

**“ZONIFICACIÓN DEL RIESGO POR INCENDIOS FORESTALES EN GIRARDOT –
CUNDINAMARCA”**

MANUELA ZAPATA URREGO

JAYSA ESTEFANIA OLIVEROS OSORIO

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

FACULTAD CIENCIAS AGROPECUARIAS

INGENIERIA AMBIENTAL

GIRARDOT – CUNDINAMARCA

2025

**“ZONIFICACIÓN DEL RIESGO POR INCENDIOS FORESTALES EN GIRARDOT –
CUNDINAMARCA”**

MANUELA ZAPATA URREGO

JAYSA ESTEFANIA OLIVEROS OSORIO

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director de proyecto de grado

DANIEL ARMANDO ROBLEDO BUITRAGO

Codirectora

MARIA CAMILA ACOSTA SANTOS

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

INGENIERIA AMBIENTAL

GIRARDOT – CUNDINAMARCA

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tabla De Contenido

Lista De Figuras	7
Lista De Tablas.....	9
Resumen.....	14
1. Introducción	16
2. Planteamiento Del Problema.....	18
3. Justificación	20
4. Objetivo.....	22
4.1 Objetivo General.....	22
4.2 Objetivos Específicos.....	22
5. Marco Referencial.....	23
5.1 Marco Teórico	23
5.1.1 Incendio de cobertura vegetal	23
5.1.2 Zonificación de incendios de cobertura vegetal.....	23
5.1.3 Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	24
5.1.4 Cambio Climático	25
5.1.5 Gestión del riesgo	25
5.1.6 Causas de los incendios de cobertura vegetal	28
5.1.7 Contaminantes emitidos por incendios de cobertura vegetal.....	28
5.2 Marco Legal	29

6.	Marco Metodológico.....	31
6.1	Ubicación y características de la zona de estudio.....	31
6.2	Metodología.....	33
6.2.1	Identificación y obtención de la información cartográfica necesaria.....	33
6.2.2	Etapas preparatorias.....	36
6.2.3	Evaluación de la amenaza.....	36
6.2.4	Procesamiento.....	39
6.2.5	Evaluación de la vulnerabilidad.....	56
7.	Resultados.....	72
7.1	Mapa de cobertura vegetal.....	72
7.2	Mapa de susceptibilidad.....	73
7.3	Mapa de factores climáticos.....	77
7.4	Antecedentes de incendios.....	82
7.5	Mapa de Accesibilidad.....	84
7.6	Generación de mapa de amenaza por incendios de cobertura vegetal.....	86
8.	Recomendaciones.....	99
9.	Conclusiones.....	102
10.	Bibliografía.....	104

Lista De Figuras

Figura 1. <i>Ubicación y características de la zona de estudio municipio de Girardot.</i>	31
Figura 2. <i>Ecuación análisis de la frecuencia y causalidad, fuente: IDEAM 2011</i>	51
Figura 3 <i>Diagrama del procedimiento para determinar el nivel de riesgo total para incendios de cobertura vegetal</i>	71
Figura 4 <i>Mapa de cobertura vegetal del municipio de Girardot.</i>	72
Figura 5 <i>Mapa categorización de amenaza carga de combustible en el municipio de Girardot.</i>	74
Figura 6 <i>Mapa categorización de amenaza duración del combustible en el municipio de Girardot.</i>	75
Figura 7 <i>Mapa de categorización de amenaza tipo de combustible del municipio de Girardot.</i>	76
Figura 8 <i>Mapa de susceptibilidad por incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot.</i>	77
Figura 9 <i>Mapa de categorización de amenaza por radiación para incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot.</i>	79
Figura 10 <i>Mapa de categorización de amenaza por precipitación para incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot.</i>	80
Figura 11 <i>Mapa de categorización de amenaza por viento para incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot.</i>	81
Figura 12 <i>Mapa de categorización de amenaza por temperatura para incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot.</i>	82
Figura 13 <i>Mapa de categorización de amenaza por factor histórico para incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot.....</i>	84

Figura 14 <i>Mapa de categorización de amenaza por accesibilidad para incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot.</i>	86
Figura 15 <i>Mapa de amenaza por incendios de cobertura vegetal para el municipio de Girardot.</i>	88
Figura 16 <i>Categorización de amenaza por vulnerabilidad ecológica para incendios de cobertura vegetal del municipio de Girardot.</i>	90
Figura 17 <i>Categorización de amenaza por vulnerabilidad económica para incendios de cobertura vegetal del municipio de Girardot.</i>	91
Figura 18 <i>Categorización de amenaza por factor histórico para incendios de cobertura vegetal del municipio de Girardot.</i>	92
Figura 19 <i>Categorización de amenaza por pendiente para incendios de cobertura vegetal del municipio de Girardot.</i>	93
Figura 20 <i>Categorización de amenaza por accesibilidad para incendios de cobertura vegetal del municipio de Girardot.</i>	94
Figura 21 <i>Mapa de vulnerabilidad por incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot.</i>	96
Figura 22 <i>Mapa de zonificación de riesgos por incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot.</i>	98

Lista De Tablas

Tabla 1 <i>Categorización del suelo municipio de Girardot-Cundinamarca</i>	32
Tabla 2 <i>Niveles de cobertura vegetal en el municipio de Girardot</i>	40
Tabla 3 <i>Tipos de cobertura y combustible y su categoría de susceptibilidad</i>	42
Tabla 4 <i>Tipo de cobertura y duración del combustible predominante</i>	43
Tabla 5 <i>Clasificación según la duración de los combustibles predominantes</i>	44
Tabla 6 <i>Tipo de cobertura y su carga total de combustible</i>	45
Tabla 7 <i>Calificación según la carga total de combustibles y su categorización de susceptibilidad</i>	46
Tabla 8 <i>Calificación de la precipitación media anual</i>	48
Tabla 9 <i>Calificación de la temperatura media anual</i>	49
Tabla 10 <i>Calificación de la radiación media anual</i>	49
Tabla 11 <i>Calificación Velocidad media multianual del viento</i>	49
Tabla 12 <i>Calificación de la pendiente</i>	50
Tabla 13 <i>Calificación factor de frecuencia y amenaza total</i>	52
Tabla 14 <i>Calificación accesibilidad por cercanía a las vías y su categoría de amenaza</i>	53
Tabla 15 <i>Densidad vial y su categorización de amenaza</i>	54
Tabla 16 <i>Ponderación, calificación y categoría de amenaza total</i>	55
Tabla 17 <i>Censo Poblacional 2018 Municipio De Girardot</i>	58
Tabla 18 <i>Rangos de densidad poblacional y su categorización de vulnerabilidad</i>	59
Tabla 19 <i>Colindancia y categoría de vulnerabilidad</i>	60
Tabla 20 <i>Clasificación conflicto de uso y categoría de vulnerabilidad</i>	60
Tabla 21 <i>Influencia del fuego en los ecosistemas y su categoría de vulnerabilidad</i>	61

Tabla 22 <i>Tipo de cobertura, categoría y calificación de la vulnerabilidad ecológica y territorial</i>	61
Tabla 23 <i>Rangos de ponderación factores territoriales y su categoría de vulnerabilidad</i>	62
Tabla 24 <i>Distancia y calificación de infraestructura y su categoría de vulnerabilidad</i>	63
Tabla 25 <i>Clasificación del valor patrimonial y categoría de vulnerabilidad</i>	64
Tabla 26 <i>Clasificación económica del territorio y su categorización de vulnerabilidad</i>	64
Tabla 27 <i>Clasificación institucional y su categoría de vulnerabilidad</i>	65
Tabla 28 <i>Ponderación, calificación y categoría de la vulnerabilidad total</i>	66
Tabla 29 <i>Ponderación, calificación y categoría del escenario de riesgo</i>	68
Tabla 30 <i>Ponderación, calificación y categoría de la zonificación del RICV</i>	68
Tabla 31 <i>Categorización del grado de susceptibilidad del municipio de Girardot</i>	73
Tabla 32 <i>Categorización del grado de amenaza del municipio de Girardot</i>	87
Tabla 33 <i>Categorización del grado de vulnerabilidad del municipio de Girardot</i>	94
Tabla 34 <i>Categorización del grado de riesgo del municipio de Girardot</i>	97

Dedicatoria

A Dios gracias por no dejarme desfallecer nunca durante todo mi proceso, por darme la valentía suficiente para seguir adelante ante cualquier circunstancia.

A mis padres Manuel Zapata y Hellen Urrego por su apoyo, amor, comprensión y cuidados, son mi pilar en la vida.

A mi hermana Isabela por confiar en mí siempre y recordarme que siempre puedo. A mis abuelas por estar siempre.

A ti Carlos, por confiar en mí y nunca dejarme desfallecer, por estar siempre detrás con una palabra de aliento.

A la familia que me dejó la universidad, a mis amigos y docentes, a todos los que pasaron por mi vida durante este proceso, aquellos que se fueron y otros que se quedaron.

Manuela Zapata Urrego

A Dios, por ser mi luz en los momentos de oscuridad, mi fuerza cuando flaqueé y mi guía en cada paso de este camino. Gracias por darme la fortaleza y la sabiduría para superar cada obstáculo y por bendecirme con las personas maravillosas que me rodean.

A mis padres, por ser mi pilar fundamental, mi fuente inagotable de amor, apoyo y enseñanzas. Sus sacrificios, consejos y confianza en mí han sido la base de todo lo que he logrado. Este logro es tan suyo como mío, porque sin ustedes no habría sido posible.

A mi compañera y amiga, más que una aliada en este proceso, has sido una verdadera amiga, un apoyo constante y una inspiración.

A todos aquellos que me apoyaron en este camino, a mis amigos, profesores y colegas, quienes, con sus palabras de ánimo, su paciencia y su guía hicieron que este camino fuera más llevadero. Cada gesto, por pequeño que pareciera, tuvo un impacto enorme en mi vida y en la culminación de este proyecto.

Con todo mi corazón, les dedico este logro. Gracias por ser parte de mi historia.

Jaysa Estefania Oliveros Osorio

Agradecimientos

Queremos agradecer primeramente a Dios por habernos dado salud, fortaleza y sabiduría a lo largo de este proceso, permitiéndonos avanzar con determinación y compromiso en nuestra formación académica.

De igual manera, expresamos nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad de Cundinamarca por brindarnos la oportunidad de formarnos como profesionales en Ingeniería Ambiental, proporcionándonos las herramientas y el conocimiento necesario para enfrentar los desafíos del mundo actual.

A nuestros docentes, quienes con su dedicación, paciencia y vocación han sido guías fundamentales en este camino, inculcándonos valores, ética profesional y una visión crítica frente a las problemáticas ambientales. Su esfuerzo y compromiso han sido pilares en nuestra formación.

A nuestros compañeros de estudio, con quienes compartimos experiencias, aprendizajes y retos a lo largo de esta etapa. Su compañía y colaboración hicieron de este proceso una experiencia enriquecedora.

Manuela Zapata Urrego & Jaysa Estefania Oliveros Osorio

Resumen

Los incendios de cobertura vegetal representan una amenaza significativa para los ecosistemas y las comunidades, especialmente en regiones con condiciones climáticas y geográficas propensas a su ocurrencia. Esta investigación tiene como objetivo la zonificación del riesgo por incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot, Cundinamarca, a partir del análisis de variables ambientales y territoriales. Para ello, se empleó una metodología basada en sistemas de información geográfica (SIG), utilizando factores determinantes como la cobertura de la tierra, la temperatura, la precipitación, la pendiente, la accesibilidad y la frecuencia histórica de incendios. A partir de estos factores, se generaron mapas de amenaza y vulnerabilidad, permitiendo la identificación de zonas críticas con distintos niveles de riesgo.

Los resultados revelan que 16,31% del territorio municipal (2118,64 ha) presenta una amenaza baja, mientras que 50,65% (6580,29 ha) se encuentra en un nivel de amenaza moderada y 33,03% (4290,50 ha) en amenaza alta, destacando la urgencia de implementar medidas preventivas y de mitigación. Estas cifras evidencian que gran parte del municipio enfrenta condiciones propicias para la ocurrencia de incendios forestales, especialmente en áreas con vegetación densa, alta exposición a temperaturas elevadas y limitada accesibilidad para la respuesta a emergencias.

Los resultados de esta investigación constituyen una herramienta clave para la planificación territorial y la gestión del riesgo, proporcionando información fundamental para el desarrollo de estrategias de prevención, monitoreo y respuesta ante incendios forestales. Se recomienda la implementación de políticas de manejo sostenible del territorio, fortalecimiento de capacidades institucionales y sensibilización de la comunidad para reducir la vulnerabilidad ante estos eventos.

Palabras clave:

Zonificación, Incendios de cobertura vegetal, Cobertura vegetal, Amenaza, Vulnerabilidad, Riesgo

1. Introducción

Los incendios de cobertura vegetal son una creciente preocupación en regiones cálidas y semiáridas. En Colombia, casi todos son de origen antrópico, ya sea intencionales, por negligencia en quemas agrícolas, accidentes como caídas de líneas eléctricas o atentados terroristas. Estos incendios han afectado alrededor de 20.825 hectáreas, superando las inundaciones (19.080 ha), con menor impacto en personas y viviendas, pero con un mayor número de reportes y significativos efectos ambientales. Los incendios de cobertura vegetal constituyen los eventos con mayor recurrencia en el departamento de Cundinamarca. Su relación con las condiciones climáticas, también son resultado de malas prácticas en cultivos o descuido accidental de las personas. En general son favorecidos por tiempos secos y prolongados, y por efectos del Fenómeno del Niño. Estos eventos no solo afectan la vegetación y la fauna local, sino que también generan contaminantes que pueden tener consecuencias adversas para la salud humana y el medio ambiente. Sin embargo, a pesar de la frecuente ocurrencia de incendios de cobertura vegetal en Girardot, la comprensión de sus efectos específicos en la calidad del aire y su impacto en la salud humana y el medio ambiente aún no ha sido completamente determinada. El municipio de Girardot, hasta el día de hoy, no cuenta con una zonificación adecuada ni un entendimiento claro sobre los incendios de cobertura vegetal y sus impactos en la región. Adicional a esto, el municipio de Girardot presuntamente no cuenta con un plan de gestión del riesgo municipal como lo dicta la ley 1523 del 2012. Debido a esto, esta investigación propone abordar esta laguna de conocimiento, enfocándose en la evaluación del riesgo de incendios de cobertura vegetal y sus efectos en el territorio de Girardot, en un contexto de cambio climático. El estudio busca proporcionar una comprensión más profunda de los impactos de los incendios de cobertura vegetal en la zona, identificando las áreas más vulnerables y los factores que

contribuyen a la propagación de estos fenómenos. Asimismo, se busca generar información relevante y actualizada que pueda ser utilizada en la gestión del riesgo, la planificación territorial y la implementación de medidas preventivas y correctivas para mitigar los efectos negativos de los incendios de cobertura vegetal en el municipio.

2. Planteamiento Del Problema

En los últimos años, el municipio de Girardot ha experimentado un aumento significativo en la incidencia de incendios de cobertura vegetal, especialmente durante la temporada seca, que abarca los meses de diciembre a marzo (UNGRD, 2022). Este fenómeno ha sido reportado de manera recurrente por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019), se ha visto intensificado por las condiciones climáticas extremas asociadas al cambio climático, como sequías prolongadas y olas de calor. Los incendios de cobertura vegetal no solo representan una grave amenaza para la biodiversidad y los ecosistemas locales, sino que también tienen efectos devastadores sobre la economía, principalmente en sectores como la agricultura, la ganadería y el turismo (González, 2018; Ramírez et al., 2020). Estos sectores, al estar fuertemente interrelacionados con el entorno natural, resultan particularmente vulnerables ante la alteración de los recursos naturales ocasionada por los incendios (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

El municipio de Girardot, caracterizado por su relieve montañoso y clima cálido, presenta una diversidad de usos del suelo que incluyen áreas urbanas, suburbanas, rurales y de protección ambiental. La expansión urbana y la conversión de tierras para actividades agropecuarias han contribuido a un entorno propenso a incendios de cobertura vegetal (Alcaldía de Girardot, 2016). Además, la región se enfrenta a una combinación de factores que aumentan la vulnerabilidad al riesgo de incendios, tales como la deforestación, la quema de tierras para la agricultura y la falta de conciencia en la gestión del fuego (González et al., 2016).

En este contexto, se hace necesario realizar un análisis exhaustivo que permita identificar las zonas más vulnerables y las áreas de alto riesgo dentro del municipio. A través de la zonificación de incendios forestales, se podrá establecer un diagnóstico detallado que facilite la

toma de decisiones informadas y el diseño de políticas públicas que favorezcan la gestión sostenible del territorio y la protección de los ecosistemas locales. La falta de información precisa y actualizada sobre las áreas de riesgo limita la capacidad de respuesta ante emergencias, lo que refuerza la necesidad de una investigación que contribuya a mejorar la gestión del riesgo de incendios de cobertura vegetal en Girardot (Aguirre et al., 2017; Paredes, 2021).

3. Justificación

El estudio de la zonificación de incendios de cobertura vegetal en Girardot-Cundinamarca es de suma importancia, no solo por las crecientes amenazas que representan los incendios en esta región, sino también por la relevancia que tiene la correcta gestión del riesgo en el territorio en un contexto de cambio climático. En los últimos años, el aumento en la frecuencia e intensidad de estos fenómenos ha afectado gravemente la biodiversidad local, los ecosistemas y, principalmente, la economía de la región. La agricultura, que es un sector fundamental en Girardot, se ve gravemente perjudicada, además de los impactos negativos en el turismo, una de las principales fuentes de ingresos del municipio. La falta de una zonificación adecuada que identifique las áreas de mayor riesgo y la ausencia de estrategias preventivas eficaces dificultan la respuesta ante este tipo de emergencias, lo que incrementa las pérdidas materiales y ambientales.

La implementación de un sistema de zonificación de incendios de cobertura vegetal es esencial para el desarrollo de una gestión del riesgo más efectiva. Esta investigación no solo tiene una importancia técnica y científica, sino que también responde a una necesidad urgente de generar información actualizada y precisa para las autoridades locales, las instituciones encargadas de la protección ambiental y la comunidad en general. El trabajo propuesto contribuirá a llenar un vacío en el conocimiento sobre las dinámicas de los incendios de cobertura vegetal en Girardot, permitiendo la elaboración de estrategias más eficaces para prevenir y mitigar estos eventos.

Adicionalmente, el análisis detallado de las variables climáticas, geográficas y socioeconómicas relacionadas con los incendios de cobertura vegetal fortalecerá el enfoque integral de la gestión del riesgo en la región, lo que contribuirá a la planificación territorial

sostenible. La identificación de las zonas más vulnerables permitirá la implementación de políticas públicas y medidas de protección que protejan tanto a la biodiversidad como a las comunidades que dependen de estos recursos. Además, esta investigación tiene el potencial de servir como modelo para otros municipios de la región, ampliando su aplicabilidad y generando un impacto positivo en la gestión de los incendios de cobertura vegetal en el país.

4. Objetivo

4.1 Objetivo General

Desarrollar la zonificación del riesgo por incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot-Cundinamarca mediante análisis de multicriterio y sistemas de información geográfica.

4.2 Objetivos Específicos

Analizar la información cartográfica necesaria a partir de bases de datos nacionales y documentación secundaria

Generar la susceptibilidad y amenaza de incendios de cobertura vegetal en Girardot a través de una metodología multicriterio

Plantear estrategias de reducción y manejo del riesgo a incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot-Cundinamarca

5. Marco Referencial

5.1 Marco Teórico

5.1.1 *Incendio de cobertura vegetal*

Los incendios son una ocurrencia de fuego, los cuales se propagan sin control humano. En el momento que ocurren sobre la naturaleza se denomina incendios de cobertura vegetal, termino el cual se define como el fuego sobre la cobertura vegetal de origen natural o antrópico que se propaga sin control, que causa perturbaciones ecológicas afectando o destruyendo una extensión superior a 5.000 m², ya sea en zona urbana o rural, que responde al tipo de vegetación, cantidad de combustible, oxígeno, condiciones meteorológicas, topografía, actividades humanas, entre otras. (UNGRD, 2014). Los incendios de cobertura vegetal son un fenómeno que perturba la funcionalidad y dinámica del sistema ambiental afectando: el agua, el aire, la flora, la fauna y el suelo, trayendo consigo la afectación de la calidad de bienes y servicios ambientales como por ejemplo la calidad del aire y el paisaje. (UNGRD, 2019)

5.1.2 *Zonificación de incendios de cobertura vegetal*

La zonificación de incendios de cobertura vegetal es un proceso que permite identificar y clasificar las áreas de mayor riesgo de incendios dentro de un territorio determinado. Este proceso involucra el análisis de diversos factores como el tipo de vegetación, las condiciones climáticas, el uso del suelo, la topografía y las condiciones sociales. La zonificación ayuda a la toma de decisiones sobre la asignación de recursos, la prevención de incendios y la planificación de medidas de respuesta ante eventos extremos. En la práctica, este proceso se realiza mediante técnicas de modelado espacial, que permiten visualizar áreas de alto riesgo y formular estrategias de mitigación específicas (González, 2018).

5.1.2.1 Susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios de cobertura vegetal:

Características específicas de la vegetación y ecosistema como lo son el combustible y disposición, lo que determinará el grado de probabilidad de propagación, incidencia y tiempo de permanencia del fuego.

5.1.3 *Sistemas de Información Geográfica (SIG)*

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas tecnológicas que permiten la recopilación, almacenamiento, análisis y visualización de datos geoespaciales. En el contexto de los incendios forestales, los SIG se utilizan para mapear áreas de alto riesgo, monitorear la propagación del fuego y gestionar la respuesta a los incendios. Estos sistemas permiten integrar datos meteorológicos, topográficos y de uso del suelo para crear modelos predictivos y de zonificación. La aplicación de SIG en la gestión de incendios mejora la capacidad de respuesta ante desastres y facilita la toma de decisiones para mitigar los impactos de los incendios en el medio ambiente y las comunidades (Ramos, 2020).

5.1.3.1 **Escalas de trabajo:** En este caso y como en muchos, la escala desempeña una parte del papel determinante ante los resultados obtenidos durante el análisis por condicionar en gran parte la metodología aplicada. Dentro de esta escala existen dos tipos, la primera es la escala temporal (resolución temporal) y la segunda es la escala espacial (resolución espacial).

