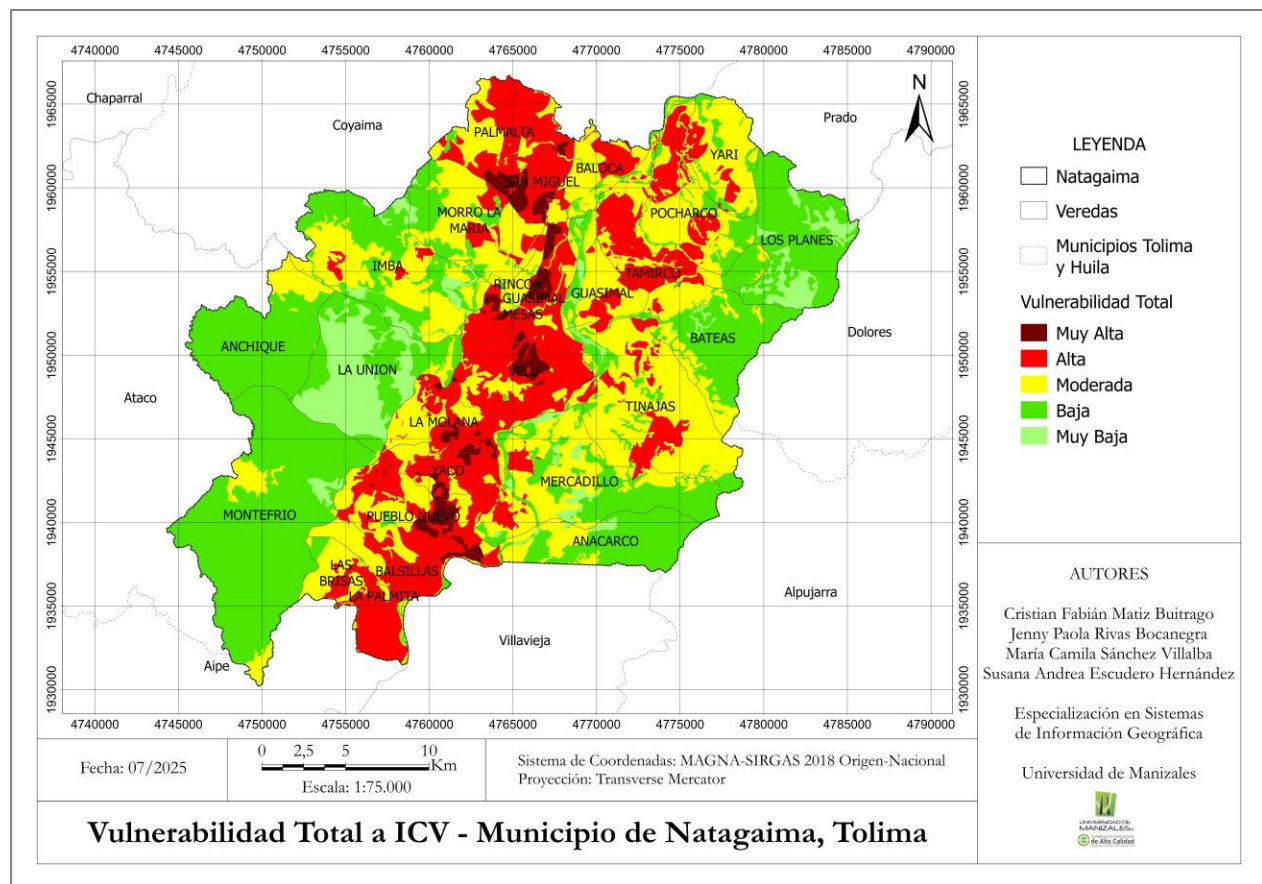


7.2.9 Vulnerabilidad Total

El mapa de Vulnerabilidad Total al ICV presenta una categorización espacial en cinco niveles de vulnerabilidad: muy baja, baja, moderada, alta y muy alta, representados mediante una escala de colores que va del verde claro (muy baja) al Vinotinto (muy alta). Las zonas con mayor vulnerabilidad (alta y muy alta) se concentran principalmente en las veredas San Miguel, Rincón, Mesa, Velú, Palmata, Pueblo Nuevo, Balsillas y La Palmita, lo que evidencia una mayor presión o

