

**ZONIFICACIÓN DE RIESGOS A INCENDIOS FORESTALES EN ZONA RURAL
DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI**

ING. CARLOS ANDRÉS URRUTIA GARCÉS
INGENIERO FORESTAL



UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2018

**ZONIFICACIÓN DE RIESGOS A INCENDIOS FORESTALES EN ZONA RURAL
DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI**

CARLOS ANDRÉS URRUTIA GARCÉS

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar
al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2018**

AGRADECIMIENTOS

Este Trabajo de Grado queda dedicado a nuestro padre celestial, quién nos guía por el buen camino, dándonos las fuerzas para seguir adelante y los recursos para emprender grandes hazañas y conquistar sueños. A ti por ser DIOS

*Yosev beseter elyon betzel Phadai yishlonan
Omar Adonay majsi umzudati, Elohai evtaj bo
Ki hu yetzeleja mihaj yakush, mi-dever havot
Bebrato yashej taj, ve'sajat ke'nafav tejse, tzina vetejera amito
Lo tira mihajad laila, mejelz ya-uf yomam
Mi-dever ba'ofel yahalej, miketev yashud tzaharaim
Yipol mitzideja elef, urvava mimineja, eleja lo yigash
Rak be'eineja tabit ve'shitumat re'shoim tire
Ki atá Adonay majsi, elyon samta me'oneja
Lo se'une eleja ro'o, ve'nega lo yikrav be'ahaleja
Ki mal'ajar ye'tzave taj lishmarja be'jal de'rajeja
Al kapayim yisa'unja pen ligof ba'even regleja
Al shajal vafeten tidroj, tirmos kafir ve'sanim
Ki vi joshak va'afale'lehu, asage'vehu ki yada she'mi
Yikra'eni ve'enchu, imo anoji velzara, ajale'tzehu va'ajabe'dehu
Orej yamim asbi'ehu, ve'arehu bishuat*

¿No sabéis que los que corren en el estadio, todos a la verdad corren, pero uno solo se lleva el premio? Corred de tal manera que lo obtengáis. <1 corintios 9:24-27>

CONTENIDO

1. ÁREA PROBLEMÁTICA	2
1.1 DESCRIPCIÓN	2
2. OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GENERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. MARCO TEÓRICO	6
4.1 INCENDIO FORESTAL	6
4.1.1 Los incendios superficiales.	6
4.1.2 Los incendios de copa o aéreos	6
4.2 TRIÁNGULO DEL FUEGO	7
4.2.1 Oxígeno	7
4.2.2 Calor	7
4.2.3 Combustible	7
4.3 DEFINICIÓN DE LA PRIORIDAD PROTECCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES	8
4.3.1 Amenaza.	8
4.3.2 Vulnerabilidad	8
4.3.3 Riesgo	8
4.3.4 Análisis de Riesgo	9
4.4 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA – SIG	9
4.4.1 Construcción y componentes de un SIG	10
4.4.1.1 Datos	10
4.4.1.2 Personal.	10
4.4.1.3 Procedimientos o Métodos	10
4.5 ÁREAS PROTEGIDAS	11
4.6 RESTAURACIÓN ECOLÓGICA	11
4.6.1 Restauración Ecológica (<i>ecological restoration</i>)	12
4.6.2 Áreas disturbadas por incendios forestales y quemas	12
4.7. RESTAURACIÓN DE ÁREAS QUEMADAS	12