La escala temporal en zonificación se refiere al intervalo de tiempo durante el cual se proyectan y evalúan los efectos de un plan de ordenamiento territorial. Esta escala puede variar desde corto plazo (años) hasta largo plazo (décadas o incluso siglos), y su elección depende de

los objetivos del plan, de las características del territorio y de los factores de cambio que se consideren relevantes.

La escala espacial se refiere a la dimensión física a la que se aplica un plan de zonificación. Es decir, determina el tamaño del área geográfica que se analiza y regula. Esta escala puede variar desde lo muy local (una manzana de casas) hasta lo regional o nacional.

5.1.4 Cambio Climático

El cambio climático hace referencia a las alteraciones a largo plazo en los patrones climáticos globales y locales, principalmente debido a las actividades humanas, como la emisión de gases de efecto invernadero. En relación con los incendios forestales, el cambio climático intensifica la frecuencia, duración e intensidad de los eventos extremos, como las sequías y las olas de calor, que favorecen la propagación de los incendios. El aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones en muchas regiones del mundo han creado condiciones más propensas a los incendios, lo que ha generado un aumento en la cantidad de áreas afectadas por incendios forestales. Además, el cambio climático puede alterar la biodiversidad de los ecosistemas forestales, haciendo que ciertas especies sean más susceptibles al fuego (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2011).

5.1.5 Gestión del riesgo

La gestión del riesgo es un proceso integral que implica la identificación, evaluación y tratamiento de posibles amenazas o eventos adversos. Este enfoque busca prevenir, mitigar y adaptar la gestión de riesgos a situaciones cambiantes, siendo esencial para la protección de individuos, comunidades y ecosistemas. En el contexto de los incendios forestales, la gestión del riesgo incluye la planificación, monitoreo y respuesta ante eventos, enfocándose en reducir tanto

la probabilidad como los impactos de los incendios. Este enfoque se fundamenta en un ciclo continuo de evaluación, priorización y adaptación de medidas de intervención (Casado, Vega de la Cruz, Velázquez et al., 2021). La zonificación del territorio es una herramienta clave en la gestión del riesgo de incendios forestales, ya que permite identificar áreas vulnerables y establecer criterios para la prevención y mitigación de estos eventos.

La gestión del riesgo se fundamenta en tres conceptos clave: amenaza, vulnerabilidad y riesgo. La amenaza se define como la probabilidad de que un fenómeno de origen natural, tecnológico o humano, como terremotos, incendios de cobertura vegetal o inundaciones, ocurra con una intensidad, frecuencia y duración específicas, afectando un territorio determinado. Estas amenazas se clasifican según su origen y su posibilidad de ocurrencia, permitiendo evaluar el nivel de peligro al que están expuestas las comunidades (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD], 2017). Por otro lado, la vulnerabilidad corresponde a las condiciones sociales, económicas, políticas, ambientales y físicas que aumentan la susceptibilidad de una comunidad, sistema o infraestructura frente a una amenaza. Factores como la desigualdad social, la falta de recursos y la exposición de infraestructuras críticas reducen la capacidad de anticipación, respuesta y recuperación ante un evento adverso (UNGRD, 2017). Finalmente, el riesgo resulta de la interacción entre la probabilidad de ocurrencia de una amenaza y las consecuencias negativas que esta puede generar sobre elementos vulnerables expuestos. Así, el riesgo depende tanto de la intensidad del evento como del grado de vulnerabilidad y la exposición de recursos críticos, y su evaluación es fundamental para la planificación territorial y la gestión eficiente de las decisiones encaminadas a minimizar sus impactos (UNGRD, 2015).

5.1.5.1 Contextualización de los incendios de cobertura vegetal en Colombia: Cada año, Colombia enfrenta la amenaza de incendios forestales, especialmente durante los períodos de El Niño, que incrementan la frecuencia y la intensidad de estos eventos. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2011), en 1991, año de un fuerte evento de El Niño, se empezó a gestionar de manera más disciplinada la problemática de los incendios, aunque la recopilación de datos aún era limitada. Entre 1986 y 2001, 367,842 hectáreas fueron afectadas por incendios forestales, y entre 2002 y 2010, la cifra alcanzó 377,403 hectáreas (IDEAM-MAVDT-DGR, 2010). El fenómeno de El Niño, caracterizado por un aumento de las temperaturas y la reducción de las precipitaciones, es uno de los principales factores que propician los incendios en Colombia (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2011). En la región altoandina, que incluye departamentos como Cundinamarca, la superficie afectada ha sido considerable, con 135,623 hectáreas de vegetación quemada, lo que representa el 34% del total de hectáreas afectadas a nivel nacional (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2002). Esta situación subraya la necesidad de implementar medidas de gestión y zonificación efectivas.

5.1.5.2 Fenómeno de El Niño: El Niño es un ciclo climático que ocurre en la región tropical del océano Pacífico, caracterizado por temperaturas del mar más altas de lo normal, lo que altera los patrones climáticos a nivel global, especialmente en las zonas tropicales. En Colombia, El Niño se asocia con una disminución de las lluvias y un aumento de las temperaturas, lo que contribuye a un ambiente más propenso para los incendios de cobertura vegetal (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2011). Durante los eventos de El Niño, se ha observado un incremento significativo

en el número e intensidad de los incendios forestales, especialmente en los años de 1997, 2007 y 2009-2010, con períodos más intensos de sequía y altas temperaturas.

5.1.6 Causas de los incendios de cobertura vegetal

Los incendios de cobertura vegetal pueden originarse por causas naturales, como rayos, o por actividades humanas, que constituyen más del 80% de los incendios reportados. Entre las principales causas humanas se encuentran la quema agrícola y la expansión de la frontera agrícola (Mora, 2022). Además, los incendios de cobertura vegetal pueden estar relacionados con factores climáticos, territoriales y estructurales. La actividad humana, tanto intencional como negligente, es la principal causante de la propagación descontrolada del fuego. Según el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER, 2016), un incendio forestal se define como el fuego no deseado que se propaga sin control, afectando coberturas vegetales de áreas rurales o componentes de la estructura ecológica principal.

5.1.7 Contaminantes emitidos por incendios de cobertura vegetal

Los incendios de cobertura vegetal liberan una variedad de contaminantes atmosféricos que afectan la calidad del aire y la salud humana. Entre los principales contaminantes se encuentran las partículas finas (PM10 y PM2.5), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido de nitrógeno (NO₂) y el dióxido de azufre (SO₂). Según Romo y Bermejo (2021), en climas tropicales, los incendios son más frecuentes durante la estación seca, cuando la vegetación pierde humedad y se vuelve más susceptible al fuego. Los contaminantes emitidos varían según la fase de la combustión. En la fase de llama, se liberan CO, CO₂, NO_x y otros compuestos tóxicos, mientras que, en la fase de brasas, los contaminantes como el CO y el CO₂ aumentan en concentración (Sandoval et al., 2021). Además, se ha documentado que el ozono (O₃), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas finas son los contaminantes más

preocupantes para la salud humana (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2016). Estos contaminantes tienen efectos perjudiciales, especialmente en poblaciones vulnerables, aumentando el riesgo de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

5.2 Marco Legal

Las actividades orientadas al control y prevención de incendios de cobertura vegetal en Colombia están fundamentadas en diversas normativas nacionales e internacionales. En primer lugar, la Constitución Política de 1991 establece el derecho de todas las personas a un ambiente sano y la obligación del Estado de proteger los recursos naturales y garantizar su uso sostenible (Congreso de la República de Colombia, 1991). Este principio es crucial para las acciones preventivas relacionadas con los incendios forestales, que se enmarcan en un enfoque más amplio de desarrollo sostenible.

La Ley 46 de 1988 creó el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD), cuyo objetivo es establecer mecanismos y protocolos para la atención de desastres naturales, incluidos los incendios de cobertura vegetal (Congreso de la República de Colombia, 1988). Esta ley fue complementada por el Decreto 919 de 1989, que organiza este sistema y establece que los planes de desarrollo de las entidades territoriales deben incluir componentes específicos sobre prevención de desastres y contar con los comités pertinentes a nivel local, regional y nacional. Estos comités son los encargados de elaborar los planes de contingencia para atender emergencias, incluyendo los incendios forestales.

La Ley 99 de 1993 estableció el Sistema Nacional Ambiental (SINA), el cual define las funciones y competencias de las autoridades ambientales nacionales y regionales en la prevención y atención de desastres relacionados con el medio ambiente, incluyendo los incendios

de cobertura vegetal (Congreso de la República de Colombia, 1993). Posteriormente, el Decreto 2340 de 1997 introdujo las Comisiones Asesoras para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales, que operan a nivel nacional para coordinar acciones relacionadas con la prevención, mitigación y manejo de incendios (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 1997).

La Ley 322 de 1996 estableció el Sistema Nacional de Bomberos, con el propósito de fortalecer la organización y respuesta ante emergencias en todo el país, incluidos los incendios de cobertura vegetal (Congreso de la República de Colombia, 1996). Además, el Decreto 93 de 1998 adoptó el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, que guía las acciones del Estado y la sociedad en cuanto a la prevención y mitigación de riesgos, estableciendo protocolos claros para la atención de incendios de cobertura vegetal (Presidencia de la República de Colombia, 1998).

A nivel internacional, Colombia se ha comprometido con diversos acuerdos ambientales, como el Acuerdo de París (2015), que establece metas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar el cambio climático, un factor clave en la ocurrencia y la intensidad de los incendios de cobertura vegetal (UNFCCC, 2015). Igualmente, la Convención sobre la Diversidad Biológica, a la que Colombia está suscrita, subraya la importancia de conservar los ecosistemas naturales, lo que incluye la protección de áreas que podrían verse afectadas por incendios de cobertura vegetal (UNEP, 1992)

6. Marco Metodológico

6.1 Ubicación y características de la zona de estudio

Girardot es un municipio de clima cálido, ubicado en el interior del país, en el departamento de Cundinamarca, a la orilla del río Magdalena, lo que le ha permitido desarrollar una gran diversidad de ofertas económicas y turísticas. La temperatura media anual es de 28 °C. La cabecera municipal está a una altura de 290 m s. n. m., pero su territorio, de 150 km², abarca 70% de relieve montañoso que alcanza 1000 m s. n. m., dado que se encuentra en un vértice de la Cordillera Oriental colombiana. La máxima temperatura registrada en la historia de Girardot fue de 42,3 °C, y la mínima de 9.8 °C.

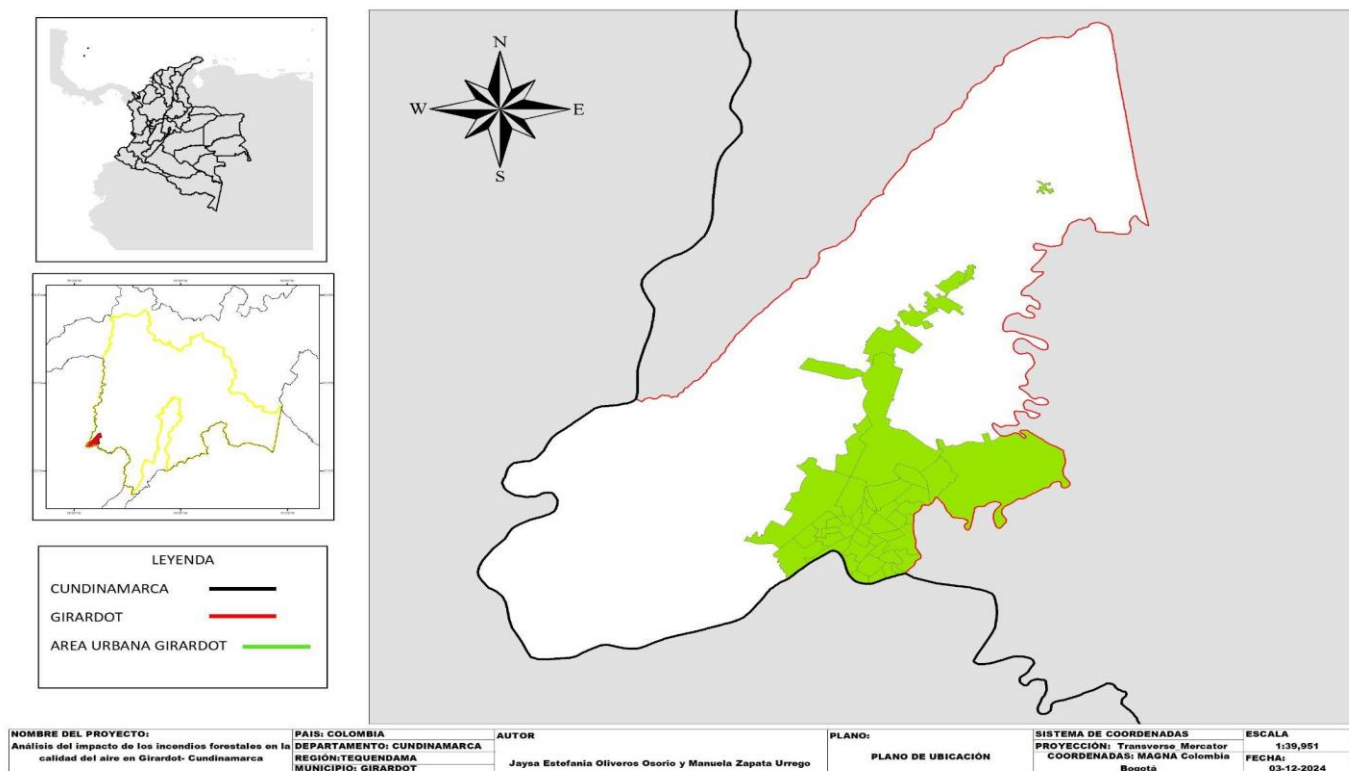


Figura 1.

Ubicación y características de la zona de estudio municipio de Girardot.

Nota: Elaboración propia

Como muchas regiones tropicales, Girardot experimenta una temporada de lluvias y una temporada seca; la temporada de lluvias generalmente se extiende de abril a noviembre, mientras que la temporada seca abarca los meses de diciembre a marzo. La cantidad de precipitación varía según el año y puede influir en la productividad agrícola. Cuando hablamos de suelos hablamos de lo adecuados que son para la agricultura por su fertilidad, la combinación de clima cálido y suelos fértiles que favorece el crecimiento de una variedad de cultivos tropicales, como frutas y cultivos comerciales como el maíz, arroz y la caña de azúcar. En los últimos años, se ha identificado un crecimiento de áreas de pasturas de consumo animal. Aunque Girardot generalmente disfruta de un clima cálido y estable, como parte de la región tropical, está sujeta a fenómenos climáticos extremos, como sequías, inundaciones o tormentas tropicales, que pueden afectar la agricultura y otras actividades económicas.

Universo, población y muestra: Dado que la aplicación del estudio pertenece a toda la población que constituye Girardot Cundinamarca, la muestra que se estudiará será el concepto de territorio (Ha) enmarcado a la porción de suelo perteneciente a Girardot como municipio.

En este sentido el suelo del municipio de Girardot está distribuido y categorizado en el POT en:

Tabla 1

Categorización del suelo municipio de Girardot-Cundinamarca

CATEGORÍA DE SUELO	ÁREA (ha)
Suelo urbano	2.114,03
Suelo de expansión	146,16

Suelo suburbano	636,31
Suelo rural	5.053,07
Suelo de protección	5.082,43
Centros poblados	355,80
➤ Barzaloza	170,54
➤ San Lorenzo	97,40
➤ Acapulco	87,86
Zonas de vivienda campestre	501,98
Total del suelo municipal	12.989,43

Nota: Elaboración propia

6.2 Metodología

La metodología de tipo cuantitativo nos permite integrar un proceso probatorio, sistemático y secuencial de múltiples factores para la determinación de las fases de desarrollo de la investigación. Estas fases nos permiten la formulación de hipótesis, diseños, recopilación y análisis de datos para el proceso de investigación. En este caso se analizará en una fase que estará en gran parte desarrolladas bajo la metodología de zonificación de incendios de cobertura vegetal del IDEAM (2011), la cual se fundamenta en una metodología paramétrica, con ayuda de sistemas de información geográfica para un enfoque espacial, aproximaciones de ponderación y calificación de los diversos factores generadores de amenaza y vulnerabilidad a incendios forestales.

6.2.1 *Identificación y obtención de la información cartográfica necesaria*

Obtención de la base cartográfica del área de estudio: Mapa límites político-administrativos e Hidrografía

Análisis de susceptibilidad: Mapa de cobertura CLC, mapa de biomasa y mapa de susceptibilidad por combustibles (obtenido del análisis de los anteriores).

Análisis de amenaza: Cartografía de vías, modelo digital del terreno, mapa de precipitación, mapa de temperatura, información estadística de frecuencia y número de incendios, mapa de velocidad y dirección de los vientos, mapa de radiación solar y mapa de amenaza (Resultado de los mapas anteriores).

Organizaciones institucionales: DANE, CAR, POT municipal, IGAC.

Análisis de vulnerabilidad: Mapa de densidad poblacional urbana y rural, mapa de distribución de la población, mapa de centros poblados y viviendas dispersas, mapa cartografía vías, infraestructura energética y mapas de vulnerabilidad (económica, territorial, poblacional, institucional, infraestructura y patrimonial).

Análisis de riesgo: Mapa resultante de análisis de amenaza y vulnerabilidad total.

Listas y definidas las variables se establecerá un criterio para integrarlas de manera apropiada, esto con una escala numérica de riesgo. Teniendo en cuenta que la metodología requiere de la elaboración de síntesis parciales de los diversos factores de riesgo hasta la elaboración de la síntesis final, es necesario utilizar procedimientos cualitativos basados en ponderaciones realizadas por expertos. La opinión de los expertos se ordena mediante la construcción de jerarquías, el establecimiento de prioridades y el análisis matemático de la consistencia lógica de las ponderaciones, empleando un análisis de evaluación multicriterio (Barredo, 1996). Para la escala numérica será necesario un criterio de normalización, el cual se obtendrá de los propuestos de la lógica difusa (fuzzy) con la siguiente ecuación:

$$\text{Factor normalizado} = ((x - \text{Min})) / ((\text{Max} - \text{Min}))$$

x: valor del factor en un lugar específico del área de estudio

min: valor mínimo del factor en el área de estudio

Max: valor máximo presentado por el factor en el área de estudio

Ya normalizadas las variables se van a agrupar en frecuencias de 5 rangos, el tamaño de los rangos se da a partir de la siguiente ecuación: $\text{Amplitud del rango} = ((\text{Max1} - \text{Min1}) / n)$

Min1: Valor mínimo normalizado del factor en el área de estudio

Max1: valor máximo normalizado presentado por el factor del área de estudio

N: número total de datos de cada factor

Se utiliza el método de la lógica difusa (Fuzzy) para la estandarización de los datos luego de la calificación asignada según el IDEAM; donde, se tienen 6 (0-5) categorías de amenaza y una sin información.

Susceptibilidad: Cuando hablamos de susceptibilidad a nivel de incendios hablamos del tipo de cobertura y que tanta función cumple como combustible natural, esta se mide de 1 a 5 según la capacidad de actuación como combustible. Esta variable se observará y analizará sobre un mapa de cobertura vegetal del territorio de análisis.

Amenaza: Para catalogar la amenaza también hablamos de puntuación de 1 a 5, pero esta cuenta con un valor agregado, al ser evaluado por una fórmula donde se mezclan diferentes factores como la precipitación anual, accesibilidad, susceptibilidad, pendiente, temperatura media anual y por último el historial de incendios del territorio.

Amenaza = susceptibilidad de la vegetación X (0,17) + precipitación X (0,20) + temperatura X (0,20) + pendientes X (0,07) + frecuencia X (0,10) + accesibilidad x (0,10) + vientos x (0,10) + radiación solar x (0,07)

Vulnerabilidad: Para el caso de esta investigación al hablar de vulnerabilidad hablamos de un conjunto de factores como población(densidad), áreas (históricos, culturales y ambientales), ecológico (cobertura de la tierra), infraestructura (Vial, obras, líneas eléctricas, entre otros), institucional (Entes institucionales) y económicos (usos del suelo). Al igual que lo anterior todos estos factores se unen en una fórmula.

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{V. institucional} \times (0,05) + \text{V. patrimonial} \times (0,20) + \text{V. poblacional} \times (0,31) + \text{V. territorial} \times (0,20) + \text{V. infraestructura} \times (0,06) + \text{V. económica} \times (0,18)$$

Riesgo: Para hablar de riesgo hablamos integrar los mapas de amenaza y vulnerabilidad ya definidos por la fórmula. $\text{Riesgo} = \text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad}$

6.2.2 Etapa preparatoria

Dicha etapa tiene como fin definir los mapas cartográficos base del área de estudio. Esta fase corresponde a la división político-administrativa, población espacial (localización de centros poblados), sistemas viales (primarias, secundarias y terciarias), redes hidrográficas, y por último topografía (curvas de nivel).

6.2.3 Evaluación de la amenaza

Se integran todos los factores y sus mapas, como lo son político-administrativo, relieve (pendiente), histórico (frecuencia de incendios), accesibilidad, climáticos (temperatura, radiación, precipitación y vientos.) y susceptibilidad (combustible).

Estos factores se agrupan en cuatro categorías principales: el modelo de combustibles, factores climáticos, el relieve y el factor histórico.

6.2.3.1 Modelo de combustibles: Este componente evalúa las características de la vegetación que determinan su capacidad de combustión. Incluye parámetros como:

- **Tipo de combustible predominante:** Determina la inflamabilidad y comportamiento del fuego según la especie vegetal predominante.
- **Duración de los combustibles predominantes:** Mide el tiempo que estos combustibles permanecen disponibles para la combustión.
- **Carga total de combustibles:** Evalúa la cantidad de biomasa disponible, como altura, cobertura y biomasa, que influye en la intensidad del fuego.
- **Humedad de la vegetación:** Un factor crítico que afecta directamente la inflamabilidad; menores niveles de humedad incrementan la susceptibilidad.

6.2.3.2 Factores climáticos: El clima es un determinante clave en la propagación de los incendios. En esta categoría se incluyen:

- **Precipitación y temperatura:** Durante períodos asociados al fenómeno de El Niño, las condiciones de sequía y altas temperaturas aumentan la amenaza.
- **Vientos dominantes:** Favorecen la dispersión del fuego al proporcionar oxígeno y direccionar la llama.
- **Radiación solar:** Influye en el secado de los combustibles y en la generación de condiciones propicias para los incendios.