deterioro de la cobertura vegetal. En contraste, las áreas con baja y muy baja vulnerabilidad se localizan hacia el occidente y oriente del municipio, destacándose las veredas de Anchique, Montefrío, La Unión, Los Planes y Pocharco, que reflejan mejores condiciones. A nivel cuantitativo, la categoría baja representa el mayor porcentaje del territorio con 31.804,83 ha (37%), predominando en las zonas de Montefrío, Anchique y Los Planes. Le siguen la categoría moderada, con 27.909,12 ha (33%), asociada principalmente a veredas como Tinajas, Imba y Mercadillo; alta, con el 22% del área; muy baja, con el 6%; y finalmente la muy alta, con el 2% del municipio (ver Figura 21).

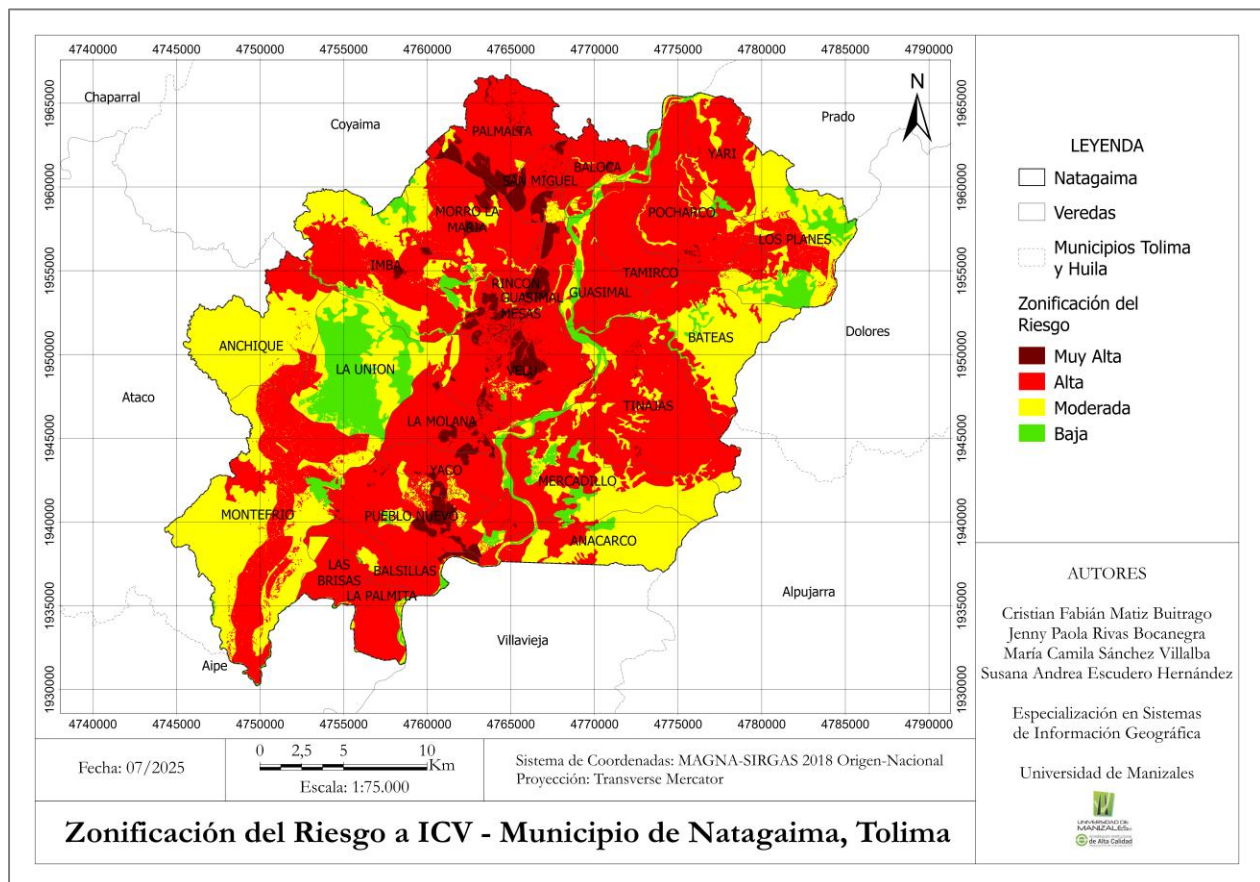
Figura 21 Mapa de vulnerabilidad total a ICV