4.8 MARCO POLÍTICO Y NORMATIVO DE LOS INCENDIOS FORESTALES	13
4.9 ANTECEDENTES	18
5. METODOLOGÍA	19
5.2 PROCEDIMIENTO	19
5.2.1 Identificación de insumos	20
5.2.2 Adquisición de la información	20
5.2.3 Definición del Sistema de Proyección	22
5.3 CONTROL DE CALIDAD	23
5.3.1 Criterios para evaluar la información	23
5.3.2 Relevancia	23
5.3.3 Alcance	23
5.3.4 Autoridad / Credibilidad	23
5.3.5 Actualidad.	23
5.3.6 Objetividad.	23
5.3.7 Exactitud	24
5.4 ESTRUCTURACIÓN Y ANÁLISIS	24
5.4.1 Amenaza.	24
5.4.2 Vulnerabilidad.	25
5.5 PROCESAMIENTO Y EVALUACIÓN	25
5.5.1 Ponderación de variables y factores	25
5.5.2 Amenaza total por incendio forestal	27
5.5.3 Vulnerabilidad total por incendio forestal	27
5.5.4 Riesgo total por incendio forestal	27
6. RESULTADOS	28
6.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS	28
6.1.1 Generación del mapa de Amenaza por Incendios Forestales	28
6.1.2 Cartografía básica zona de estudio	28
6.2 OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA TEMÁTICA	28
6.2.1 Mapa de tipo, duración y carga de combustibles.	28
6.3 AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES	28
6.3.1 Mapa de tipo de combustibles.	28
6.3.2 Duración de combustible	30
6.3.3 Carga de combustible	31
6.3.4 Susceptibilidad de incendios forestales	32
6.3.5 Factor climático	33

6.3.6 Factor relieve.	36
6.3.6.1 La pendiente	36
6.3.6.2 La exposición	37
6.3.6.3 El relieve	37
6.3.7 Accesibilidad de Vías	38
6.3.8 Frecuencia de incendios forestales	39
6.3.9 Amenaza por incendios forestales	41
6.4 VULNERABILIDAD A INCENDIOS FORESTALES	42
6.4.1 Factor ecosistémico.	42
6.4.2 Vulnerabilidad económica	43
6.4.3 Vulnerabilidad patrimonial	45
6.4.4 Vulnerabilidad institucional.	46
6.4.5 Vulnerabilidad poblacional	47
6.4.6 Vulnerabilidad por incendios forestales	49
6.5 MAPA DE RIESGO TOTAL A INCENDIOS FORESTALES	50
6.6 ESTRATEGIA DE RESTAURACIÓN DE ÁREAS AFECTADAS POR INCENDIOS FORESTALES	52
6.6.1 Caracterización o Diagnóstico.	53
6.6.2 Control de Agentes Tensionantes	53
6.6.3 Corrección de Agentes Limitantes.	53
6.6.4 Manejo del Paisaje para la Restauración Ecológica	53
6.6.5 Monitoreo de la Restauración Ecológica	54
6.7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	54
7. CONCLUSIONES	56
8. RECOMENDACIONES	57
9. BIBLIOGRAFÍA	58
10. ANEXOS	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica general del municipio de cali	2
Figura 2. Pérdida de cobertura vegetal por incendios forestales	6
Figura 3. Representación del triángulo de fuego	7
Figura 4. Recuperación de áreas afectadas por incendios forestales	13
Figura 5. Mapa de tipo de combustible	29
Figura 6. Mapa de duración de combustible	30
Figura 7. Mapa de carga de combustible	31
Figura 8. Mapa de susceptibilidad a incendios forestales	33
Figura 9. Mapas de precipitaciones por los diferentes métodos de interpolación	35
Figura 10. Mapa de amenaza por relieve	38
Figura 11. Mapa de accesibilidad	39
Figura 12. Mapa de frecuencia de incendios forestales	40
Figura 13. Mapa de amenaza a incendios forestales	41
Figura 14. Mapa de vulnerabilidad ecosistémica	43
Figura 15. Mapa de vulnerabilidad económica	44
Figura 16. Mapa de vulnerabilidad patrimonial	46
Figura 17. Mapa de vulnerabilidad institucional	47
Figura 18. Mapa de vulnerabilidad poblacional	49
Figura 19. Mapa de vulnerabilidad a incendios forestales	50
Figura 20. Mapa de riesgo total a incendios forestales	51

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Estructuración de las fases metodológicas a implementar	20
Ilustración 2. Componentes de la amenaza a incendios forestales	24
Ilustración 3. Componente de la vulnerabilidad a incendios forestales	25
Ilustración 4. Precipitación promedio Mensual Anual	35