6.2.3.3 Relieve y accesibilidad:

- **Pendientes:** Zonas con mayor inclinación son más susceptibles a incendios debido a que el fuego se propaga más rápido cuesta arriba.
- **Vías primarias y secundarias:** Aunque pueden facilitar el acceso para la mitigación, también actúan como corredores para la propagación de incendios cuando no están adecuadamente gestionadas.

6.2.3.4 Factor histórico:

- **Índice de frecuencia de incendios de cobertura vegetal:** La recurrencia histórica de incendios en un área específica ayuda a predecir y priorizar zonas de mayor susceptibilidad.

En conjunto, estos factores permiten construir un análisis detallado y dinámico de la amenaza, identificando áreas críticas y priorizando medidas de prevención, monitoreo y respuesta ante incendios forestales.

La evaluación de amenazas de incendios de cobertura vegetal requiere información cartográfica como mapas base, de cobertura vegetal, precipitación y temperatura media multianual, históricos de incendios, pendientes y vialidad. Adicionalmente, pueden incluirse datos sobre dirección y velocidad de vientos predominantes, según disponibilidad. El modelo de combustibles clasifica jerárquicamente factores como: tipo de combustible vegetal predominante, duración del combustible, carga total (altura, cobertura, biomasa) y humedad media, obtenida mediante índices como NDII.

Los factores climáticos, como temperatura y precipitación media, son determinantes en la propagación del fuego, especialmente bajo eventos climáticos como el Fenómeno del Niño.

También se consideran vientos dominantes y radiación solar como variables opcionales. El relieve influye en la propagación del fuego, siendo más rápida en pendientes pronunciadas. Este factor se evalúa con mapas de pendientes obtenidos a partir de modelos digitales de terreno. El factor histórico evalúa la frecuencia de incendios en un periodo de al menos 10 años, utilizando el índice de frecuencia de incendios, que relaciona eventos por área y tiempo. La integración de factores como susceptibilidad de la cobertura vegetal (tipo, carga, duración de combustibles), accesibilidad, clima, relieve e histórico permite evaluar la amenaza. Esto se basa en la condición pirogénica de la vegetación colombiana, según el modelo de combustibles desarrollado por Páramo (2007). La accesibilidad, medida a través de la densidad vial, se considera un factor de amenaza porque facilita el acceso de la población a áreas forestales, aumentando la probabilidad de generar focos de incendio.

6.2.4 Procesamiento

La clasificación y categorización se realiza a partir del análisis de la condición pirogénica de la vegetación colombiana, basado en el modelo de combustibles desarrollado por Páramo 2007; susceptibilidad (mapa de susceptibilidad de tipos de combustibles), factores climáticos (incorporación y calificación de los factores climáticos), relieve (incorporación de curvas de nivel), histórico (cálculo de los índices de frecuencia y causalidad de dichos fenómenos), accesibilidad (Análisis y evaluación de la accesibilidad por cercanía a las vías) y generación del mapa de amenaza a incendios de la cobertura vegetal.

6.2.4.1 Susceptibilidad de la cobertura vegetal a los incendios: La susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios se evalúa mediante la clasificación y calificación de la condición pirogénica de la vegetación colombiana, utilizando el modelo de combustibles desarrollado por Páramo (2007). Este análisis considera factores clave

que determinan la propensión de la vegetación a incendiarse, identificando aquellos elementos más relevantes para establecer su susceptibilidad. Se tiene en cuenta todas las especies del municipio de Girardot, pero, basándonos únicamente en las de nivel 3 plasmadas en la siguiente tabla:

Tabla 2

Niveles de cobertura vegetal en el municipio de Girardot

nivel_1	nivel_2	nivel_3	nivel_4
1. Territorios artificializados	1.1. Zonas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo	
	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.1. Zonas industriales o comerciales	
		1.2.2. Aeropuertos	
	1.3. Zonas de extracción mineras y escombreras	1.3.1. Zonas de extracción minera	
	1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4.1. Zonas verdes urbanas	
		1.4.2. Instalaciones recreativas	
	2. Territorios agrícolas	2.1. Cultivos transitorios	2.1.2. Cereales
2.2. Pastos		2.2.1. Pastos limpios	
		2.2.2. Pastos arbolados	
		2.2.3. Pastos enmalezados	
	2.3.1. Mosaico de cultivos		

		2.3.2. Mosaico de pastos y cultivos	
	2.3. Áreas agrícolas heterogéneas	2.3.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	
		2.3.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	
	3.1. Bosques	3.1.1 Bosque de galería y ripario	
3. Bosques y áreas seminaturales	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1. Herbazal	3.2.1.1. Herbazal denso
		3.2.2. Arbustal	3.2.2.1. Arbustal denso
		3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	3.2.3.1. Vegetación secundaria alta
		3.2.4. Vegetación secundaria o en transición	3.2.4.1. Vegetación secundaria baja
4. Superficies de agua	4.1. Aguas continentales	4.1.1. Ríos	

Nota: Elaboración propia

El procedimiento por seguir para la determinación de la susceptibilidad de la cobertura vegetal a los incendios es el siguiente:

Paso 1. Generación del mapa de tipo de combustibles

A partir del mapa de cobertura vegetal, se realiza una reclasificación de los tipos de cobertura según los combustibles predominantes, siguiendo el modelo desarrollado por Páramo (2007). Este modelo clasifica los combustibles en dos categorías principales: ligeros, que incluyen pastos, hojas y ramillas de menos de 1 cm de diámetro, fáciles de inflamar y de rápida combustión, y pesados, como troncos y ramas gruesas de más de 1 cm, que arden más lentamente y requieren mayor esfuerzo para inflamarse.

Los siguientes cuadros, presentan la clasificación realizada para las coberturas presentes en la zona objeto del estudio de caso que ejemplifica el protocolo.

Tabla 3

Tipos de cobertura y combustible y su categoría de susceptibilidad

TIPO DE COBERTURA	TIPO DE COMBUSTIBLE	CALIFICACIÓN	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
Bosques fragmentados	Árboles/arbustos	2	Baja
Arbustales	Arbustos	3	Moderada
Arbustal abierto y herbazal con arbustos y/o arbolado	Arbustos/Hierbas – árboles/hierbas – pastos/hierbas/arbustos/árboles	3	Moderada
Herbazales y cultivos herbáceos	Hierbas/cultivos herbáceos	4	Alta

Pastos enmalezados	Hierbas – Pastos	5	Muy Alta
Pastos limpios y zonas verdes urbanas	Pastos – zonas verdes urbanas	5	Muy Alta
Zonas con presencia de nubes o sombras	Sin información	6	Sin información

Nota: IDEAM 2011

Paso 2. Generación del mapa de duración de combustibles

Utilizando el mapa de cobertura vegetal, se realiza una reclasificación basada en la interpretación de los tipos de cobertura, asignando una calificación según la duración de los combustibles predominantes. se aplica como se muestra en los siguientes cuadros, aplicables al estudio de caso que ejemplifica el protocolo.

Tabla 4

Tipo de cobertura y duración del combustible predominante

TIPO DE COBERTURA (CORINE LAND COVER NIVEL 3)	DURACIÓN DEL COMBUSTIBLE PREDOMINANTE
3.1.4. Bosque de galería y ripario	100 horas
3.2.2. Arbustal	10 horas
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustibles
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	10 horas
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	10 horas

2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	1 hora
2.4.1. Mosaico de cultivos	1 hora
2.3.3. Pastos enmalezados	1 hora
2.3.1. Pastos limpios	1 hora
3.2.1. Herbazal	1 hora

Nota: IDEAM 2011

Tabla 5

Clasificación según la duración de los combustibles predominantes

TIPO COBERTURA	DURACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES	CALIFICACIÓN	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
Suelos desnudos o degradados, roca, nieves perpetuas, cuerpos de agua, zonas urbanas y todas aquellas coberturas no naturales	No combustibles	0	Sin riesgo
Zonas verdes urbanas / pastos limpios	1 hora	1	Baja
Herbazales / cultivos herbáceos / pastos enmalezados	1 hora	1	Baja
Arbustal abierto / herbazal con arbustos y/o arbolado	10 horas	2	Moderada
Arbustales / mosaicos con espacios naturales	10 horas	2	Moderada

Zonas en las que no se tiene información por presencia de nubes o sombras	Sin información	6	Sin información
---	-----------------	---	-----------------

Nota: IDEAM 2011

Paso 3. Generación del mapa de carga de combustibles

En el paso 3 del protocolo, se debe generar un mapa de carga de combustibles utilizando el mapa de cobertura vegetal y la información sobre la biomasa de cada tipo de cobertura. La biomasa se expresa en toneladas por hectárea. A partir de esta información, se realiza una reclasificación de las coberturas vegetales, asignando una calificación según la cantidad de biomasa (carga de combustibles) presente en cada tipo de cobertura. Esta calificación se hace de acuerdo con cuadros específicos que se aplican al estudio de caso y, para el cubrimiento nacional.

Tabla 6

Tipo de cobertura y su carga total de combustible

TIPO DE COBERTURA (CORINE LAND COVER NIVEL 3)	CARGA TOTAL (BIOMASA) DE COMBUSTIBLES
3.1.4. Bosque de galería y ripario	Más de 100 ton/ha
3.2.2. Arbustal	50 - 100 ton/ha
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustibles
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	50 - 100 ton/ha
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	50 - 100 ton/ha
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	1 - 50 ton/ha

2.4.1. Mosaico de cultivos	1 - 50 ton/ha
2.3.3. Pastos enmalezados	1 - 50 ton/ha
2.3.1. Pastos limpios	1 - 50 ton/ha
3.2.1. Herbazal	1 - 50 ton/ha
3.3.5. Zonas glaciares y nivales	No combustibles

Nota: IDEAM 2011

Tabla 7

Calificación según la carga total de combustibles y su categorización de susceptibilidad

TIPO COBERTURA	CARGA TOTAL DE COMBUSTIBLES	CALIFICACIÓN	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
Suelos desnudos o degradados, roca, nieves perpetuas, cuerpos de agua, zonas urbanas y todas aquellas coberturas no naturales	No combustibles	0	Sin riesgo
Zonas verdes urbanas	<1 ton/ha	1	Baja
Herbazales / cultivos herbáceos / pastos enmalezados / pastos limpios	1-50 ton/ha	2	Moderada

Arbustal abierto y herbazal con arbustos y/o arbolado	50 a 100 ton/ha	3	Alta
Arbustos	50 a 100 ton/ha	3	Alta
Sin información (zonas en las que no se tiene información por presencia de nubes o sombras)	Sin información	6	Sin información

Nota: IDEAM 2011

Paso 4. Generación del mapa de humedad de la vegetación:

Se utiliza el mapa de cobertura vegetal o de ecosistemas y la información sobre el contenido de humedad (FMC) de los diferentes tipos de combustibles o ecosistemas, expresado en porcentaje. Con esta información, se realiza una reclasificación de las coberturas vegetales, asignando una calificación según el contenido de humedad de cada tipo de vegetación.

Paso 5. Generación del mapa de susceptibilidad de la vegetación a incendios:

Una vez generados los mapas de tipo, duración, carga de combustibles y humedad, se combinan mediante un proceso de álgebra de mapas. El resultado se agrupa en 5 niveles de calificación, utilizando una distribución de frecuencias. Cada grupo recibe una calificación de 0 a 5, donde 0 significa "sin riesgo" y 5 "muy alto riesgo". Estas calificaciones se corresponden con las categorías de susceptibilidad a incendios.), mediante la siguiente ecuación:

$$\text{SUSC} = \text{CAL}(\text{tc}) + \text{CAL}(\text{dc}) + \text{CAL}(\text{ct}) + \text{CAL}(\text{hc}) \text{ Donde:}$$

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

CAL(hc): Calificación de la humedad del combustible

6.2.4.2 Factores climáticos: El clima es un factor clave en la generación y propagación de incendios forestales, ya que influye en la duración y severidad de las estaciones secas y calurosas, lo que afecta la humedad y la cantidad de combustible disponible para el fuego. La humedad de los tejidos vegetales, que depende de la precipitación, la humedad del suelo y la temperatura determina la resistencia de la vegetación al fuego. Debido a esta influencia del clima en la susceptibilidad de la vegetación, es crucial evaluar las condiciones climáticas, considerando las precipitaciones y temperaturas típicas del país, para determinar la amenaza de incendios.

Paso 1. Incorporación de variables climáticas como factores fundamentales de la amenaza

Para elaborar los mapas de las variables climáticas, como precipitación, temperatura, vientos y radiación solar, que caracterizan los ecosistemas colombianos (IDEAM, 2007), se sigue un proceso comparable al utilizado para la calificación de la susceptibilidad.

Tabla 8

Calificación de la precipitación media anual

Precipitación media anual (mm)	Calificación	Categoría de amenaza
>7000	1	Muy baja

3000 – 7000	2	Baja
2000 – 3000	3	Moderada
1000 – 2000	4	Alta
0 – 1000	5	Muy alta

Nota: IDEAM 2011

Tabla 9

Calificación de la temperatura media anual

Temperatura media anual (°C)	Calificación	Categoría de amenaza
<6°	1	Muy baja
6° – 12°	2	Baja
12° – 18°	3	Moderada
18° – 24°	4	Alta
>24°	5	Muy alta

Nota: IDEAM 2011

Tabla 10

Calificación de la radiación media anual

Radiación media anual (KWh/m ² /año)	Calificación	Categorización de amenaza
<3,0	1	Muy baja
3,0 – 4,0	2	Baja
4,0 – 5,0	3	Moderada
5,0 – 6,0	4	Alta
>6,0	5	Muy alta

Nota: IDEAM 2011

Tabla 11

Calificación Velocidad media multianual del viento

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

Nota: IDEAM 2011

6.2.4.3 Factor de relieve: Para crear el mapa de pendientes, se utiliza el mapa de curvas de nivel, del cual se genera un modelo digital del terreno. A partir de este modelo, se obtiene el mapa de pendientes, que luego se clasifica según los grados de pendiente. A cada grado se le asigna un valor de clasificación en porcentaje de pendiente, siguiendo la normativa del IGAC. Finalmente, se califican los rangos establecidos y se categoriza la amenaza en función de este factor.

Paso 1. Incorporación de información de pendientes en la evaluación de la amenaza

El mapa de pendientes en grados se convierte en una clasificación por porcentaje de pendiente, a la cual se le asigna una calificación y categorización según un cuadro específico, con el fin de obtener el mapa de amenaza por pendientes.

Tabla 12

Calificación de la pendiente

Grados de pendiente	Clasificación Pendiente (%)	Calificación pendiente	Categoría amenaza
0 – 3,15	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
--------	-----	---	----------

Nota: IDEAM 2011

6.2.4.4 Factor histórico: Utilizando la información estadística histórica sobre incendios a nivel regional y/o municipal, el siguiente paso consiste en calcular los índices de frecuencia y causalidad de estos eventos.

Paso 1. Incorporación de información de carácter histórico sobre los incendios de cobertura vegetal en la evaluación de la amenaza

El análisis de la frecuencia y causalidad se lleva a cabo mediante la aplicación de las ecuaciones que se presentan a continuación.

$$F_i = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^a n_i$$

$$C_i = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^a \frac{Cnic}{n_i}$$

Figura 2. Ecuación análisis de la frecuencia y causalidad, fuente: IDEAM 2011

Donde

Fi : Frecuencia de incendio

a: Número de años

ni :Número de incendios de cada año

Ci : Índice de causalidad

C :Causa específica de cada incendio

nic: Número de incendios por cada causa por cada año

Una vez calculados los índices de frecuencia de incendios (Fi) y causalidad de incendios (Ci), se procede a normalizar los datos y asignarles la calificación y categorización con el fin de generar el mapa de frecuencia-causalidad. El objetivo es realizar un análisis integral mediante categorías, lo que proporciona una visión global y no fragmentada del territorio. Por esta razón, se propone un mecanismo de integración basado en la asignación de un valor de ponderación a cada causa de incendio, según su impacto en la frecuencia de los incendios.

Para determinar la amenaza por frecuencia, una vez obtenida y espacializada la información de los incendios ocurridos en períodos de 10 años, se realiza un análisis de los datos y luego se clasifica y califica el factor de frecuencia según lo que se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 13

Calificación factor de frecuencia y amenaza total

Clasificación (Incendios por periodo de 10 años)	Calificación amenaza total	Categoría amenaza total
En esta columna se introducen los valores de los rangos establecidos a partir de la distribución de frecuencias de los valores obtenidos a partir del cálculo del índice de frecuencia de incendios.	1	Muy baja
	2	Baja
	3	Moderada
	4	Alta
	5	Muy alta

fuentes: IDEAM 2011

6.2.4.5 Accesibilidad: La accesibilidad se considera un factor dentro de la amenaza de incendios en la cobertura vegetal, ya que influye directamente en la probabilidad de que la población pueda llegar a áreas con vegetación susceptible a incendios y provocar focos.

Este factor puede evaluarse desde dos enfoques: el primero, relacionado con la densidad vial, que se refiere a los kilómetros de vías por unidad de superficie en un área específica, y el segundo, basado en la proximidad de las vías a coberturas vegetales que podrían ser incendiadas.

Paso 1. Análisis y evaluación de la accesibilidad por cercanía a las vías

Para evaluar la cercanía a las vías, se debe trabajar a partir del mapa vial (que incluye vías principales y secundarias) y generar cuatro buffers, cada uno de 500 m de ancho a ambos lados de las vías. Una vez creados estos buffers, se procede a su calificación (con valores entre 1 y 5), considerando la facilidad de acceso a las diferentes coberturas, basándose en la distancia de estas a las vías.

Tabla 14

Calificación accesibilidad por cercanía a las vías y su categoría de amenaza

DISTANCIA A LA VÍA (ANCHO DEL BUFFER EN m)	CALIFICACIÓN	CATEGORÍA DE AMENAZA
0 – 500	5	Muy alta
500 – 1000	4	Alta
1000 – 1500	3	Moderada
1500 – 2000	2	Baja
>2000	1	Muy baja

Nota: IDEAM 2011

Paso 2. Análisis y evaluación de la accesibilidad por densidad vial Para el análisis por densidad vial, se debe realizar a partir del mapa vial (vías principales y secundarias) un mapa de densidad vial, el cual se reclasifica según la siguiente tabla:

Tabla 15

Densidad vial y su categorización de amenaza

DENSIDAD VIAL EN (Km/unidad de área)	Rangos de densidad vial (km/unidad de área)	CALIFICACIÓN	CATEGORÍA DE AMENAZA
<½ del promedio vial de la corporación	En esta columna van los rangos establecidos para la clasificación de densidad vial. La densidad vial de acuerdo con los valores de densidad planteados en la primera columna.	1	Muy baja
½ del promedio vial de la corporación		2	Baja
Promedio vial de la corporación		3	Moderada
Del promedio al doble del promedio vial de la corporación		4	Alta
>al doble del promedio de la corporación		5	Muy alta

Nota: IDEAM 2011

Para el proyecto piloto que se presenta como ejemplo en este protocolo, se utiliza la distancia entre las coberturas vegetales y las vías como el factor principal para analizar la accesibilidad.

6.2.4.6 Obtención del mapa de amenaza total a incendios de la cobertura vegetal:

Paso 1. Generación del mapa de amenaza a incendios de la cobertura vegetal

Con la información obtenida durante los pasos 1 al 8, y a través de procesos de álgebra de mapas, se realiza una suma ponderada que representa la amenaza total de incendios en la cobertura vegetal. En el estudio de caso descrito en este protocolo, no se utilizaron los factores de radiación solar y viento, debido a la falta de datos disponibles, por lo que no se incluyen en la fórmula y sus valores se restan del total ponderado.

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

Una vez realizada la suma ponderada, que en este caso es de 0,84 debido a la exclusión de los componentes de viento y radiación solar, se procede a realizar una distribución de frecuencias en 5 rangos. Esto permite categorizar el grado de amenaza, desde "muy baja" (rango menor) hasta "muy alta" (rango mayor), incluyendo las categorías intermedias de "baja", "moderada" y "alta".

Tabla 16

Ponderación, calificación y categoría de amenaza total

Ponderación amenaza total	Calificación amenaza total	Categoría amenaza total
--------------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------

Distribución de frecuencias de la suma ponderada en 5 rangos de frecuencia.	1	Muy baja
	2	Baja
	3	Moderada
	4	Alta
	5	Muy alta

Nota: IDEAM 2011

6.2.5 Evaluación de la vulnerabilidad

Las consecuencias de los incendios requieren un análisis cuantitativo en función de los elementos vulnerables expuestos (personas, bienes y medio ambiente). En este caso, se evalúan ciertos factores a proteger, tales como vida humana, infraestructura, vegetación, valor económico y el patrimonio histórico. Dando, así como resultado las posibles pérdidas o daños que puedan sufrir todos los factores mencionados.

6.2.5.1 Evaluación y definición de la vulnerabilidad: Para la evaluación correcta de la vulnerabilidad se necesita información cartográfica específica, tales como los son mapas poblacionales, territoriales, físicos, ecológicos, infraestructurales, patrimoniales, económicos e institucionales. En este caso es necesario desglosar la definición de cada uno de estos factores a intervenir para esclarecer de forma más precisa el resultado del mapa final.

- Vulnerabilidad poblacional: Esta se refiere a la ocupación de población en un área, esta nos ayudará a determinar si hay mayor o menor grado de vulnerabilidad en un territorio determinado. Esta se determina con ayuda de tres indicadores como lo son la ocupación, dispersión y colindancia.
- Vulnerabilidad territorial: En este caso hablamos del nivel de alteración del suelo

determinado por factores antrópicos o naturales. En este caso se siguen dos indicadores, los cuales son componente físico y componente ecológico.

- Vulnerabilidad Física: Este componente habla netamente de los conflictos del uso del suelo, en este caso se habla de algo independiente de cada territorio evaluado, sea municipal, regional y departamental. Para este análisis es importante acudir a información específica en este caso del municipio de Girardot, puesto que son conocedores de las dinámicas y problemáticas del uso del suelo.
- Vulnerabilidad Ecológica: Esta será evaluada como la adaptación del ecosistema al fuego, en este caso hablamos de los regímenes del fuego, lo que indica cual es el papel del fuego en la renovación, desarrollo y conservación de un ecosistema. Para la realización del mapa es necesario utilizar lo expuesto en el mapa de ecosistemas y clasificación de la influencia del fuego en los ecosistemas, consignada en el libro de Bernal Toro, et all, 2011, en el anexo 1, donde se muestra la clasificación de los ecosistemas de acuerdo con las 5 categorías.