7.3 Zonificación del riesgo a incendios forestales

El producto resultado del cruce vectorial de la amenaza total y vulnerabilidad total es la zonificación del riesgo a ICV. El riesgo alto se presenta en la mayoría del municipio y se extiende por 51.103,23 ha (59,47%) en las veredas situadas en la franja central del municipio (22 de las 26 veredas), la categoría de riesgo moderado se sitúa principalmente en los extremos occidental y oriental del municipio comprendiendo 25.412,39 ha (29,57%), además cubre parte del Río Magdalena. Con distribución similar a la anterior la categoría de riesgo bajo cubre 6.242,61 ha (7,26%) y, por último, la categoría de riesgo alto se extiende por la franja central del municipio en 3.176, 79 ha (9,7%), abarcando las veredas de Palmalta, San Miguel, Morro La María, Imba, Guasimal Mesas, Velú, La Molana, Yaco, Pueblo Nuevo y Balsillas (ver Figura 22).

Figura 22 Mapa de zonificación del riesgo a ICV



8. Discusión

La evaluación de la susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal en la zona de estudio corresponde predominantemente a la categoría alta, representada por el 94,27% del área total, la cual se hizo a partir de la caracterización de la condición pirogénica de las coberturas identificadas tales como: pastos, áreas boscosas, mosaicos agrícolas y áreas naturales, mediante el análisis de tres factores: tipo de combustible, carga total del combustible y duración del combustible. Si bien, Armenteras et al. (2011) menciona que la evaluación de la sensibilidad al fuego de la vegetación es solo una variable de la susceptibilidad y vulnerabilidad de la cobertura a los incendios; por lo tanto, el resultado obtenido no es totalmente determinante en la frecuencia a la probabilidad de ocurrencia de incendios, pues influyen otros aspectos tales como: clima, intervención antrópica, densidad poblacional, entre otras. En este sentido, el mapa de susceptibilidad permite comprender el comportamiento de las coberturas vegetales ante la amenaza y vulnerabilidad de incendios, dependiendo de las características intrínsecas de la vegetación.

Tal como lo destaca Armenteras et al. (2011) en su estudio, las altas y moderadas susceptibilidades en áreas de los ecosistemas influidos por el fuego es muy representativa, las cuales están conformadas por zonas de producción agropecuaria del país. Adicionalmente, con las prácticas culturales de roza y quema, estos ecosistemas son altamente vulnerables a los incendios de la cobertura vegetal. Tal es el caso de la región Andina, en donde se encuentra ubicado el municipio de Natagaima.

El análisis espacial de la amenaza total en el municipio de Natagaima evidencia que el 83,26% del área corresponde a una amenaza alta, mientras que el 13,23% corresponde a una amenaza muy alta, focalizado en veredas del occidente y oriente. Esta distribución responde principalmente a condiciones ambientales críticas como altas temperaturas, baja precipitación, y coberturas vegetales altamente inflamables. Esta tendencia se alinea con investigaciones realizadas en otros municipios del Tolima, como lo reporta la Corporación de Cuencas del Tolima [CORCUENCAS] (2014) en Espinal, Flandes, Guamo, Rovira, San Luis y Valle del San Juan, los factores más influyentes en la amenaza son la temperatura ($>16^{\circ}$ C), la precipitación y la susceptibilidad de la vegetación, recomendando priorizar áreas categorizadas como altas en los

planes de mitigación al riesgo. Resalta Reyes (2023) quien evidenció que los incendios forestales generan cambios en las coberturas vegetales, incrementando la proporción de especies pirófilas y reduciendo la cobertura de capas leñosas, lo que conducen a un combustible más uniforme y susceptible a fuegos recurrentes.

Por su parte, el informe de la Corporación Autónoma Regional del Magdalena [CORPOMAG] & Universidad del Atlántico (2015) en el departamento del Magdalena evidenció patrones de amenaza y riesgo similares, donde la combinación de vegetación inflamable, accesibilidad y variabilidad climática explica más del 80 % de la superficie con amenaza alta. En Natagaima, la inclusión del histórico de incendios y la proximidad a vías fortalece esta aproximación, lo que valida el uso del protocolo IDEAM (2011) como una metodología robusta para caracterizar la amenaza a escala municipal.