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Marco político en incendios forestales	13
Cuadro 2. Escala jerárquica saaty	26
Cuadro 3. Categorización por tipo de combustible	29
Cuadro 4. Categorización por duración de combustible	30
Cuadro 5. Categorización por carga de combustible	31
Cuadro 6. Categorización por susceptibilidad de incendios forestales	32
Cuadro 7. Estaciones meteorológicas del municipio de cali, solicitadas al ideam	34
Cuadro 8. Estaciones de temperatura del municipio de cali, solicitadas al ideam	34
Cuadro 9. Cuadro de interpolación para valores de precipitación	36
Cuadro 10. Categorización de amenaza por relieve	37
Cuadro 11. Categorización de amenaza por accesibilidad	38
Cuadro 12. Categorización por frecuencia de incendios forestales	40
Cuadro 13. Categorización de amenaza a incendios forestales	41
Cuadro 14. Categorización de vulnerabilidad económica	44
Cuadro 15. Categorización de vulnerabilidad patrimonial	45
Cuadro 16. Categorización de vulnerabilidad institucional	47
Cuadro 17. Densidad poblacional por municipio	48
Cuadro 18. Categorización de vulnerabilidad poblacional	48
Cuadro 19. Categorización de vulnerabilidad a incendios forestales	49
Cuadro 20. Categorización del mapa de riesgo total a incendios forestales	51

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Metodología general de mapas de incendios de la cobertura vegetal	61
Anexo 2. Metodología para la recolección y preparación inicial de la información a ser utilizada en el análisis de los componentes del riesgo a icv.	62
Anexo 3. Proceso de generación de los mapas de susceptibilidad de la vegetación a incendios	63
Anexo 4. Proceso de generación de los mapas de amenaza a incendios de la cobertura vegetal.	64
Anexo 5. Localización del municipio de cali	65
Anexo 6. Mapa de coberturas de la tierra corine land cover	66
Anexo 7. Mapa de amenaza por frecuencia a incendios forestales	67
Anexo 8. Mapa de amenaza por tipo de combustible	68
Anexo 9. Mapa de amenaza por carga de combustible	69
Anexo 10. Mapa de amenaza por accesibilidad vial	70
Anexo 11. Temperatura (t°)	71
Anexo 12. Mapa de precipitación (mm/año)	72
Anexo 13. Amenaza por incendios forestales	73
Anexo 14. Mapa de vulnerabilidad económica	74
Anexo 15. Mapa de vulnerabilidad patrimonial	75
Anexo 16. Vulnerabilidad poblacional	76
Anexo 17. Vulnerabilidad total a incendios forestales	77
Anexo 18. Riesgo a incendios forestales	78

GLOSARIO

Antrópico. Consecuencia generada debido a la actividad del hombre.

Amenaza: Potencial ocurrencia de un hecho que pueda manifestarse en un lugar específico, con una duración e intensidad determinadas.

Áreas protegidas. El conjunto de áreas protegidas, actores sociales y estrategias e instrumentos de gestión que las articulan, para contribuir como un todo al cumplimiento de los objetivos de conservación del país. Incluye todas las áreas protegidas de gobernanza pública, privada o comunitaria, y del ámbito de gestión nacional, regional o local.

Calor: Energía que se manifiesta por un aumento de temperatura y procede de la transformación de otras energías; es originada por los movimientos vibratorios de los átomos y las moléculas que forman los cuerpos.

Combustible: Se llama combustible a cualquier material que es plausible de liberar energía una vez que se oxida de manera violenta y con desprendimiento de calor.

Cobertura vegetal. Capa de vegetación natural que cubre la superficie de la Tierra, comprendiendo una gama de biomásas con diversas características fisonómicas y ambientales.

Combustión: Reacción química que se produce entre el oxígeno y un material oxidable, que va acompañada de desprendimiento de energía y habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama.