No influidos por el fuego

Independientes del fuego

Sensibles al fuego

Influidos por el fuego

Dependientes del fuego

- Vulnerabilidad de la infraestructura: Este componente habla sobre la vulnerabilidad de la infraestructura, la cual se define como vías, aeropuertos, edificaciones, líneas eléctricas, entre otras que ofrecen algún bien o servicio a la población.

- Vulnerabilidad patrimonial: Se evalúa la fragilidad de las áreas de importancia patrimonial naturales e histórico-culturales ante la ocurrencia de un evento.
- Vulnerabilidad económica: Se refiere a la posible afectación de las áreas de producción de bienes y servicios por la incidencia de los incendios.
- Vulnerabilidad institucional: Esta analiza las debilidades de las instituciones (bomberos, defensa civil, cruz roja, etc.) a la respuesta a emergencias futuras. Para esta categorización se consideran los tiempos de desplazamiento a las áreas más propensas a presentar una emergencia.
- Procesamiento: Para realizar el procesamiento de datos se realizará el mismo análisis y evaluación expresado en el análisis de amenazas, se realizarán las reclasificaciones, normalizaciones de variables y clasificaciones a partir de la información cartográfica temática.
- Generación del mapa de vulnerabilidad poblacional: El indicador para la generación de este mapa es el de ocupación o grado de presencia de la población. Este se evaluará con la densidad poblacional urbana y rural tomada en el último censo nacional generado por el DANE.

Tabla 17

Censo Poblacional 2018 Municipio De Girardot

SECTOR	POBLACIÓN CENSO 2018
Municipio general	92.903

Nota: DANE 2018

Para el cálculo se debe partir del promedio de la población del municipio, calculando por separado rural y urbano, el cual es dividido por el área en km². Obteniendo el promedio poblacional para medir la densidad por unidad administrativa estableciendo el número de habitantes por km². Teniendo los rangos de densidad poblacional se procede a realizar un análisis de colindancia, el cual permitirá identificar las áreas urbanizadas que limitan con zonas de diferentes niveles de susceptibilidad a los incendios. Para el análisis de colindancia y proximidad es necesario utilizar las capas de centros poblados, áreas urbanizadas y/o viviendas aisladas, junto con el mapa de susceptibilidad vegetal.

Tabla 18

Rangos de densidad poblacional y su categorización de vulnerabilidad

Rangos de densidad poblacional	Rangos de población	Calificación	Categoría vulnerabilidad
Sin población	En esta columna van los rangos establecidos para la clasificación de la densidad poblacional de acuerdo con los valores de densidad planteados en la primera columna.	0	Sin riesgo
< 1/2 del promedio de la corporación		1	Muy baja
De ½ al promedio de la corporación		2	Baja
Promedio de la corporación		3	Moderada

Promedio de la corporación al doble de este		4	Alta
Al doble del promedio de la corporación		5	Muy alta

Nota: IDEAM 2011

Tabla 19

Colindancia y categoría de vulnerabilidad

Colindancia	Calificación	Categoría de vulnerabilidad
0 – 500	5	Muy alta
500 – 1000	4	Alta
1000 – 1500	3	Moderada
1500 – 2000	2	Baja
>2000	1	Muy Baja

Nota: IDEAM 2011

Generación del mapa de vulnerabilidad territorial: Para este mapa es necesario utilizar los siguientes componentes:

1. Vulnerabilidad física: Se evaluó este componente a partir de los conflictos del uso del suelo, teniendo en cuenta que este es un factor que puede potencializar la amenaza a un incendio.

Tabla 20

Clasificación conflicto de uso y categoría de vulnerabilidad

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

Nota: IDEAM 2011

2. Vulnerabilidad ecológica: Depende de los regímenes del suelo, como papel adaptativo de los diferentes tipos de cobertura vegetal.

Tabla 21

Influencia del fuego en los ecosistemas y su categoría de vulnerabilidad

Influencia del fuego en los ecosistemas	Calificación influencia del fuego	Categoría vulnerabilidad
No influidos por el fuego/no combustibles	0	Sin riesgo
Dependientes del fuego	1	Baja
Influidos por el fuego	2	Moderada
Sensibles al fuego	3	Alta
Independientes del fuego	4	Muy alta

Nota: IDEAM 2011

Tabla 22

Tipo de cobertura, categoría y calificación de la vulnerabilidad ecológica y territorial

TIPO DE COBERTURA (CORINE LAND COVER NIVEL 3)	VULNERABILIDAD ECOLÓGICA Y TERRITORIAL (CATEGORÍA)	VULNERABILIDAD ECOLÓGICA Y TERRITORIAL (CALIFICACIÓN)
2.3.1. Pastos limpios	MODERADA	3
2.3.3. Pastos enmalezados	MUY ALTA	5
2.4.1. Mosaico de cultivos	MODERADA	3
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	MODERADA	3
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	ALTA	4
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	ALTA	4
3.1.4. Bosque de galería y ripario	MUY ALTA	5
3.2.1. Herbazal	MUY ALTA	5
3.2.2. Arbustal	MUY ALTA	5

Nota: IDEAM 2011

Tabla 23

Rangos de ponderación factores territoriales y su categoría de vulnerabilidad

Rangos ponderación factores territoriales	Calificación factores territoriales	Categoría vulnerabilidad
--	--	---------------------------------

Distribución de frecuencias de la suma ponderada en 5 rangos de frecuencia.	1	Muy baja
	2	Baja
	3	Moderada
	4	Alta
	5	Muy alta

Nota: IDEAM 2011

Generación del mapa de vulnerabilidad de la infraestructura: Este proceso sirve para identificar las zonas donde un incendio forestal podría causar más daños a edificios, infraestructuras y servicios. Se analizan factores como la cercanía a vías, aeropuertos, líneas eléctricas y áreas recreativas para evaluar el riesgo. Para crear este mapa, se utiliza la misma metodología empleada en el mapa de amenazas por accesibilidad, pero esta vez se aplica a los datos cartográficos de infraestructuras de la zona.

Tabla 24

Distancia y calificación de infraestructura y su categoría de vulnerabilidad

Distancia infraestructura	Calificación infraestructura	Categoría vulnerabilidad
0 – 500	5	Muy alta
500 – 1000	4	Alta
1000 – 1500	3	Moderada
1500 – 2000	2	Baja
>2000	1	Muy baja

Nota: IDEAM 2011

Generación del mapa de vulnerabilidad patrimonial: Para este se necesita contar con mapas de áreas protegidas, mapas de cuencas abastecedoras, mapas de manejo especial (resguardos indígenas). La vulnerabilidad ante incendios de cobertura vegetal debe evaluarse considerando tanto los aspectos naturales (agua, flora, fauna) como los culturales (patrimonio histórico, artístico) de una región.

Tabla 25

Clasificación del valor patrimonial y categoría de vulnerabilidad

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

Nota: IDEAM 2011

Generación del mapa de vulnerabilidad económica: Para crear este mapa, se utilizará la información existente sobre el uso del suelo y se clasificará de acuerdo con su importancia en la producción (agrícola, ganadera, forestal, minera, etc.). Luego, se identificarán las áreas más vulnerables a los incendios forestales. (tabla 22).

Tabla 26

Clasificación económica del territorio y su categorización de vulnerabilidad

Clasificación económica del territorio	Calificación	Categorización Vulnerabilidad
Zonas agrícolas y ganaderas	5	Muy alta
Zonas forestales y de cultivos arbóreos	4	Alta

Zonas urbanas, zonas mineras, industriales y comerciales	3	Moderada
Zonas naturales y de conservación	2	Baja
Cuerpos de agua	1	Muy baja

Nota: IDEAM 2011

Generación del mapa de vulnerabilidad institucional: Para evaluar la vulnerabilidad institucional, analizaremos la capacidad de los gobiernos para realizar labores de rehabilitación y restauración tras un incendio, teniendo en cuenta la asignación presupuestaria. Así mismo, se generarán mapas que muestran la cobertura de los servicios de emergencia y se calcularán los tiempos de respuesta a las zonas de mayor peligro.

Tabla 27

Clasificación institucional y su categoría de vulnerabilidad

Clasificación institucional	Calificación	Categoría de vulnerabilidad
Distribución de frecuencias de la suma ponderada en 5 rangos de frecuencia.	5	Muy alta
	4	Alta
	3	Moderada
	2	Baja
	1	Muy baja

Nota: IDEAM 2011

Generación del mapa de vulnerabilidad total a incendios forestales: Mediante técnicas de lógica difusa, se estandarizan los valores de las diferentes variables para hacerlos comparables.

Esto implica asignar una calificación de 1 a 5 a cada variable, según su nivel de vulnerabilidad.

Posteriormente, se combinan estos valores para obtener el mapa de vulnerabilidad total.

Variable normalizada= $(x - \text{Min}) / (\text{Max} - \text{Min})$ Donde:

X: Valor de la variable

Min: Mínimo valor de la variable dentro del rango contenido en el mapa

Max: Máximo valor de la variable dentro del rango contenido en el mapa

Al analizar la vulnerabilidad de manera integral, se busca entender cómo diferentes factores contribuyen al riesgo total. Para ello, se asigna un valor de ponderación a cada factor, que representa su importancia relativa. Estos valores se calculan utilizando métodos matemáticos para garantizar su consistencia y objetividad.

Tabla 28

Ponderación, calificación y categoría de la vulnerabilidad total

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

Nota: IDEAM 2011

5. Evaluación de riesgo: El riesgo es el resultado de la combinación de amenazas y vulnerabilidades. Para comprenderlo mejor, debemos representarlo visualmente en mapas, a través de modelos que nos permitan identificar las áreas más expuestas. Para esta evaluación es pertinente expresar el riesgo en el territorio a través de las modelizaciones y la cartografía pertinente. (mapa de amenaza, vulnerabilidad total e individual).

5.1 Procesamiento: A través de la cartografía de riesgos, podemos identificar las zonas más propensas a sufrir daños y los tipos de eventos que podrían ocurrir. Esta información es esencial para la gestión urbana y la reducción de riesgos.

$$\text{Riesgo} = f(\text{Peligrosidad}, \text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad})$$

La evaluación de riesgo se llevará a cabo mediante los siguientes escenarios y zonificación del territorio: riesgo territorial, poblacional, patrimonial, económico, institucional, infraestructura, físico, ecológico.

La zonificación del riesgo nos indica qué tan peligrosas son las diferentes áreas de la región, combinando la probabilidad de que ocurra un desastre (amenaza) y la susceptibilidad de sufrir daños (vulnerabilidad).

Adicional al análisis de los factores, es necesario recopilar información preliminar de diferentes fuentes confiables como lo son los geoportales (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Parques Nacionales Naturales, Gobernación de Cundinamarca) de donde se obtienen datos geográficos especializados (ráster o vectorial), los cuales se podrán comparar o cotejar con imágenes satelitales (sentinel 2) obtenidas de mediante la tecnología Corine Land Cover; esto dando como resultado un posible conocimiento completo sobre las condiciones que influyen en la propagación de los incendios. Recolectados los datos, se analizarán y procesarán según el

protocolo del IDEAM, para identificar correctamente las coberturas con mayor riesgo a sufrir incendios.

Tabla 29

Ponderación, calificación y categoría del escenario de riesgo

Ponderación escenario de riesgo	Calificación escenario de riesgo	Categoría escenario de riesgo
Distribución de frecuencias de la suma ponderada en 5 rangos de frecuencia.	1	Muy baja
	2	Baja
	3	Moderada
	4	Alta
	5	Muy alta

Nota: IDEAM 2011

Tabla 30

Ponderación, calificación y categoría de la zonificación del RICV

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

	5	Muy alta
--	---	----------

Nota: IDEAM 2011

Superponiendo los escenarios de riesgo con las áreas de interés nacional, regional y local, podemos determinar las zonas donde la prevención y control de incendios de cobertura vegetal deben ser una prioridad.

Áreas pobladas (asentamientos)

Áreas de alta importancia productiva (agricultura, ganadería, forestal y de energía)

Áreas de alto valor ecológico y paisajístico (ecosistemas estratégicos, áreas del Sistema de Parques Nacionales, Reservas Regionales y locales, Reservas de la biosfera)

Áreas de alto valor histórico cultural (Parques arqueológicos, monumentos, sitios de importancia religiosa, áreas de patrimonio cultural e histórico de la humanidad)

Áreas con presencia de infraestructura estratégica (redes eléctricas, comunicación, aeropuertos, asentamientos humanos, etc.

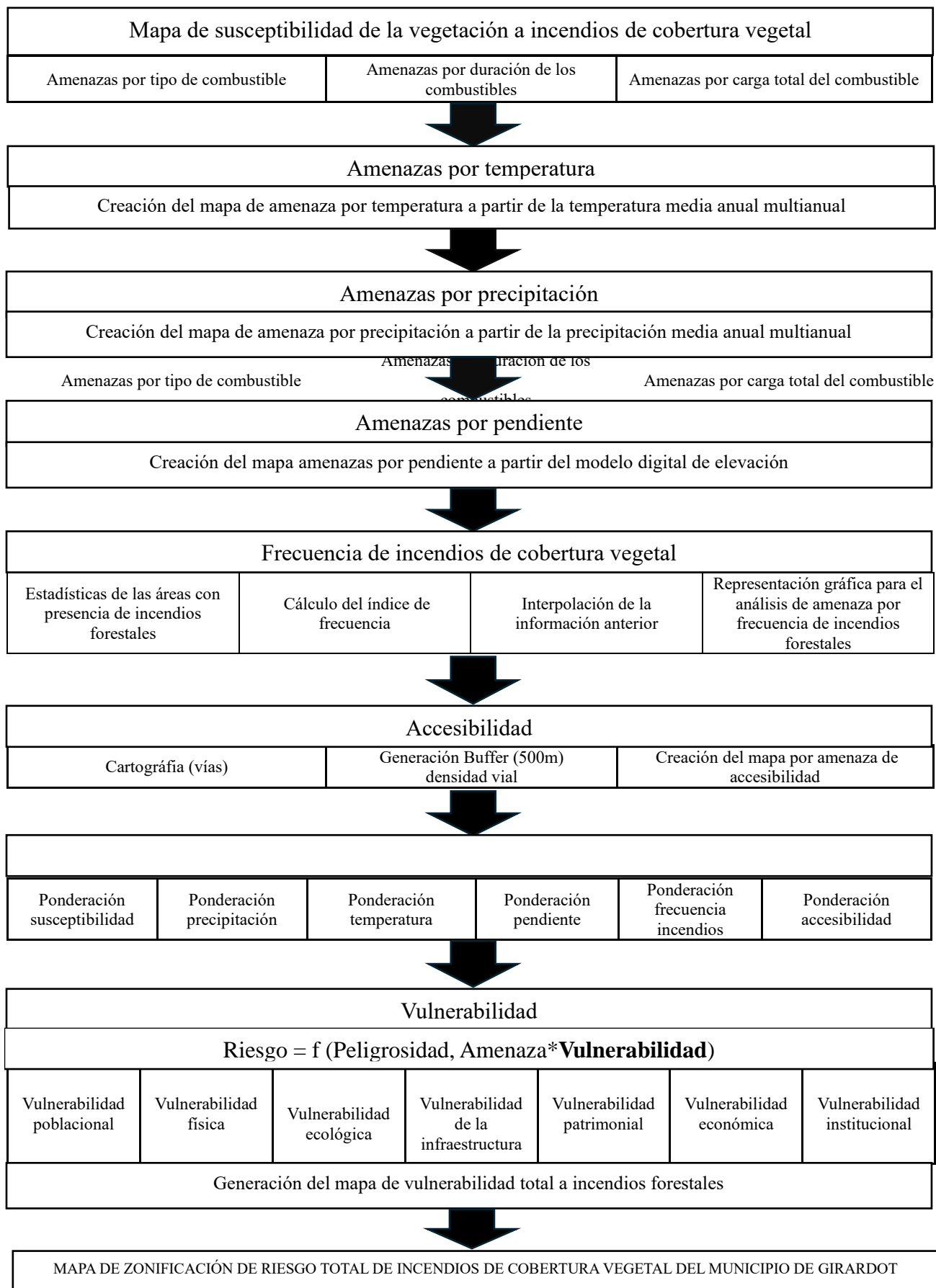


Figura 3

Diagrama del procedimiento para determinar el nivel de riesgo total para incendios de cobertura vegetal

Nota: Modificado por autor de (IDEAM, 2011)

7. Resultados

7.1 Mapa de cobertura vegetal

Según la metodología del IDEAM 2011, se realizó el mapa de cobertura vegetal del municipio de Girardot utilizando el nivel 3 especificado, tomando como base para la recolección de datos las diferentes fuentes de información geográfica nacional. La evaluación del riesgo se realiza a partir de la zonificación y clasificación de la cobertura vegetal y su susceptibilidad a los incendios forestales.

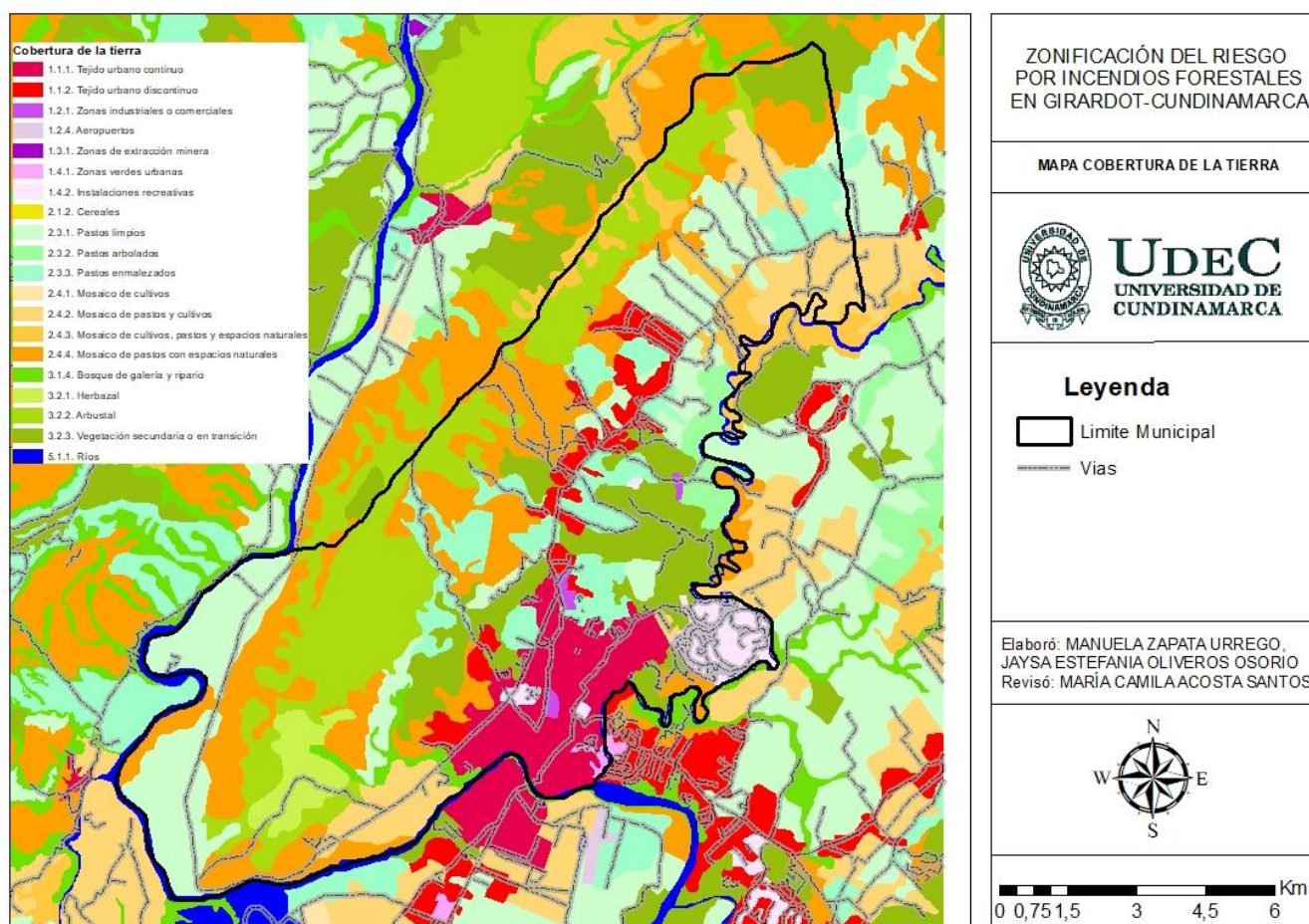


Figura 4

Mapa de cobertura vegetal del municipio de Girardot.

Nota: Elaboración propia

7.2 Mapa de susceptibilidad

La susceptibilidad media a incendios de cobertura vegetal en Girardot está determinada por la interacción entre los factores climáticos y la disponibilidad de material combustible. La clasificación de carga, tipo y duración del combustible evidencia que la mayor parte del territorio municipal cuenta con vegetación propensa a la propagación del fuego, especialmente en áreas rurales donde la cobertura vegetal es predominante.

El mapa de susceptibilidad indica que las zonas de menor riesgo se concentran en la parte urbanizada del municipio (casco urbano) y a lo largo de las principales vías nacionales. Sin embargo, las áreas rurales, que constituyen la mayor parte del territorio, presentan un riesgo considerable debido a la acumulación de material vegetal seco, la alta radiación y las temperaturas elevadas.

A pesar de la baja amenaza por viento, que podría limitar la propagación del fuego, la interacción de otros factores como la baja precipitación y las altas temperaturas intensifica la vulnerabilidad del municipio. La disponibilidad de material combustible en grandes extensiones de terreno rural refuerza la necesidad de estrategias de prevención, monitoreo y control, con el fin de mitigar el riesgo de incendios de cobertura vegetal y minimizar su impacto en la comunidad y el ecosistema local.