Aunque el protocolo IDEAM (2011) sugiere considerar los factores climáticos de velocidad y dirección de los vientos y la radiación solar, no fue posible considerarlos en el estudio, ya que son escasas las estaciones que miden esta variable en Colombia, lo cual dificulta aplicarlo en la zonificación de la amenaza a incendios. Según Arias (2016) en el estudio desarrollado en el municipio de Tota (Boyacá), demuestran cómo incluir las variables climáticas de radiación y viento mejora sustancialmente la precisión de los mapas de amenaza que respaldan la planificación territorial. Su incorporación facilitaría una mayor exactitud en regiones con una topografía complicada, como en el departamento del Tolima, donde la dinámica del fuego es profundamente afectada por las condiciones microclimáticas.

La zonificación del riesgo refleja la una fuerte correlación entre amenaza y vulnerabilidad. El riesgo alto, presente en más del 59% del municipio, coincide con áreas donde convergen amenazas elevadas y condiciones sociales precarias, tales como baja capacidad institucional, infraestructura débil y uso intensivo del suelo. Esta situación se relaciona con lo expuesto en el estudio del POMCA del río Luisa de CORCUENCAS (2014), en donde se resalta que las condiciones de accesibilidad y uso del suelo inciden significativamente en el riesgo a incendios, incluso por encima de la amenaza natural. Por su parte, Martelo & Vargas (2022) mencionan que el riesgo a incendios se explica por el transformación y ocupación de los ecosistemas para

ampliación de la frontera agrícola, estos cambios del uso del suelo generan disturbios en los ecosistemas pasando de coberturas arbóreas a herbáceas promoviendo el régimen de propagación del fuego. Además, la fragmentación del paisaje en zonas de alta pendiente o de transición entre ecosistemas favorece la difusión del fuego y complica su control, esto convierte las áreas rurales con acceso restringido y vegetación susceptible al fuego objetivo de priorización en las estrategias de gestión del riesgo.

Las veredas con mayor riesgo a incendios forestales son Palmalta, San Miguel, Morro la María, Guasimal Mesas, Velú, La Molana, Yaco y Pueblo Nuevo, ya que combinan condiciones naturales propensas al fuego con la proximidad y acceso a coberturas naturales altamente inflamables, con alta vulnerabilidad poblacional, patrimonial y de infraestructura. Como indican Casas & Blanco, (2021) en el municipio de Supatá (Cundinamarca), donde se demostró que zonas con coberturas degradadas y proximidad a áreas agrícolas presentaron una mayor propensión al fuego, la zonificación del riesgo reveló los factores más influyentes fueron; la accesibilidad debido al acceso que puede tener la población a diferentes áreas del municipio y las actividades que pueden desarrollar, y la cobertura vegetal; por sus características propias que aumentan el riesgo. En otro estudio realizado por Forero (2023) aplicando el protocolo IDEAM, concluye que en zonificación de amenazas por incendios en un municipio de Cundinamarca, no solamente los factores climáticos, la ubicación geográfica, el tipo de cobertura son influyentes en la amenaza, sino que también se debe tener en cuenta la amenaza provocada por el ser humano, a través de las quemas que llevan a cabo los agricultores como una forma de deshacerse de la vegetación restante de una cosecha o como una estrategia para controlar plagas y eliminar restos en las veredas.

Tal como indican Blanco & Casas (2021), es fundamental que las autoridades municipales incrementen su vigilancia sobre las labores agrícolas y turísticas. Es vital ofrecer capacitación y respaldar tanto a los ganaderos como a los agricultores; realizar campañas orientadas a la población y a los visitantes sobre la importancia de cuidar y ser responsables con el entorno natural. Aprovechar las instituciones educativas para que todos los miembros de la comunidad educativa se involucren de manera activa en la prevención de incendios en bosques. Por su parte Martelo & Vargas (2022) hacen hincapié en la necesidad de comprender la amenaza, vulnerabilidad y riesgo para prevenir, atender, y mitigar sus impactos, allí es donde la zonificación se configura como una

herramienta para orientar la planeación y manejo del área, permitiendo priorizar la atención en áreas de mayor riesgo. Finalmente, se sugiere adoptar un enfoque más flexible en la administración del riesgo que abarque no solo los elementos físicos y sociales, sino también las posibles fuentes de ignición como las redes eléctricas, las fogatas en áreas rurales y las quemas inadecuadamente manejadas, según lo indican Carrillo et al. (2022). Esta visión facilitaría el fortalecimiento de la gestión local del riesgo y la priorización de intervenciones específicas por cada comunidad.