Control: Es un mecanismo preventivo y correctivo adoptado por la administración de una dependencia o entidad que permite la oportuna detección y corrección de desviaciones, ineficiencias o incongruencias en el curso de la formulación, instrumentación, ejecución y evaluación de las acciones, con el propósito de procurar el cumplimiento de la normatividad que las rige, y las estrategias, políticas, objetivos, metas y asignación de recursos

Desastre: Un desastre es un evento calamitoso, repentino o previsible, que trastorna seriamente el funcionamiento de una comunidad o sociedad y causa unas pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales que desbordan la capacidad de la comunidad o sociedad afectada para hacer frente a la situación a través de sus propios recursos.

Evento: Eventualidad, hecho imprevisto, o que puede suceder.

El Niño: Es un fenómeno climático relacionado con el calentamiento del Pacífico oriental ecuatorial, el cual se manifiesta erráticamente que consiste en realidad en la fase cálida del patrón climático del Pacífico ecuatorial

Escala. Relación entre las dimensiones de capas en un mapa y los objetos geográficos que representan en la tierra, comúnmente expresada como una fracción o una tasa. Una escala de mapa de 1/100.000 o 1:100.000 significa que una unidad en el mapa iguala a 100.000 de la misma unidad en la tierra.

Fuego: Se llama fuego al conjunto de partículas o moléculas incandescentes de materia combustible, capaces de emitir luz visible, producto de una reacción química de oxidación violenta.

Ignición: Proceso químico que puede desatarse cuando una sustancia combustible entra en contacto con una fuente de energía y continúa ardiendo independientemente de su causa original.

Incendio: Ocurrencia de fuego no controlada que puede afectar o abrasar algo que no está destinado a quemarse. Puede afectar a estructuras y a seres vivos

Incendio forestal: fuego que se extiende sin control en terreno forestal o silvestre, afectando a combustibles vegetales, flora y fauna

Modelo de Elevación Digital: Representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.

Precipitación: Cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra

Parque Nacional Natural Farallones de Cali. Es el área protegida más grande en el Valle del Cauca donde se conservan más de 540 especies de aves y nacen más de 30 ríos que abastecen el suroccidente colombiano. Además, es un reservorio de diversidad de especies únicas y en peligro de extinción en Colombia y en el mundo.

Riesgo: Es la probabilidad latente de que ocurra un hecho que produzca ciertos efectos, la combinación de la probabilidad de la ocurrencia de un evento y la magnitud del impacto que puede causar, así mismo es la incertidumbre frente a la ocurrencia de eventos y situaciones que afecten los beneficios de una actividad.

Restauración ecológica: es el esfuerzo práctico por recuperar de forma asistida las dinámicas naturales tendientes a restablecerse alguna trayectoria posible de los ecosistemas históricos o nativos de una región.

Sistemas de Información Geográfica: conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que

permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz.

Suelo: Parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre ella.

Temperatura: Es una magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente. Dicha magnitud está vinculada a la noción de frío (menor temperatura) y caliente (mayor temperatura)

Vulnerabilidad: Se puede definir como la debilidad o grado de exposición de un sujeto, objeto o sistema.

Zonificación: La zonificación es parte del proceso de ordenamiento territorial. Consiste en definir zonas con un manejo o destino homogéneo que en el futuro serán sometidas a normas de uso a fin de cumplir los objetivos para el área

RESUMEN

Las circunstancias que concurren en los incendios originan situaciones de grave riesgo, catástrofe o calamidad pública, configurando a los incendios en su conjunto como un riesgo que debe ser materia de planificación. En el presente trabajo se enfatiza en la fase de diagnóstico, identificando y valorando la amenaza a incendios forestales, a través de una metodología sencilla desarrollada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, la cual combina método de análisis raster y vectorial, datos alfanuméricos de precipitación, temperatura y puntos calientes de presencia histórica de incendios.