Tabla 31

Categorización del grado de susceptibilidad del municipio de Girardot

Grado de susceptibilidad	Ha	%
--------------------------	----	---

Muy bajo	1803.85	13.88
Medio	11185.57	86.11
Total	12989,43	100

Nota: Elaboración propia

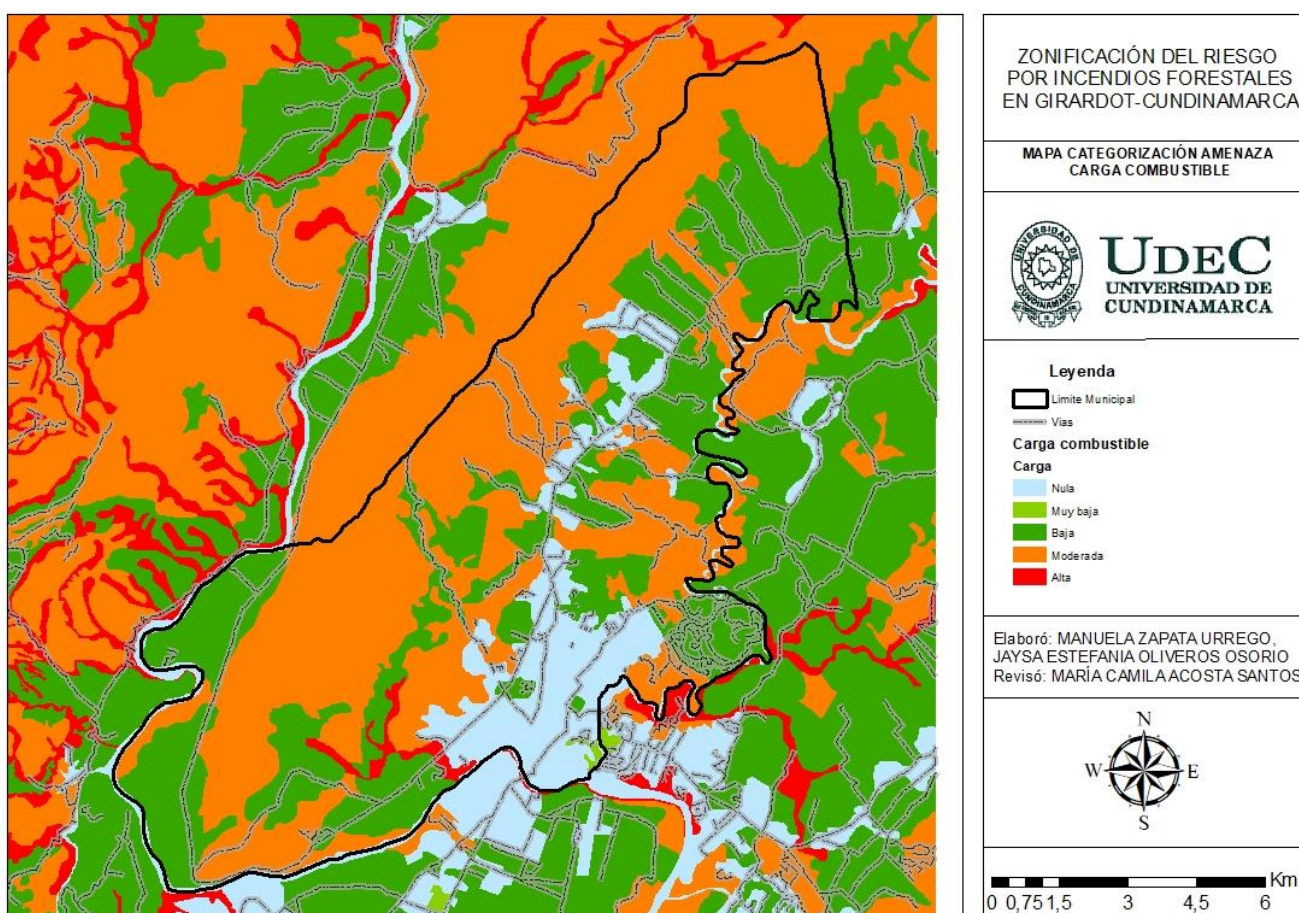


Figura 5

Mapa categorización de amenaza carga de combustible en el municipio de Girardot.

Nota: Elaboración propia

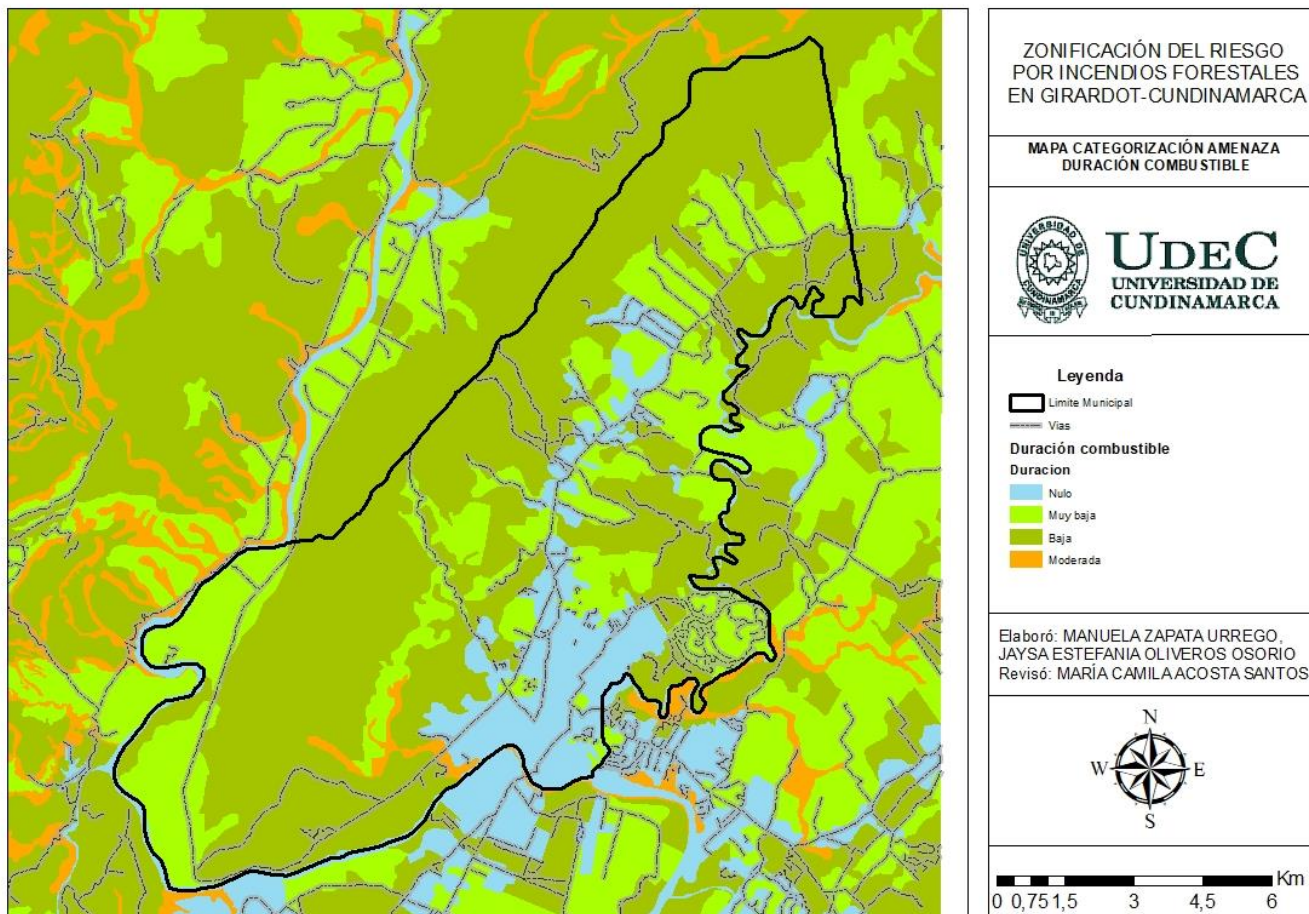


Figura 6

Mapa categorización de amenaza duración del combustible en el municipio de Girardot.

Nota: Elaboración propia

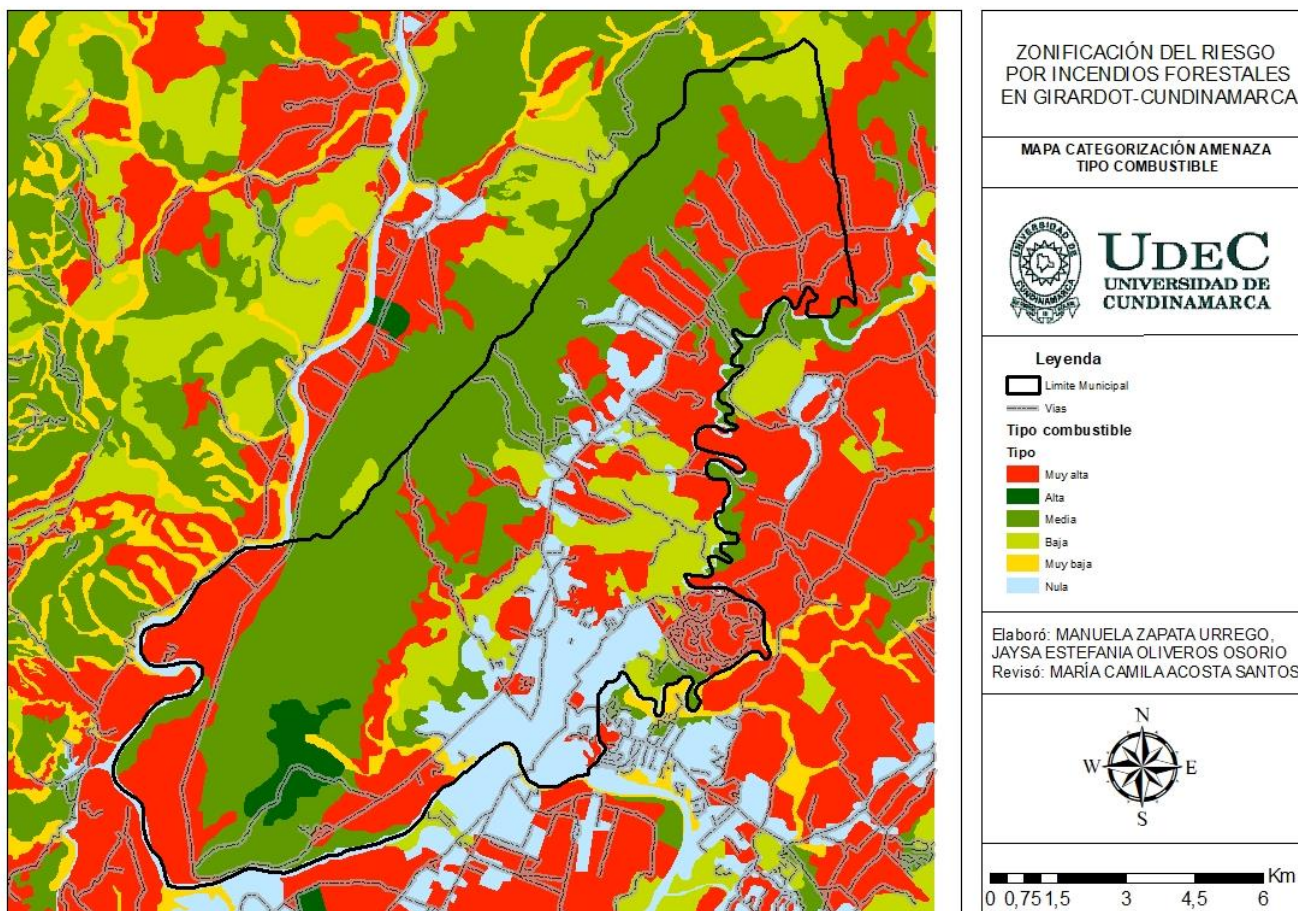


Figura 7

Mapa de categorización de amenaza tipo de combustible del municipio de Girardot.

Nota: Elaboración propia

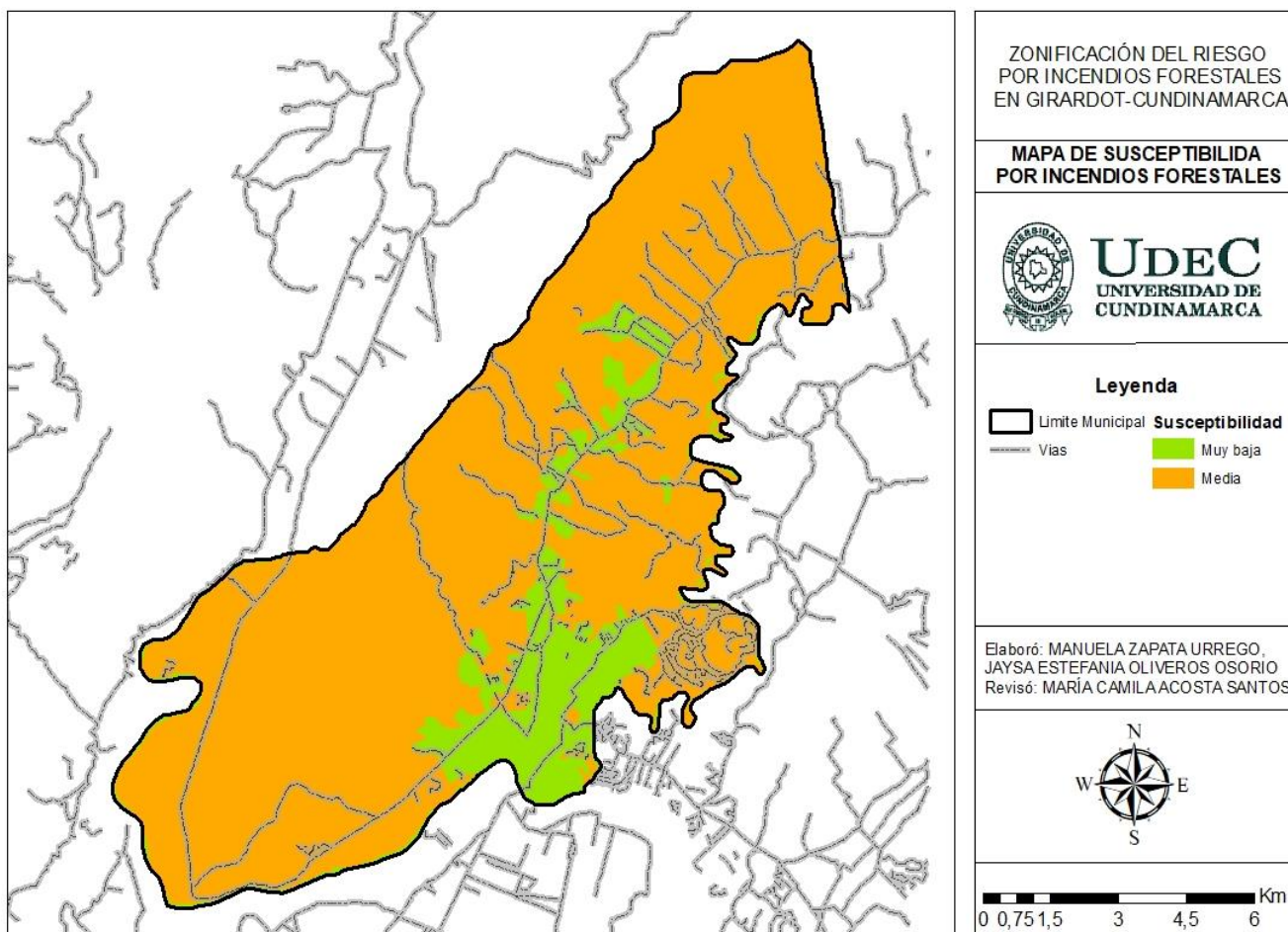


Figura 8

Mapa de susceptibilidad por incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot.

Nota: Elaboración propia

7.3 Mapa de factores climáticos

El municipio de Girardot presenta una serie de factores climáticos que influyen directamente en la amenaza de incendios forestales. La radiación en el territorio se encuentra en un rango moderado, cubriendo el 100% del área municipal. Aunque no es extrema, su efecto acumulativo favorece la pérdida de humedad y el calentamiento del suelo, lo que incrementa el riesgo de incendios, especialmente en la temporada seca (diciembre a marzo). Este riesgo se ve

amplificado por la actividad humana, como las quemas no controladas y la expansión urbana desordenada.

En cuanto a la precipitación, el municipio registra un rango anual de 1000 a 2000 mm. Aunque la lluvia podría parecer un factor mitigante, en realidad contribuye a la acumulación de material vegetal seco que actúa como combustible. La alternancia entre períodos de lluvia y sequía favorece la generación de grandes cantidades de biomasa inflamable, lo que aumenta significativamente la posibilidad de incendios forestales, especialmente en temporadas de baja humedad.

El viento, por su parte, se encuentra en una amenaza baja, con velocidades entre 2.0 y 3.0 m/s. Esto puede ser beneficioso en la contención del fuego, evitando su rápida propagación. Sin embargo, en zonas con relieve accidentado, incluso vientos de baja intensidad pueden generar efectos locales que favorezcan la expansión del fuego, dependiendo del tipo de vegetación y las condiciones del entorno.

Finalmente, la temperatura es uno de los factores más preocupantes, ya que el municipio presenta valores elevados. En la parte alta de la cordillera Alonzo Vera, las temperaturas oscilan entre los 18 y 24°C, mientras que en el resto del territorio superan los 24°C. Estas condiciones generan una mayor evaporación y reducción de la humedad en el suelo y la vegetación, creando un ambiente propicio para la ignición y propagación del fuego.

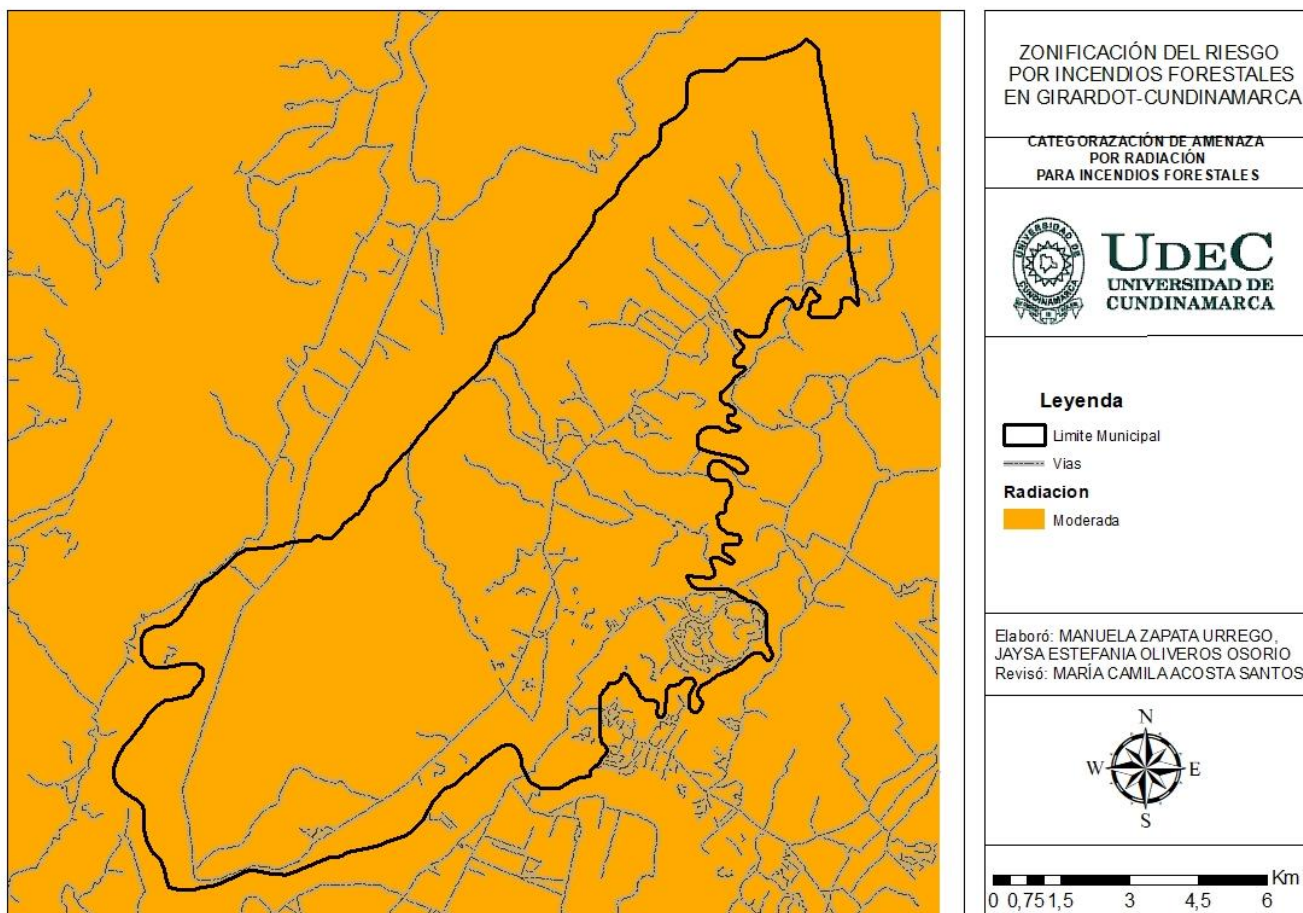


Figura 9

Mapa de categorización de amenaza por radiación para incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot.