La ocurrencia e incidencia de incendios forestales en Natagaima están generando pérdida en relictos de uno de los ecosistemas más vulnerables en Colombia, el Bosque seco tropical, registrando el deterioro y pérdida de la fauna y flora en alrededor de 2.800 ha en el periodo de 2015 a 2020 por incendios forestales de acuerdo con CORTOLIMA (2022). Esta tendencia ha sido corroborada por estudios como el de Reyes (2023), quien advierte que los incendios forestales son un motor de pérdida de la diversidad en los ecosistemas. Estudios similares realizados por Tamayo & Torres (2022) en el departamento del Huila para el Bosque seco tropical, concluyen que la ocurrencia e incidencia de los incendios forestales y la sequía extrema son el principal riesgo en el proceso de restauración ecológica.

Los Sistemas de información geográfica (SIG) son una herramienta indispensable en el procesamiento de la información y la construcción de la zonificación al riesgo, permitiendo analizar múltiples criterios de factores climáticos, topográficos, sociales y económicos como concluyen estudios realizados por Arias (2016) y Blanco & Casas (2021). Por su parte, Arenas & Noy (2019), mencionan que la aplicación de tecnologías satelitales y los SIG, permiten analizar en detalle los incendios de los relictos de Bosque seco tropical permitiendo la gestión de los mismos. Resalta Arévalo et al. (2018), como los SIG son muy útiles para crear áreas de riesgo de incendios en bosques, lo que muestra lo importantes que son estas herramientas para manejar el uso del territorio. Esto valida el enfoque aplicado en Natagaima y sugiere que estas herramientas pueden ser replicadas en municipios con condiciones similares, especialmente en ecosistemas secos o de transición.

9. Conclusiones

Se compiló información cartográfica base relacionada con factores: climáticos, de relieve, poblacionales, de infraestructura e institucionales del municipio de Natagaima, permitiendo identificar las principales variables que inciden en los incendios forestales. Entre estos se destacan el uso actual del suelo, la influencia de las precipitaciones y la temperatura, la cobertura vegetal y la densidad de la red vial. Esta información fue esencial como insumo para los análisis posteriores de susceptibilidad, amenaza y vulnerabilidad. Sin embargo, se encontró información desactualizada entorno a las coberturas vegetales, red vial, densidad poblacional; así mismo, en algunos casos no se encontraron insumos con respecto a la humedad del combustible y de infraestructura institucional.

El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) permitió integrar de manera espacial y temática las variables determinantes para la zonificación del riesgo. Se generaron mapas de susceptibilidad de la cobertura vegetal, categorías de amenaza y vulnerabilidad, focalizando las áreas de mayor riesgo en el municipio de Natagaima, donde se ve la relación con las coberturas de condición pirogénica, alta actividad agrícola y presencia de poblaciones humanas.

Al integrar los mapas de susceptibilidad, amenaza y vulnerabilidad, se logró establecer una zonificación del riesgo a incendios forestales. La susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal arrojó una representación alta en el 94,27% del área total del municipio; por su parte, la amenaza donde involucra aspectos tales como, climáticos, topográficos, accesibilidad y reporte de incendios en los últimos años, generaron una categoría alta en un 83,26% del área total; seguidamente, la vulnerabilidad relacionada con densidad población e infraestructura, representa un 22% en la categoría alta del área de estudio. Por último, se encontró que las zonas con mayor nivel de riesgo se localizaron principalmente en el 59,47% del área total del municipio, donde la interacción entre coberturas vegetales susceptibles al fuego, prácticas antrópicas (como quemas agrícolas) y condiciones de alta exposición tales como, bajas precipitaciones y altas temperaturas, aumentan significativamente la posibilidad de ocurrencia de eventos.

La zonificación del riesgo a incendios forestales se constituye una herramienta útil para la toma de decisiones locales en gestión del riesgo. El mapa obtenido focaliza las zonas críticas y sugiere áreas prioritarias para implementar medidas de prevención, monitoreo y respuesta a eventos de

incendios. Asimismo, ofrece un insumo valioso para la planificación territorial, la formulación de planes de manejo del fuego y la educación comunitaria frente al riesgo de incendios forestales.

El protocolo del IDEAM (2011) continúa siendo una herramienta efectiva y sólida para la zonificación de amenazas, sobre todo al incorporar datos históricos sobre incendios, factores climáticos y accesibilidad. La capacidad de repetir los métodos con otros estudios municipales en Colombia confirma la fiabilidad del enfoque que se ha utilizado y su utilidad para los planes de gestión del riesgo a nivel local.

10. Recomendaciones

Es necesario actualizar las coberturas de la tierra, uso del suelo y conflicto de uso del suelo a una escala de 1:25.000, preferiblemente cada cinco (5) años debido a las dinámicas naturales y antrópicas del territorio para tener una mayor precisión en la identificación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

Se sugiere crear un sistema único de registro de incendios de la cobertura vegetal en todo el territorio nacional con el propósito de identificar de manera precisa la incidencia y probabilidad de ocurrencia a incendios. Asimismo, esta información se constituye como un insumo para realizar posibles simulaciones de tipo y magnitud de los eventos mediante los sistemas de información geográfica.

Se sugiere implementar programas permanentes de educación ambiental en Natagaima, destinados a concienciar a la comunidad sobre los factores humanos que provocan incendios forestales y sus efectos en el medio ambiente. Es necesario corregir las acciones como la quema de desechos agrícolas y el uso del fuego en áreas rurales, al mismo tiempo que promuevan la comprensión de sus efectos, como la disminución de la biodiversidad y el deterioro del suelo. La implicación de centros educativos, entidades locales y medios de comunicación será fundamental para consolidar una cultura de prevención y responsabilidad con el medio ambiente.

11. Referencias

- Arenas Cabrera, J. E., & Noy Suárez, B. A. (2019). *Análisis de la severidad de un incendio en un relicto de bosque seco tropical en Colombia*.
- Arévalo Pérez, A. L., Martínez Amado, L. F., & Serrato Lozano, L. (2018). Zonificación de riesgos por incendios forestales en el municipio de Nilo, Cundinamarca, 3.
- Arias Murcia, K. Y. (2016). *Zonificación de amenazas por incendios forestales en el sector rural del municipio de tota boyacá con el empleo de SIG*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Armenteras Pascual, D., Toro Bernal, F. H., González Alonso, F., Morales Rivas, M., Pabón Caicedo, J. D., Páramo Rocha, G. E., & Parra Lara, Á. del C. (2011). *Incendios de la cobertura vegetal en Colombia Tomo I. In Incendios de la Cobertura vegetal en Colombia. Tomo I. Ed. por Álvaro del Campo Parra Lara. Universidad Autónoma de Occidente. Cali, Colombia. Cali.* <http://www.fire.uni-freiburg.de/GlobalNetworks/SouthAmerica/Incendios-de-la-Cobertura-Vegetal-en-Colombia-Tomo-I-2011.pdf>
- Brisneda, M. A. (2024, October 10). Más de 20.000 hectáreas afectadas deja incendio en forestal en Natagaima (Tolima). <https://www.rcnradio.com/colombia/region-central/mas-de-20000-hectareas-afectadas-deja-incendio-en-forestal-en-natagaima-tolima>
- Carrillo, J., Cuesta Olave, J., & López Díaz, J. P. (2022). Evaluación de las estadísticas de incendios estructurales en Colombia. *Revista EIA*, 19(38), 1–6. <https://doi.org/10.24050/reia.v19i38.1575>
- Casas Rodriguez, J. V., & Blanco Zambrano, D. S. (2021). *Zonificación de riesgos a incendios forestales en el municipio de Supatá Cundinamarca*. Universidad de Cundinamarca.
- Castañeda Quinchia, D. E. (2021). Como orientar la gestión del riesgo de desastres por incendios forestales a nivel municipal, 1–45. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/Como-orientar-la-gestion-del-riesgo-de-desastres-por-incendios-forestales-a-nivel-municipal.pdf>
- Corporación Autónoma Regional del Magdalena CORPOMAG, & Universidad del Atlántico. (2015). *Caracterización, Diagnóstico y Análisis de Vulnerabilidades y Amenazas en el Departamento del Magdalena*. Universidad del Atlántico. https://www.corpamag.gov.co/archivos/riesgosAmbientales/2017_Doc02_DiagnosticoBiofis

ico.pdf

Corporación de Cuencas del Tolima CORCUENCAS. (2014). *Formulación POMCA Río Luisa y otros directos del Magdalena. Amenazas Y Susceptibilidad*. Ibagué.