Nota: Elaboración propia

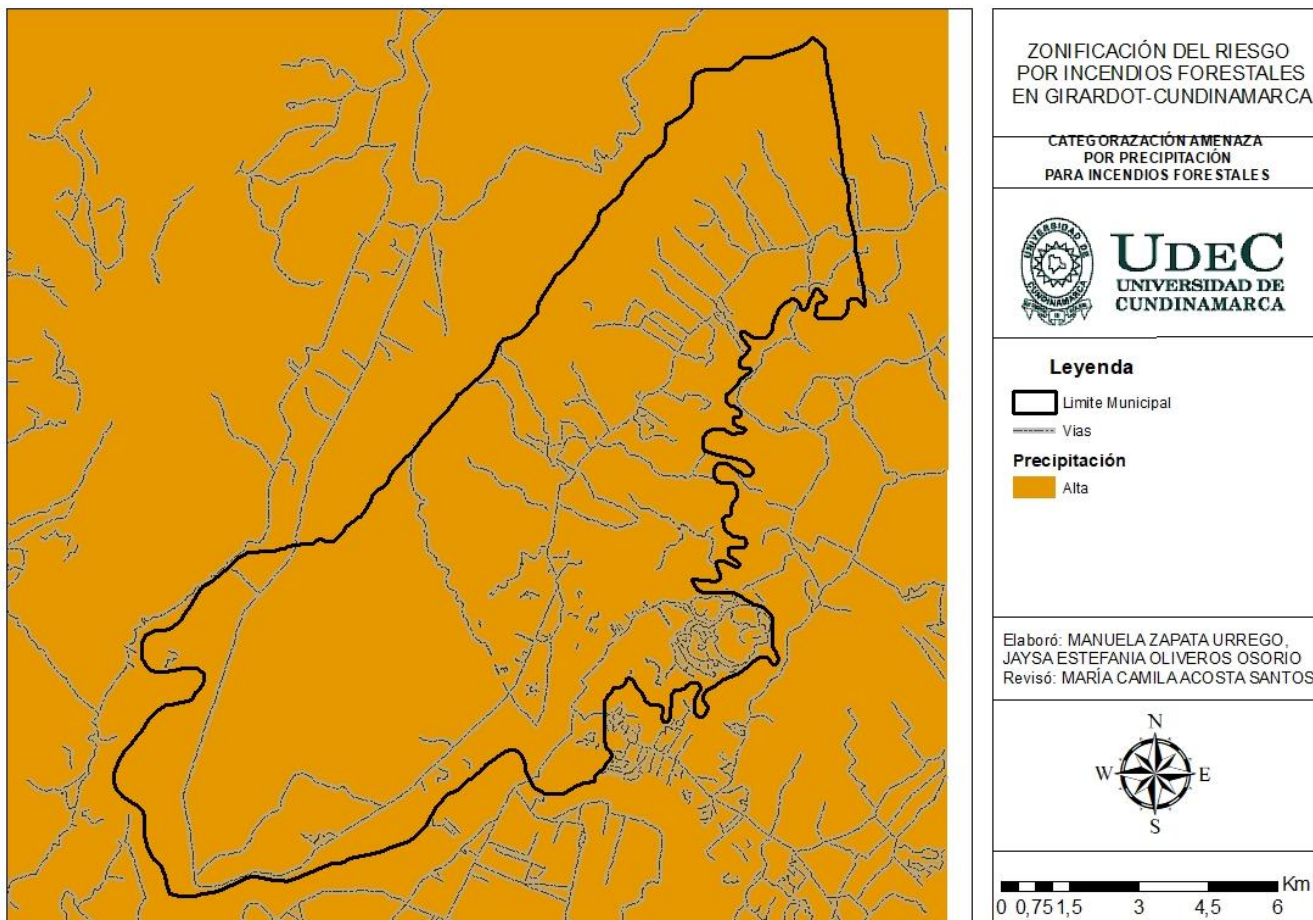


Figura 10

Mapa de categorización de amenaza por precipitación para incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot.

Nota: Elaboración propia

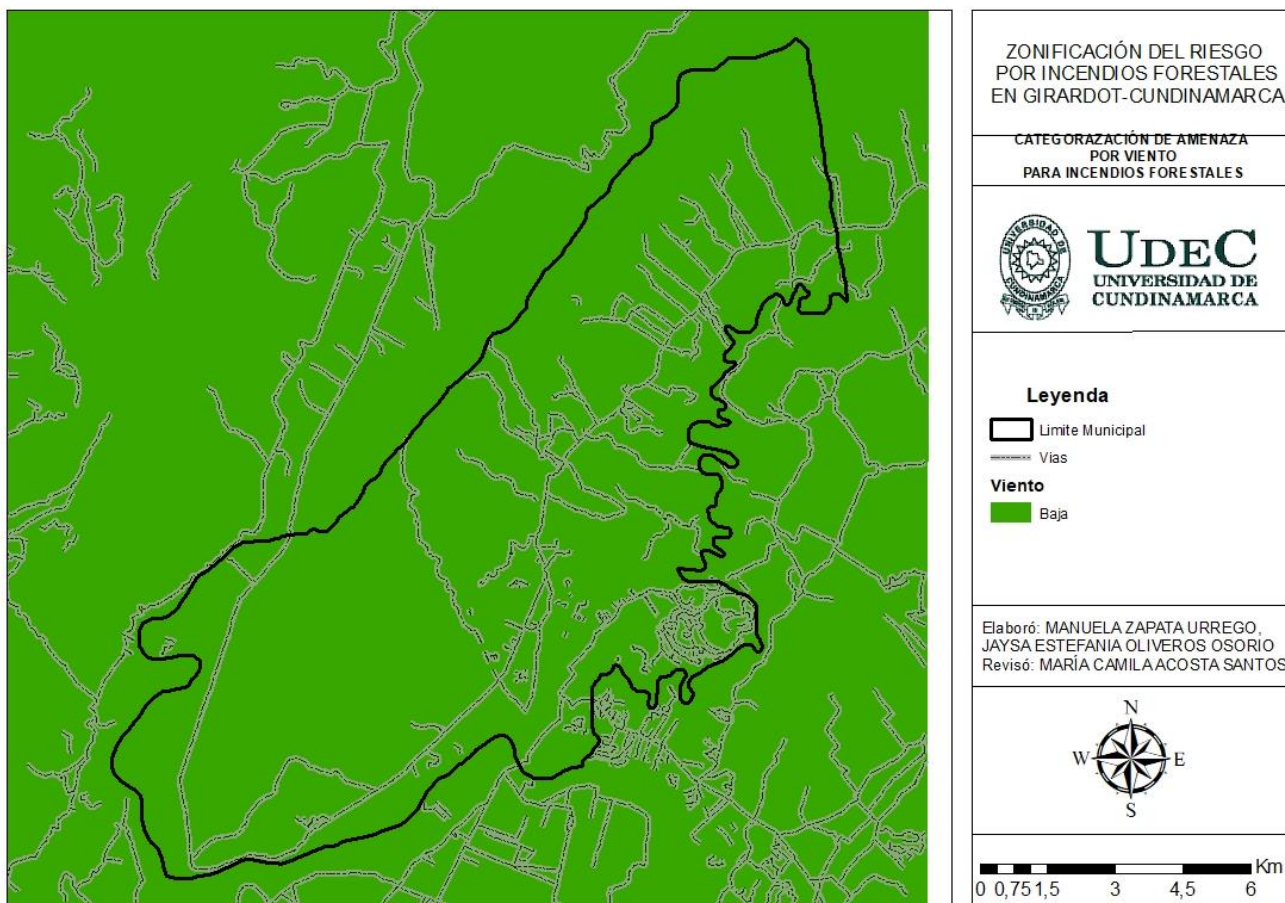


Figura 11

Mapa de categorización de amenaza por viento para incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot.

Nota: Elaboración propia

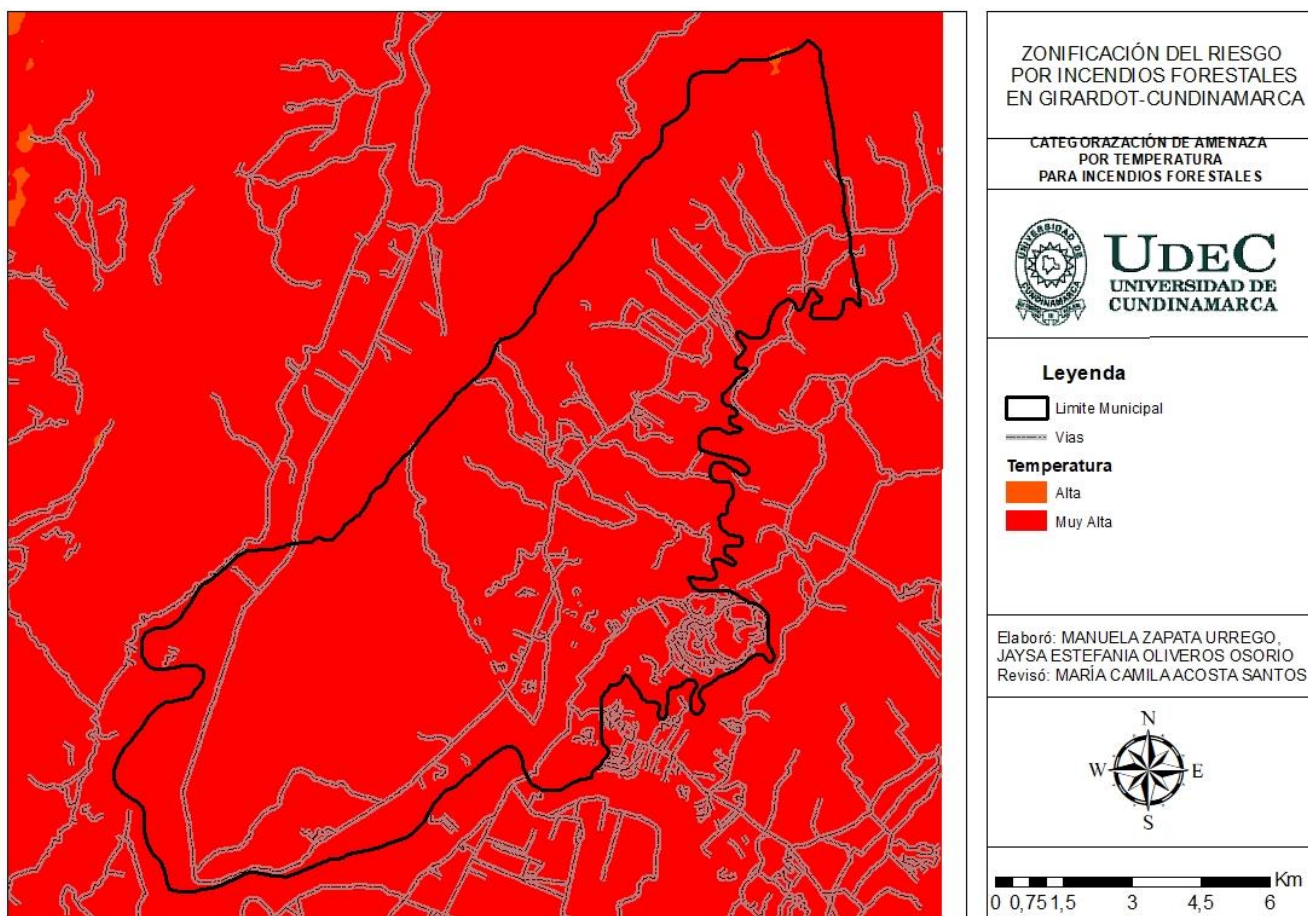


Figura 12

Mapa de categorización de amenaza por temperatura para incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot.

Nota: Elaboración propia

7.4 Antecedentes de incendios

Estos hallazgos resaltan la importancia de contar con un registro detallado y actualizado de los eventos históricos de incendios en Girardot, ya que la ausencia de una base de datos oficial impide una planificación efectiva de estrategias de prevención y respuesta. El uso de información proveniente de fuentes externas como la NASA, complementado con entrevistas a entidades

gubernamentales, permitió identificar patrones y causas de los incendios, evidenciando que gran parte de ellos son provocados para la habilitación de terrenos con fines de construcción ilegal en zonas de invasión.

La zona con la categoría más alta de eventos históricos (rojo) se encuentra en el suroeste del municipio, en la parte baja de la cordillera Alonso Vera sobre la vía Nariño, lo que indica que esta área ha sido recurrentemente afectada por incendios. La segunda área con mayor incidencia de incendios (naranja) coincide con terrenos clasificados en el POT como zona de expansión urbana en la vía Girardot-Tocaima, lo que sugiere una correlación entre el crecimiento desordenado de la ciudad y la recurrencia de estos eventos.

El mapa de accesibilidad brinda una mejor visión sobre la posible respuesta a eventos de los organismos de socorro midiendo en metros.

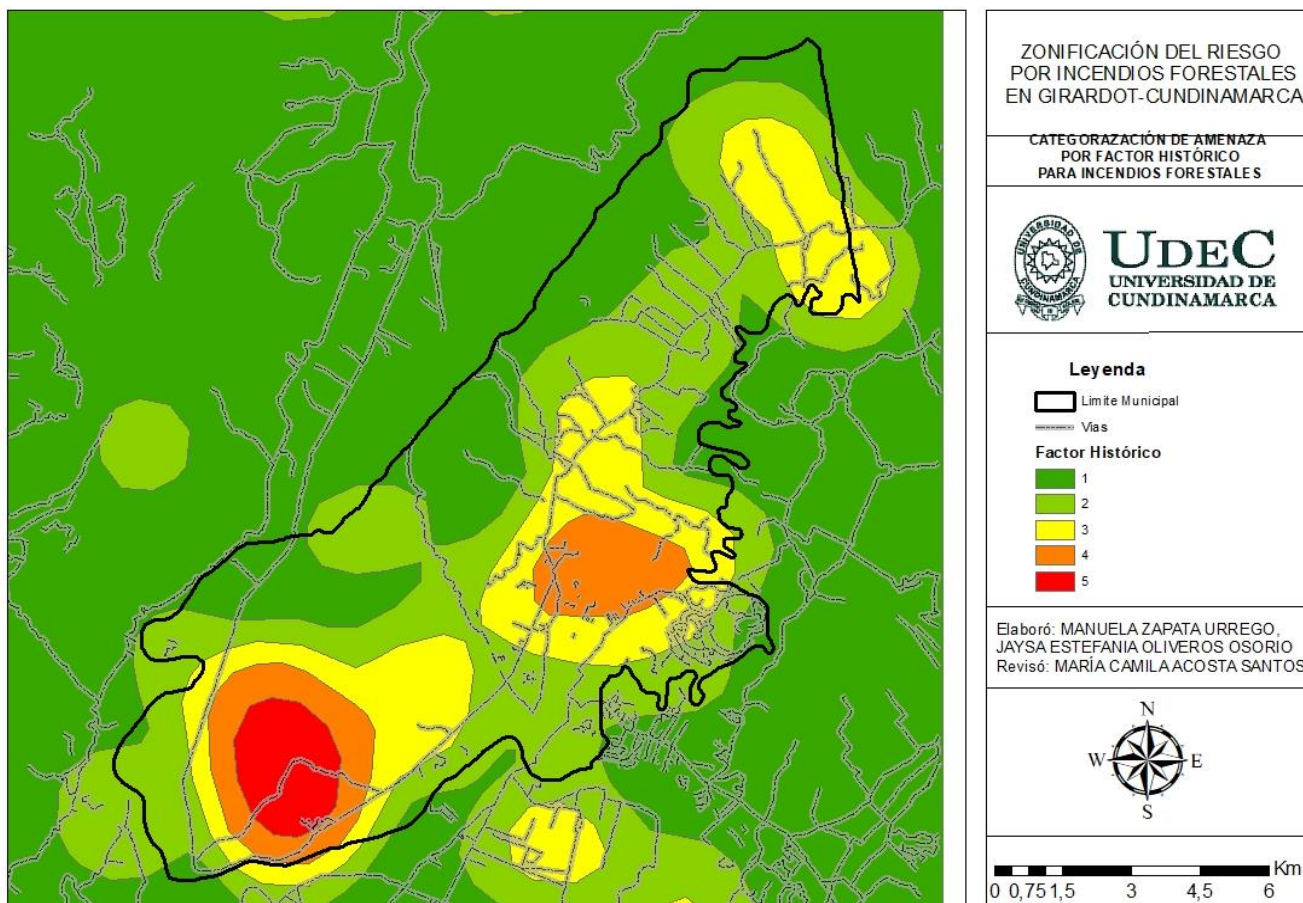


Figura 13

Mapa de categorización de amenaza por factor histórico para incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot.

Nota: Elaboración propia

7.5 Mapa de Accesibilidad

En el mapa se identifica el metro, el recorrido y distancia que los organismos de socorro tendrían que recorrer en caso de emergencia, identificado el área de mayor dificultad de acceso o

más lejano la cordillera Alonzo Vera, el cual se ve claramente que no cuenta con vías de acceso, lo que representa un desafío significativo para la respuesta rápida ante incendios.

Las áreas en tonos verdes indican una accesibilidad relativamente buena, lo que implica que en estas zonas los tiempos de respuesta podrían ser más cortos. Sin embargo, a medida que la distancia a las vías principales aumenta, el acceso se torna más difícil, especialmente en las regiones en tonos amarillos, naranjas y rojos, donde la falta de infraestructura vial incrementa el tiempo y los recursos necesarios para llegar a los focos de incendio.

Es necesario implementar estrategias para mejorar la accesibilidad en zonas críticas. Algunas de estas estrategias podrían incluir la creación de rutas de acceso secundarias, la instalación de puntos de abastecimiento de agua estratégicos y la planificación de brigadas comunitarias capacitadas para actuar en primera instancia mientras llegan los equipos especializados. Además, es fundamental el uso de herramientas tecnológicas como drones y sistemas de monitoreo satelital para identificar y evaluar con rapidez los focos de incendio en áreas de difícil acceso, lo que permitiría optimizar la distribución de recursos y mejorar la capacidad de respuesta.

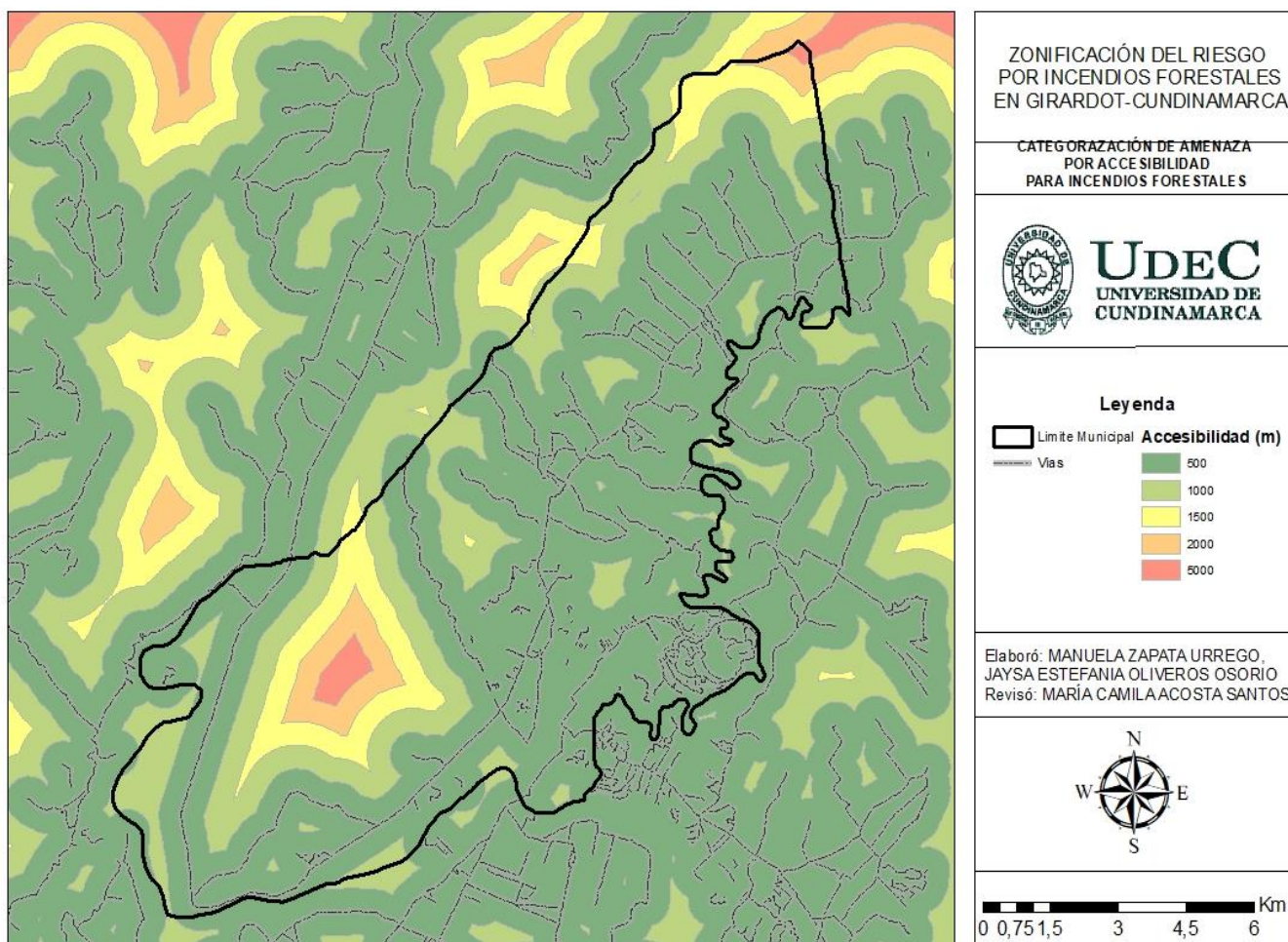


Figura 14

Mapa de categorización de amenaza por accesibilidad para incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot.

Nota: Elaboración Propia

7.6 Generación de mapa de amenaza por incendios de cobertura vegetal

Teniendo todo el procesamiento de los factores expuestos en la metodología, se genera el mapa final de amenaza para el municipio de Girardot, donde identificamos claramente que el

16,31% que abarcan 2118,63843 ha se encuentran en amenaza baja (verde), el 50,65% las cuales abarcan 6580,29499 ha del municipio que se encuentra en amenaza moderada (Amarillo) y el (33,03%) que abarcan 4290,50033 ha del municipio se encuentran en amenaza alta (rojo).

De acuerdo al mapa, todas y cada una de las veredas del municipio de Girardot (Potrerillo, san lorenzo, santa Helena, Agua blanca, Guabinal cerro, Barzaloza, Guabinal plan, Piamonte , Berlín, Presidente, Acapulco) y el caso urbano se encuentran en un grado de amenaza alta.