CORTOLIMA. (2022). *Municipio de Natagaima departamento del Tolima consejo municipal de gestión del riesgo de desastres (cmgrd) plan de contingencia municipal simplificado en incendios forestales*. Natagaima, Tolima.

CORTOLIMA. (2024a, September 12). Fauna silvestre afectada por incendios es atendida por Cortolima.

CORTOLIMA. (2024b, October 18). Con siembra de 8.000 árboles inició recuperación de zonas afectadas por incendios en Natagaima.

Dorrego, X., & Álvarez, G. (2009). Teledetección y sig en la gestión de los incendios forestales en Galicia, 297–300.

Estrela Navarro, M. J., Guzmán, F. P., Valiente Pardo, J. A., & Alloza, J. A. (2005). Integración de una cartografía de vientos en situaciones meteorológicas de riesgo de incendios forestales en la comunidad Valenciana mediante un SIG. *GeoFocus*, 5, 94–114.

Farid, A., Alam, M. K., Goli, V. S. N. S., Akin, I. D., Akinleye, T., Chen, X., ... Winkler, J. (2024). A Review of the Occurrence and Causes for Wildfires and Their Impacts on the Geoenvironment. *Fire*, 7(8). <https://doi.org/10.3390/fire7080295>

Flórez Guzmán, M. H., Forero Herrera, L. F., Cardona Henao, L. A., & Leytón Varón, O. J. (2017). Cuantificación de los recursos empleados por el sector público y privado para mitigar los daños ocasionados por los incendios forestales en el municipio de Ibagué, Tolima, Colombia.

Forero Luque, L. S. (2023). *Zonificación de amenazas por incendios forestales en el municipio de san juan de Rioseco Cundinamarca según metodología IDEAM*. Universidad Santo Tomás. <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/167638/341506.pdf?sequence=1&isallowed=y%0ahttps://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8314/loeblein%2c>
lucineia

CARLA.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttps://antigo.mdr.gov.br/saneamento/proees

Gobernación del Tolima. (2024, September 12). Incendios forestales siguen afectando varios municipios en el Tolima. <https://www.tolima.gov.co/noticias/7150-incendios-forestales-siguen-afectando-varios-municipios-en-el-tolima>

Herrera Galviz, J. D. (2016). *Implementación de herramientas de teledetección y SIG para la*

- determinación de zonas de riesgo por incendios forestales en remanentes y relictos de bosque seco tropical del municipio de Ocaña - Norte de Santander. Universidad Francisco de Paula Santander* Ocaña.
<https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/xmlui/handle/20.500.14167/1450>
- IDEAM. (n.d.). Incendios de la cobertura vegetal.
<http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/incendios-cobertura-vegetal>
- IDEAM. (2011). Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la Cobertura Vegetal Escala 1:100.000.
- IDEAM et al. (2016). *Informe del Estado del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables 2016*. Bogotá, D.C. www.pixabay.com
- IDIGER, I. D. de G. de R. y C. C. (2024). Riesgo por Incendio Forestal.
- Koudenoukpo, J. B. (2023, July 31). As Wildfires Increase, Integrated Strategies for Forests, Climate and Sustainability Are Ever More Urgent.
- Martelo-Jiménez, N., & Ríos, O. V. (2022). Forest fire risk assessment in the Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá, Colombia). *Caldasia*, 44(2), 380–393.
<https://doi.org/10.15446/caldasia.v44n2.91115>
- Martelo Jiménez, N., & Vargas Ríos, O. (2022). Evaluación del riesgo a incendios de la cobertura vegetal del Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá, Colombia). In *Caldasia* (Vol. 44, pp. 380–393). <https://doi.org/10.15446/caldasia.v44n2.91115>
- Meza Elizalde, C. M. (2023). *Efectos de los incendios forestales sobre la resiliencia de bosques tropicales de tierras bajas*. Universidad Nacional de Colombia.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2002). Plan nacional de prevención - Control de incendios forestales y restauración de áreas afectadas.
https://archivo.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Los-Incendios-Forestales/554_plan_preencion_incendios.pdf
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2011). *Estrategia de Corresponsabilidad Social en la Lucha contra los Incendios Forestales*.
https://archivo.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Los-Incendios-Forestales/250414_estrategia_corres_social.pdf
- Moya, D., González-Cabán, A., Sánchez, J. J., & De Las Heras, J. (2012). *Gestión de Uso Recreativo y los Incendios Forestales en el Sur de California: El Uso de SIG y Modelos de*

- Simulación Visual de Paisaje Para Evaluación Económica*. Ciudad de México.
https://www.fs.usda.gov/psw/publications/documents/psw_gtr245/es/psw_gtr245_257.pdf
- Ospina Céspedes, L. C. (2017). *Efecto de un incendio forestal sobre la microbiota de un suelo de bosque seco tropical, en el departamento del Tolima*. Universidad del Tolima, Ibagué.
- Páramo, G. E. (2007). *Análisis, diagnóstico y elaboración del mapa de susceptibilidad a los incendios de la Cobertura Vegetal en Colombia*. Bogotá.
- Perea Ardila, M. A., Leal Villamil, J., & Alvarado, S. T. (2024, July 6). Análisis de focos de calor para el departamento del Tolima (Colombia). Una aproximación empleando MODIS.
<https://doi.org/10.62059/LatArXiv.preprints.131>
- Perea Ardila, M. A., & Murillo Sandoval, P. J. (2024). *Nota regional. Tendencia de incendios forestales en el Tolima*. Ibagué.
- Reyes Palacios, A. C. (2023). *Influencia de los incendios forestales en la composición y estructura de combustibles vegetales en zonas quemadas del Santuario de Fauna y Flora de Iguaque*. *Repositorio.Unal.Edu.Co*. Universidad Nacional de Colombia.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/84788/1016022627.2023.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Ródenas Marín, J. (2024). *Inteligencia Artificial aplicada a la predicción del Dengue e incendios forestales en Indonesia*.
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/406714/TFG_GRETST_es_JorgeMarinRod.docx.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Sayed, S. S., Abbott, B. W., Vannière, B., Leys, B., Colombaroli, D., Romera, G. G., ... Daniau, A. L. (2024). Assessing changes in global fire regimes, *20*(1). <https://doi.org/10.1186/s42408-023-00237-9>
- Sepúlveda Betancourt, J., Zúñiga Castillo, W. R., Vizcarra Corral, L., & Gomero Portilla, A. (2003). Índices de peligro y simulación de incendios forestales en ambiente SIG para Baja California.
- Solarte Casanova, E. A. (n.d.). Identificación de zonas susceptibles a incendios forestales en Melgar – Tolima. *Grupo de Investigación En Percepción Remota*, *221*(6), 13.
http://www.fac.mil.co/index.php?idcategoria=42352&facmil_2008_2009=669398b5cf6e3738864773b5897b657e
- Tamayo Quintana, A., & Torres Romero, F. J. (2022). Amenazas y riesgos de origen natural y

- antropico que pueden afectar un proceso de restauración ecológica en bosque seco tropical: estudio de caso Central Hidroeléctrica El Quimbo (Huila, Colombia).
<https://doi.org/10.15446/ga.v25n1.102880>
- UNAD, U. N. A. y a D. (2024, September 23). Incendios forestales en Colombia: causas, consecuencias y aportes.
- UNGRD, U. N. para la G. del R. de D. (2024, September 21). UNGRD lidera operativo para controlar incendios forestales en Natagaima, Tolima.
- Unidad Nacional Para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2020). Resolución 0373 de 2020.
<https://corpouraba.gov.co/wp-content/uploads/Res.-0373-de-2020-CTA-Incendios-Fores.pdf>
- Universidad de los Andes. (2006). Los Sistemas de Información Geográfica. *Geoenseñanza*, 107–116. <http://www.humboldt.org.co/humboldt/mostrarpagina.php?codpage=70001>
- Urrea, D. S. (2020). *Determinacion de areas susceptibles a incendios forestales en elfuerte militar de Tolemada - Nilo, Cundinamarca*. Universidad de Cundinamarca, Girardot.
<https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/server/api/core/bitstreams/d537a0d9-6617-4f05-8b5e-184752705235/content>