Tabla 32

Categorización del grado de amenaza del municipio de Girardot

Grado de amenaza	ha	%
Bajo	2118,63843	16,31
Medio	6580,29499	50,65
Alto	4290,50033	33,03
Total	12989,43	100

Nota: Elaboración Propia

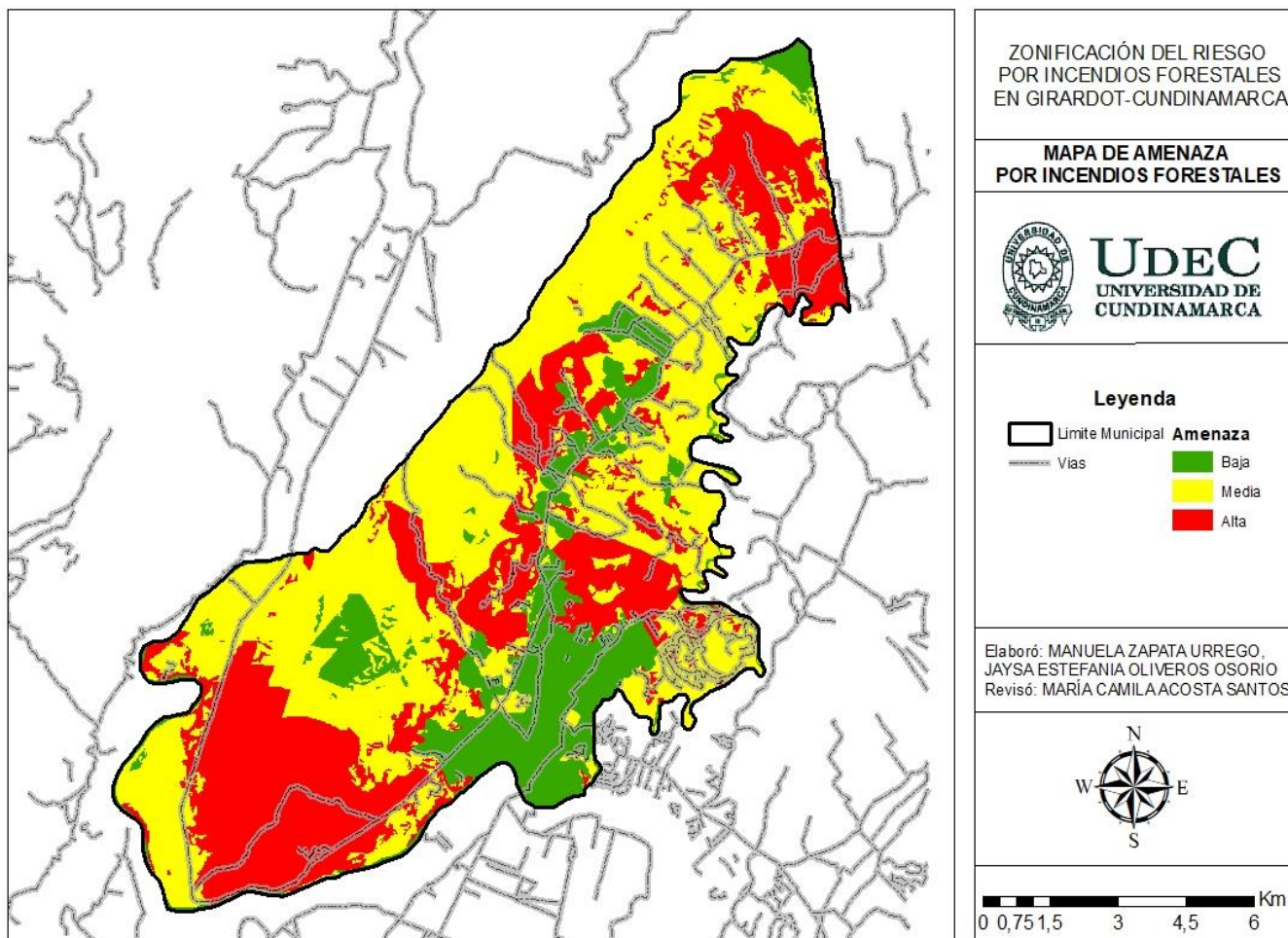


Figura 15

Mapa de amenaza por incendios de cobertura vegetal para el municipio de Girardot.

Nota: Elaboración propia

Vulnerabilidad: Teniendo en cuenta que la vulnerabilidad se refiere a la susceptibilidad de un ecosistema, el mapa desarrollado para el municipio de Girardot, muestra que el 6,9% que abarcan 896,27 ha se encuentra en amenaza muy baja (verde oscuro), el 11,06% las cuales comprenden 1436,96 ha en amenaza baja (verde claro), estas áreas muy baja y baja tienen

condiciones más favorables debido, posiblemente, a menor densidad poblacional, menor carga de biomasa o características del terreno que limitan la propagación del fuego. El 38,18% abarcando 4959,64 ha se encuentran en amenaza media (amarillo), el 32,04% que abarcan 4162,63 ha se encuentran en amenaza alta (naranja) y el 11,80% que abarca 1533,91 ha se hallan en amenaza muy alta (rojo) estas áreas son las más susceptibles a sufrir impactos severos ante incendios forestales, y su ubicación coincide, en gran medida, con las zonas de mayor densidad de biomasa combustible y mayor exposición a factores de amenaza como temperatura y radiación solar. Esto indica que más del 70% del territorio (70.22%) tiene condiciones de vulnerabilidad significativa, lo que evidencia una situación preocupante en términos de exposición al riesgo de incendios.

De las 11 veredas del municipio de Girardot, en vulnerabilidad alta se encuentran 9, las cuales son: Potrerillo, San Lorenzo, Santa Helena, Agua blanca, Guabinal cerro, Barzaloza, Guabinal plan, casco urbano, Piamonte y Berlín.

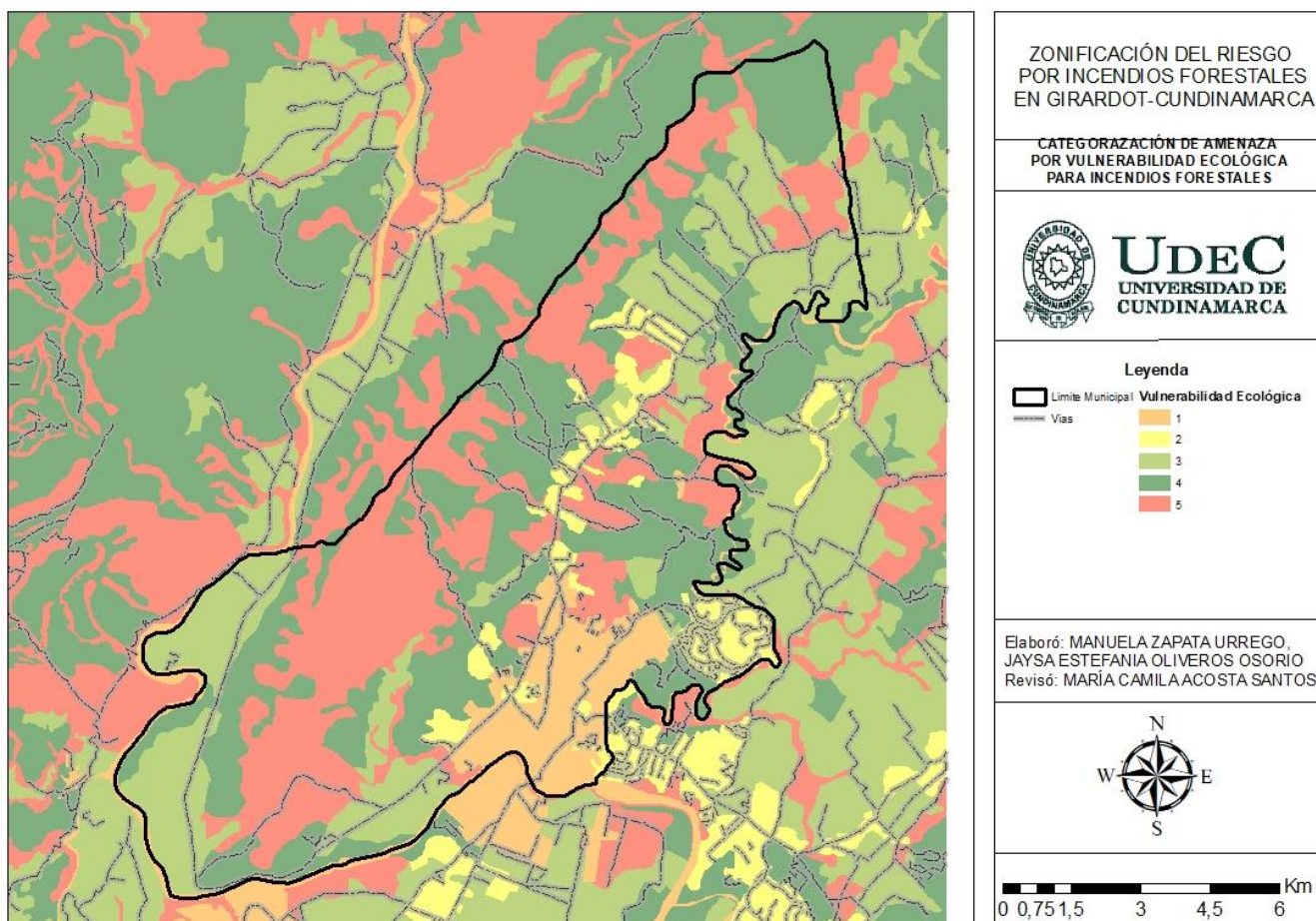


Figura 16

Categorización de amenaza por vulnerabilidad ecológica para incendios de cobertura vegetal del municipio de Girardot.

Nota: Elaboración propia

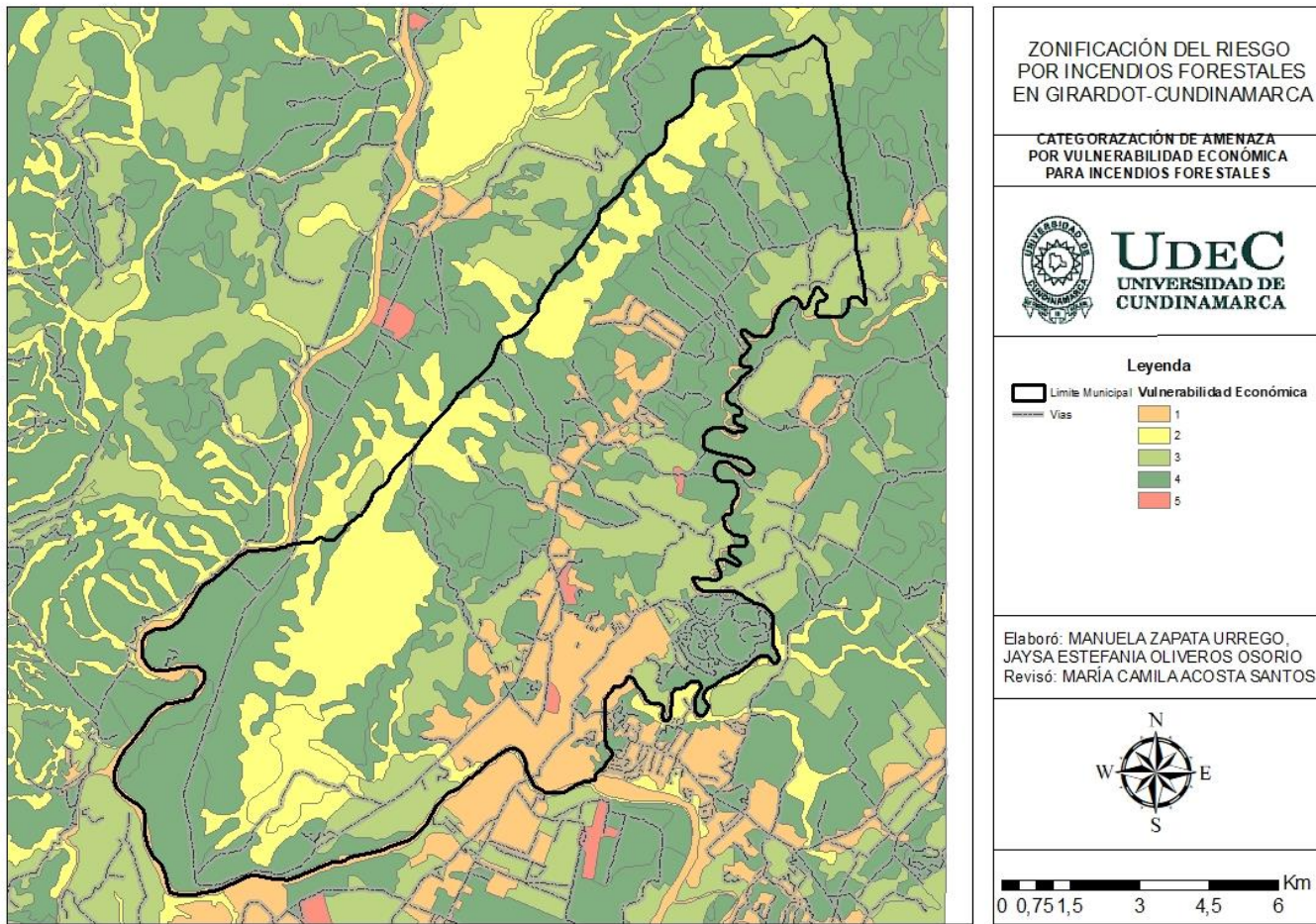


Figura 17

Categorización de amenaza por vulnerabilidad económica para incendios de cobertura vegetal del municipio de Girardot.

Nota: Elaboración propia

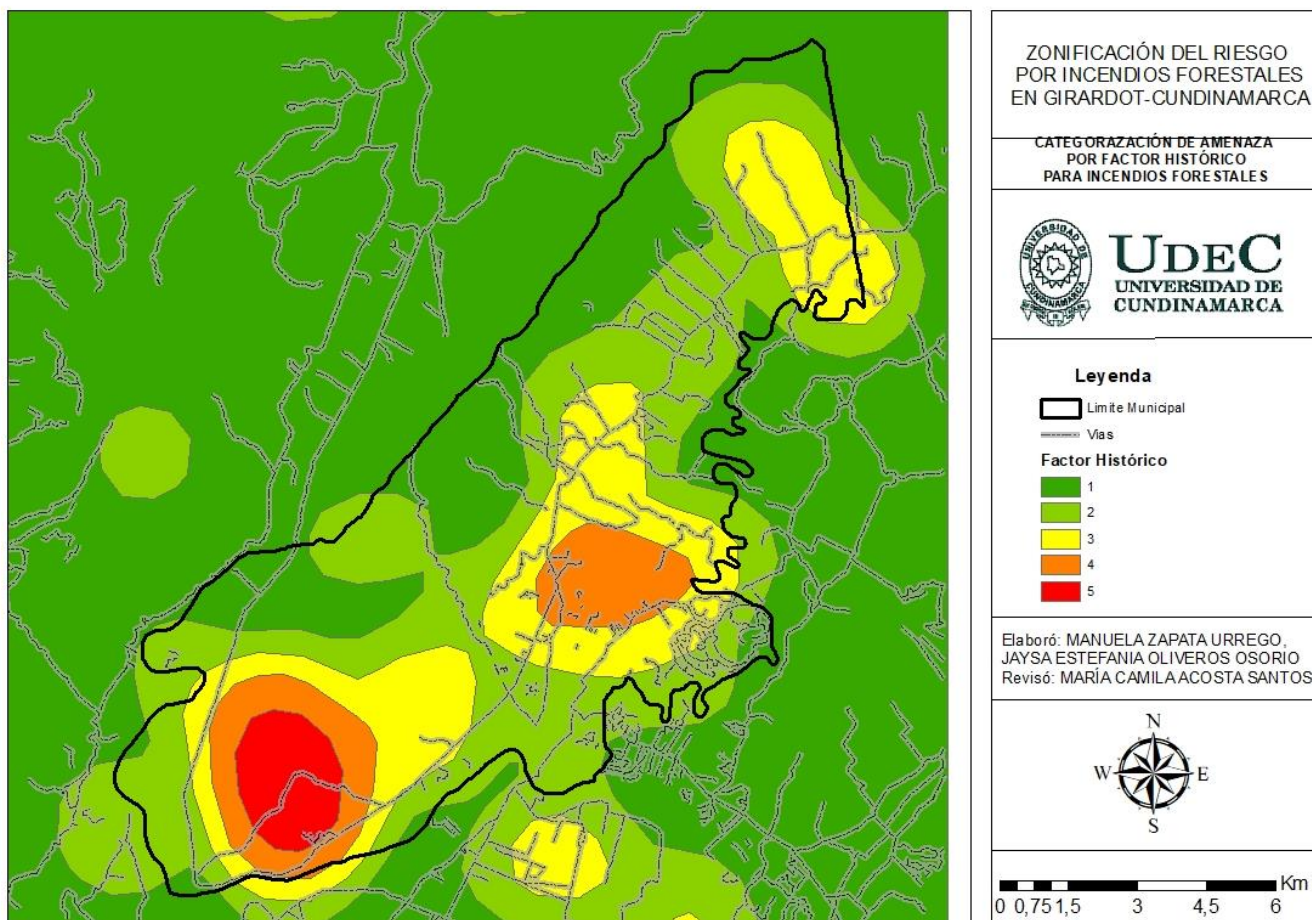


Figura 18

Categorización de amenaza por factor histórico para incendios de cobertura vegetal del municipio de Girardot.

Nota: Elaboración propia

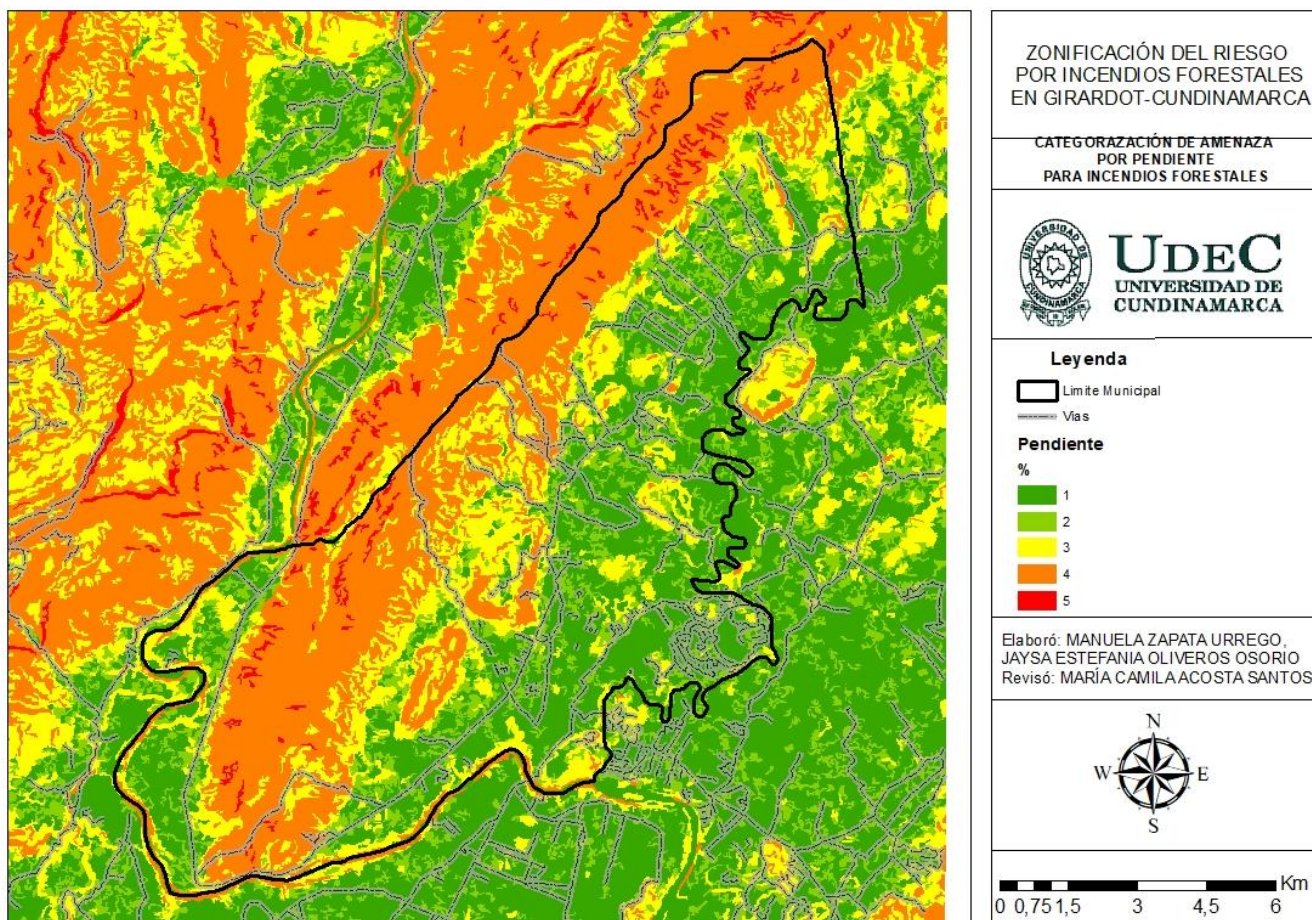


Figura 19

Categorización de amenaza por pendiente para incendios de cobertura vegetal del municipio de Girardot.

Nota: Elaboración propia

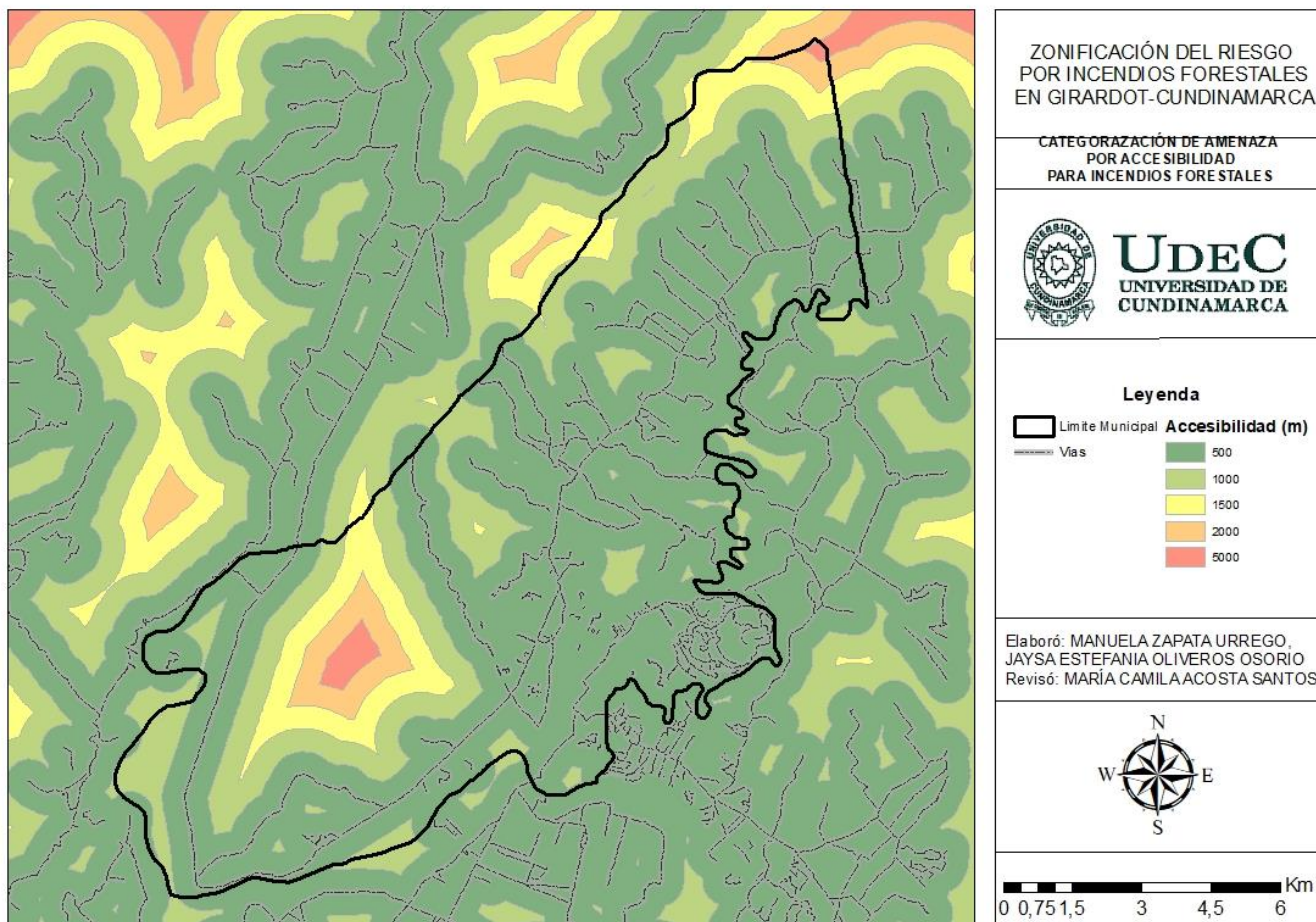


Figura 20

Categorización de amenaza por accesibilidad para incendios de cobertura vegetal del municipio de Girardot.

Nota: Elaboración propia

Tabla 33

Categorización del grado de vulnerabilidad del municipio de Girardot

Grado de vulnerabilidad	ha	%
-------------------------	----	---

Muy baja	896,27133	6,90
Baja	1436,96239	11,06
Media	4959,64935	38,18
Alta	4162,63992	32,04
Muy Alta	1533,91076	11,80
Total	12989,43	100

Nota: Elaboración Propia

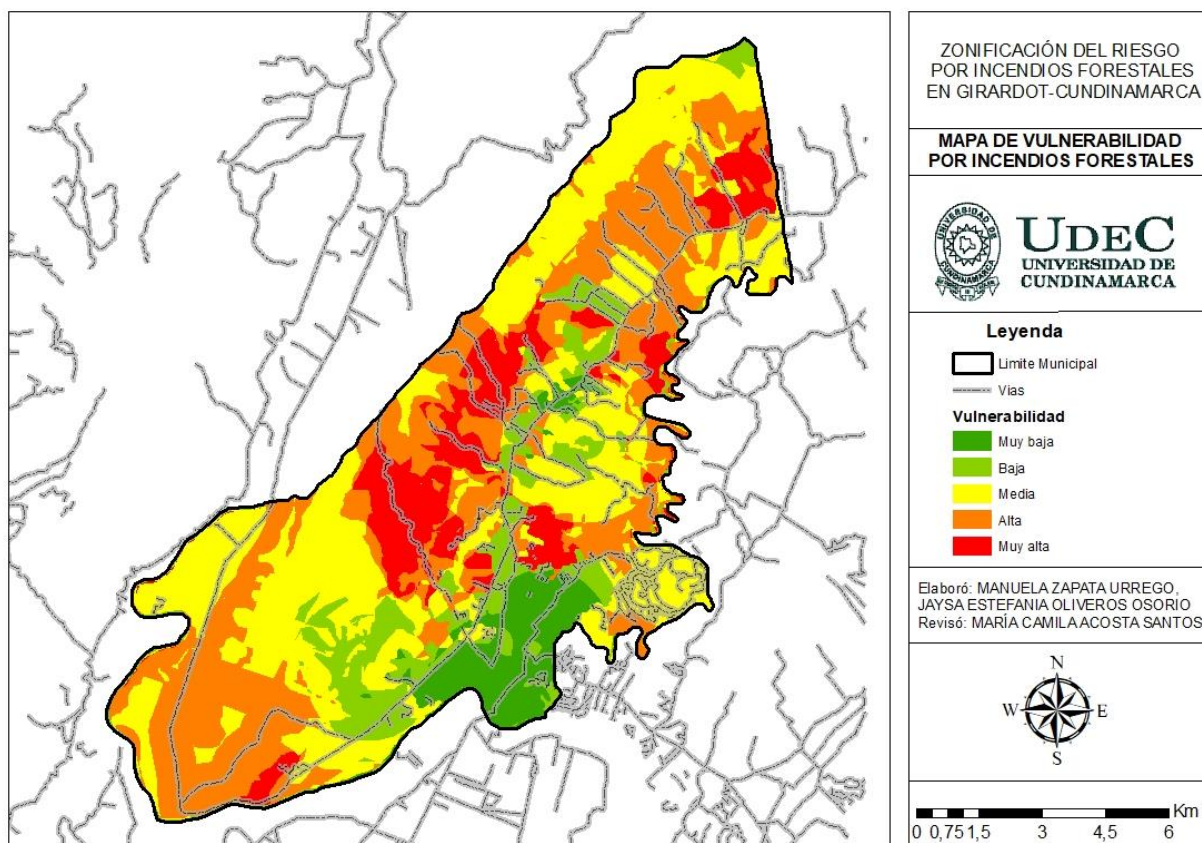


Figura 21

Mapa de vulnerabilidad por incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot.

Nota: Elaboración propia

Riesgo: De acuerdo con el mapa de riesgo de incendios de cobertura vegetal del municipio de Girardot, se observa una distribución desigual en la susceptibilidad a este tipo de eventos. La mayor parte del territorio del municipio de Girardot presenta un nivel de riesgo moderado (78,41%) de incendios forestales. Las zonas con riesgo alto (1,29%) son reducidas, mientras que el riesgo bajo y muy bajo (20,29%) se encuentra en ciertas áreas específicas.

El riesgo moderado (78,41%) representa la mayor parte del municipio y se debe a la presencia de coberturas vegetales con materiales inflamables, como pastizales secos y áreas de arbustos dispersos. Factores como la temporada seca, las altas temperaturas y los vientos moderados pueden favorecer la propagación de incendios. Este nivel de riesgo predomina en las zonas rurales y en áreas intermedias entre la cobertura vegetal densa y los asentamientos urbanos. El riesgo muy bajo (11,84%) y bajo (8,45%) se localiza principalmente en la cabecera municipal y en áreas urbanizadas, donde la presencia de infraestructura, suelos impermeabilizados y escasa vegetación inflamable reducen la probabilidad de incendios. Además, la proximidad de cuerpos de agua y la gestión urbana contribuyen a disminuir el riesgo de propagación del fuego. Y por último el riesgo alto (1,29%) son zonas puntuales identificadas en color rojo en el mapa, mayormente en áreas de cobertura vegetal densa o con acumulación de material combustible seco, estos puntos con riesgo alto se encuentran específicamente en 5 de las 11 veredas presentes en el municipio, las cuales encontramos las zonas de San Lorenzo, Berlín, Agua Blanca, Santa Helena y Guabinal plan.

Para mitigar el alto riesgo de incendios forestales en Girardot, se propone un enfoque integral basado en prevención, manejo del territorio y respuesta ante emergencias. Se recomienda implementar un Sistema de Alerta Temprana, monitoreo con sensores y drones, y campañas de educación ambiental para concienciar a la comunidad. Además, es clave el establecimiento de cortafuegos, restauración de ecosistemas con especies resistentes al fuego y control de biomasa inflamable. Se debe fortalecer la capacidad de respuesta mediante brigadas especializadas y equipadas, junto con la coordinación interinstitucional para incluir la zonificación de riesgo en el POT municipal. Estas estrategias reducirán la vulnerabilidad y protegerán tanto a la población como a los ecosistemas frente a incendios forestales.

Tabla 34

Categorización del grado de riesgo del municipio de Girardot

Grado de riesgo	ha	%
Muy baja	1538,30826	11,8427
Baja	1097,60936	8,4500
Media	10185,2062	78,4114
Alta	12989,4337	1,2957
Total	12989,43	100

Nota: Elaboración propia

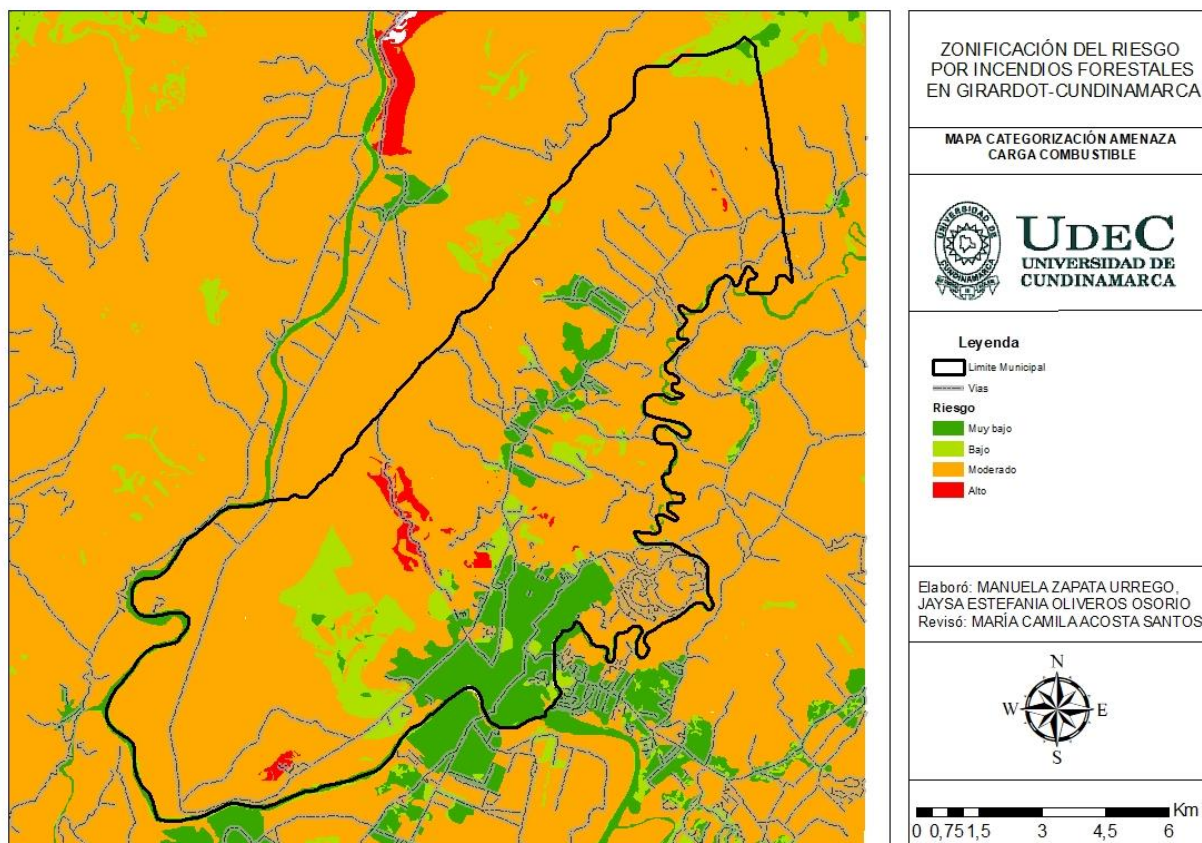


Figura 22

Mapa de zonificación de riesgos por incendios de cobertura vegetal en el municipio de Girardot.

Nota: Elaboración propia

8. Recomendaciones

El municipio de Girardot, Cundinamarca, presenta una alta vulnerabilidad, amenaza y riesgo a incendios forestales, exacerbada por la falta de herramientas clave para la gestión del riesgo. Se identifican dos problemas principales:

- POT desactualizado: El Plan de Ordenamiento Territorial (POT) vigente data de 2011, incumpliendo la normativa legal y careciendo de la información necesaria para la zonificación de incendios de cobertura vegetal y la gestión integral del riesgo.
- Ausencia de un Plan de Gestión del Riesgo de Desastres: A pesar de su importancia, el municipio presuntamente carece de un plan actualizado y divulgado, lo que dificulta la investigación, el análisis de datos y la implementación de medidas preventivas y de respuesta.

Hallazgos Relevantes:

- Alta incidencia de incendios provocados: El 90% de los incendios son causados por actividades humanas, principalmente para construcción y expansión urbana, que se salen de control debido a una mala gestión.
- Falta de información y recursos: La ausencia de un POT actualizado y un plan de gestión del riesgo dificulta la recopilación de datos y la implementación de estrategias efectivas para la prevención y el control de incendios.
- Desconocimiento de actores clave: Bomberos y autoridades locales desconocen la existencia o el contenido de un plan de gestión del riesgo, lo que limita su capacidad de respuesta y coordinación.

- **Análisis y actualización del POT:** Se recomienda realizar un análisis exhaustivo del POT vigente, identificando sus falencias y proponiendo actualizaciones que incorporen la gestión del riesgo de incendios forestales, la zonificación de áreas vulnerables y la definición de medidas preventivas.
- **Elaboración de un Plan de Gestión del Riesgo de Desastres:** Se propone desarrollar un plan integral que incluya un diagnóstico de amenazas y vulnerabilidades, la definición de objetivos y estrategias, la asignación de responsabilidades y recursos, y el establecimiento de mecanismos de seguimiento y evaluación.
- **Estudio de las causas de incendios:** Se sugiere realizar una investigación detallada sobre las causas de los incendios de cobertura vegetal en el municipio, incluyendo factores socioeconómicos, culturales y ambientales, con el fin de diseñar estrategias de prevención y sensibilización efectivas.
- **Fortalecimiento de capacidades locales:** Se recomienda capacitar a bomberos, autoridades locales y comunidad en general en gestión del riesgo de incendios forestales, incluyendo técnicas de prevención, control y mitigación, así como el uso de herramientas y tecnologías para la gestión de la información.
- **Articulación interinstitucional:** Se propone establecer mecanismos de coordinación y colaboración entre diferentes actores, como autoridades ambientales, entidades de gestión del riesgo, bomberos, universidades y organizaciones de la sociedad civil, con el fin de fortalecer la gestión integral del riesgo de incendios forestales.
- **Marco legal:** Es fundamental enmarcar el estudio y las recomendaciones en el marco legal vigente, incluyendo la Ley 1523 de 2012 y otras normas relacionadas con la gestión del riesgo de desastres y la ordenación territorial.

- Participación ciudadana: Se recomienda involucrar a la comunidad en el proceso de investigación y formulación de recomendaciones, a través de talleres, encuestas y otros mecanismos de participación.
- Divulgación y socialización: Es importante divulgar los resultados del trabajo de grado y las recomendaciones a las autoridades locales, la comunidad y otros actores relevantes, con el fin de promover su implementación y contribuir a la reducción del riesgo de incendios de cobertura vegetal en el municipio.

9. Conclusiones

- La creciente amenaza de incendios de cobertura vegetal en Girardot-Cundinamarca representa un desafío ambiental significativo que requiere atención urgente. A través del análisis multicriterio y el uso de sistemas de información geográfica (SIG), se logró identificar y zonificar las áreas de mayor vulnerabilidad, destacando la influencia de factores antrópicos, climáticos y topográficos en la ocurrencia de estos eventos. Estos hallazgos resaltan la necesidad de fortalecer la gestión del riesgo e implementar estrategias preventivas eficaces.
- La recopilación y análisis de información cartográfica mediante bases de datos nacionales y documentación secundaria permitieron establecer patrones espaciales de susceptibilidad y amenaza. Sin embargo, la ausencia de datos históricos detallados limita la capacidad de predicción y respuesta ante incendios forestales, lo que evidencia la urgencia de desarrollar sistemas de monitoreo y registro de información para mejorar la gestión integral del riesgo.
- A través de la metodología multicriterio aplicada, se identificaron áreas con distintos niveles de vulnerabilidad, evidenciando que Girardot enfrenta un riesgo elevado debido a su clima seco y la acción antrópica. La invasión de tierras, en contravención al Plan de Ordenamiento Territorial, ha desencadenado un aumento en incendios intencionales, lo que pone en peligro ecosistemas frágiles y agrava la vulnerabilidad del territorio.
- La alta incidencia de incendios provocados refleja la necesidad de comprender los factores socioeconómicos, culturales y ambientales que contribuyen a esta problemática. Sin un análisis profundo de las causas, las estrategias de prevención pueden resultar ineficaces. Se recomienda fortalecer las políticas de ordenamiento territorial, mejorar la

educación ambiental en las comunidades afectadas e implementar programas de restauración ecológica y control del uso del suelo para mitigar los impactos de los incendios en el municipio.

10. Bibliografía

- Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA). (2016). *Calidad del aire en Europa: informe de 2016* . Agencia Europea de Medio Ambiente. Recuperado de <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016>
- Aguirre, M., Pérez, L., & Díaz, J. (2017). *Impacto de los incendios de cobertura vegetal en la biodiversidad y la economía local* . Editorial Universitaria.
- Alcaldía de Girardot. (2016). *Sistema de Gestión Ambiental Municipal 2016* . Recuperado de <https://girardot-cundinamarca.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionyControl/Sistema%20de%20Gesti%C3%B3n%20Ambiental%20Municipal%202016.pdf>
- Casado, J., Vega de la Cruz, L., & Velázquez, M. (2021). *Gestión del riesgo y prevención de incendios de cobertura vegetal en América Latina*. Editorial Ambiental.
- CMNUCC. (2015). *Acuerdo de París* . Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Recuperado de <https://unfccc.int>
- Congreso de la República de Colombia. (1988). *Ley 46 de 1988: Por la cual se establece el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres* . Diario Oficial N° 38.265.
- Congreso de la República de Colombia. (1991). *Constitución Política de Colombia* . Diario Oficial N° 37.477.
- Congreso de la República de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993: Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reestructura el Sistema Nacional Ambiental y se dictan otras disposiciones* . Diario Oficial N° 41.503.

Congreso de la República de Colombia. (1996). *Ley 322 de 1996: Por la cual se crea el Sistema Nacional de Bomberos* . Diario Oficial N° 42.215.

Fernández, J., & Ramírez, P. (2022). *Gestión del riesgo de incendios forestales en municipios vulnerables: una aproximación geoespacial*. *Revista de Medio Ambiente y Territorio*, 18(3), 45-67.

González, A. (2018). Los incendios forestales en Colombia: Retos y oportunidades para la gestión ambiental. *Revista Colombiana de Geografía*, 37 (1), 47–60.

<https://doi.org/10.31232/colgeog.v37i1.538>

González, A., Ramírez, S., & Soto, M. (2016). Desarrollo rural y prevención de incendios: Un análisis de la relación entre el uso del suelo y los incendios forestales en Colombia. *Revista de Ciencias Ambientales*, 22 (2), 110–125.

González, J. (2018). *Zonificación y gestión de riesgos de incendios forestales en territorios vulnerables* . Editorial Ambiental.

Guzmán, M., & López, R. (2019). *Urbanización y riesgo de incendios en zonas de interfaz urbano-rural en Colombia*. *Boletín de Estudios Ambientales*, 12(1), 89-102.

IDEAM. (2011). *Metodología para la zonificación de incendios forestales en Colombia* .

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Recuperado de <https://www.ideam.gov.co/>

IDEAM, MAVDT, & DGR. (2010). *Informe sobre afectación por incendios forestales en Colombia (1986-2010)*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

IDIGER. (2016). *Definición y análisis de incendios forestales en Bogotá y su área de influencia*.

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático.

IPCC . (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad: Parte A:*

Aspectos globales y sectoriales . Cambridge University Press .

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379>

Martínez, C., Gómez, A., & Torres, P. (2021). *Estrategias de restauración ecológica para la*

prevención de incendios forestales en zonas secas. *Revista de Ciencias Ambientales*,

15(2), 78-94.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2011). *Impacto del cambio climático en la*

frecuencia y la intensidad de incendios forestales en Colombia . Ministerio de Ambiente

y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Estrategia Nacional para la Gestión de*

Incendios Forestales . Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (1997). *Decreto 2340 de 1997: Por el*

cual se crea el sistema de comisiones asesoras para la prevención y mitigación de

incendios forestales . Diario Oficial N° 43.212.

Mora, C. (2022). *Causas y efectos de los incendios forestales en ecosistemas tropicales: Un*

enfoque multidisciplinario. *Revista de Estudios Ambientales*, 29(2), 45–63.

Paredes, F. (2021). *Análisis del impacto socioeconómico de los incendios forestales en el sector*

agropecuario colombiano . Editorial Ambientalista.

- Pausa, R. (2020). *El impacto de los incendios forestales en la biodiversidad y el cambio climático: Una revisión crítica*. Revista de Ciencias Ambientales, 35(1), 78–94.
- PNUMA. (1992). *Convención sobre la Diversidad Biológica*. Recuperado de <https://www.cbd.int>
- Presidencia de la República de Colombia. (1998). *Decreto 93 de 1998: Por el cual se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres*. Diario Oficial N° 43.812.
- Ramírez, J., Pérez, M. y Méndez, L. (2020). Estrategias de mitigación de incendios forestales en zonas de alta vulnerabilidad en Colombia. *Gestión Ambiental*, 41 (4), 56–70.
- Ramos, M. (2020). *Aplicaciones de los sistemas de información geográfica en la gestión de riesgos ambientales*. Editorial Tecnológica.
- Rodríguez, L., Pérez, J., & Castro, D. (2020). *Impacto del cambio climático en la frecuencia y severidad de incendios forestales en Colombia: un enfoque espacial*. Anuario de Estudios Ambientales, 27(4), 112-129.
- Sánchez, R., Martínez, D., & López, G. (2018). Cambio climático y su impacto en la frecuencia de incendios forestales en Cundinamarca, Colombia. *Boletín de Ciencias Ambientales*, 23 (3), 135–149.
- Sandoval, P., Martínez, L., & Torres, J. (2021). *Emisión de contaminantes atmosféricos durante incendios forestales en zonas tropicales*. Revista Latinoamericana de Medio Ambiente, 18(3), 112–128.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2014). *Guía para la elaboración de planes municipales de gestión del riesgo de desastres*. Recuperado de <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/28309>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2015). *Política nacional de gestión del riesgo de desastres: Un enfoque para la resiliencia* . Bogotá, Colombia.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2017). *Guía para la formulación de planes de gestión del riesgo* . Bogotá, Colombia.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2015). *Evaluación y gestión del riesgo en Colombia: Fundamentos y estrategias de intervención*. UNGRD.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2017). *Análisis de vulnerabilidad y amenaza en el territorio colombiano*. UNGRD.