A partir de la revisión documental y cartográfica; y del reconocimiento al Municipio de Cali, se plantearon tres (3) objetivos (i) Identificar los principales factores de riesgo para la determinación de la amenaza a incendios forestales. Donde se consideró la vegetación a incendios mediante el análisis climatológico, identificación de pendientes, coberturas, frecuencia de incendios y combustibles. En el segundo objetivo (ii) evaluar la susceptibilidad a riesgos por incendio forestales en el Municipio de Santiago de Cali, se realizaron los cálculos a través del álgebra de mapas del software ArcGIS. En el tercer objetivo (iii) Plantear una estrategia de restauración de áreas susceptibles a riesgo de incendios forestales. Una vez identificados y evaluados las áreas sustentables a incendios forestales, se presentó una estrategia de recuperación de las áreas afectadas. Por medio de estos análisis se obtuvo que de las 55641.38 ha que tiene el municipio de Cali, el 25.16% presenta riesgo Muy Bajo, el 37.38 % se presenta riesgo moderado y se encuentran en áreas de especial importancia para el municipio y solo el 7.99% presenta riesgo Alto y Muy Alto a incendios forestales.

Palabras claves: Incendios forestales, SIG, Restauración ecológica

ABSTRACT

The circumstances that occur in the fires cause situations of serious risk, catastrophe or public calamity, configuring the fires as a whole as a risk that must be a matter of planning. In the present work, the diagnostic phase is emphasized, identifying and evaluating the threat to the forests, through a simple methodology developed by the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies - IDEAM, which combines the method of analysis and vector plot , alphanumeric data of precipitation, temperature and hot spots of historical presence of fires.

From the documentary and cartographic review; and recognition of the Municipality of Cali, three (3) objectives were proposed (i) Identify the main risk factors for the determination of the threat to forest fires. Where is the vegetation to the eyes by the climatological analysis, identification of slopes, coverage, frequency of fires and fuels. In the second objective (ii) to assess the susceptibility to forest fire risks in the Municipality of Santiago de Cali, the calculations were made through the ArcGIS software map algebra. Third (iii) Set out a strategy for restoring areas susceptible to forest fire risk. Once the sustainable areas for forest fires have been identified and evaluated, a recovery strategy for the affected areas is presented. For the percentage of this analysis, the 55641.38 has the municipality of Cali, 25.16% presents very low risk, 37.38% presents a moderate risk and is found in areas of special importance to the municipality and only 7.99% presents high risk and Very high to forest fires.

Keywords: Forest fires, GIS, Ecological restoration

INTRODUCCION

Los incendios forestales, se constituyen en un riesgo ecológico, que generan pérdidas de la biodiversidad, desestabilizan ecosistemas y los ciclos naturales, afectando directamente al ambiente y al hombre. Pueden ser considerados como perturbaciones ecológicas de efectos discretos o difusos, graves o destructivos, producidos por fuego de origen natural o antrópico, cuya dinámica responde fundamentalmente a la concurrencia simultánea de tres o más condiciones en un mismo sitio (tipo de vegetación, cantidad de combustible, oxígeno, condiciones meteorológicas, topografía, actividades humanas, entre otras) los cuales se desarrollan sin control ni límites preestablecidos sobre terrenos con alguna clase de cobertura vegetal (nativa, cultivada o inducida), utilizando como fuente de combustible la vegetación viva o muerta y, por el riesgo que representa para los sistemas naturales o sociales, deben prevenirse y extinguirse.[2].

En el ámbito nacional, regional y local existe creciente preocupación e interés por la conservación o recuperación de la calidad de vida mediante la relación e influencia de las conductas humanas individuales y sociales – interactuantes con su entorno. El interés que ha despertado este tipo de eventos se ha acentuado debido a su posible aumento, incidencia y relación con el calentamiento global y el cambio climático a nivel mundial y local, que probablemente acarre transformaciones drásticas en el paisaje, en las actividades humanas y en la economía, con efectos en los consumos, formas de producción – agropecuaria, forestal, agrícola – microclimas etc.

La ocurrencia de los incendios forestales puede estar aumentado en las regiones claramente ecuatoriales y relativamente húmedas como el caso del Valle del Cauca, donde se consideran antropogénicos o de causas antrópicas, es decir su aparición está directamente relacionada con actividades humanas en cerca del 95% de los casos.

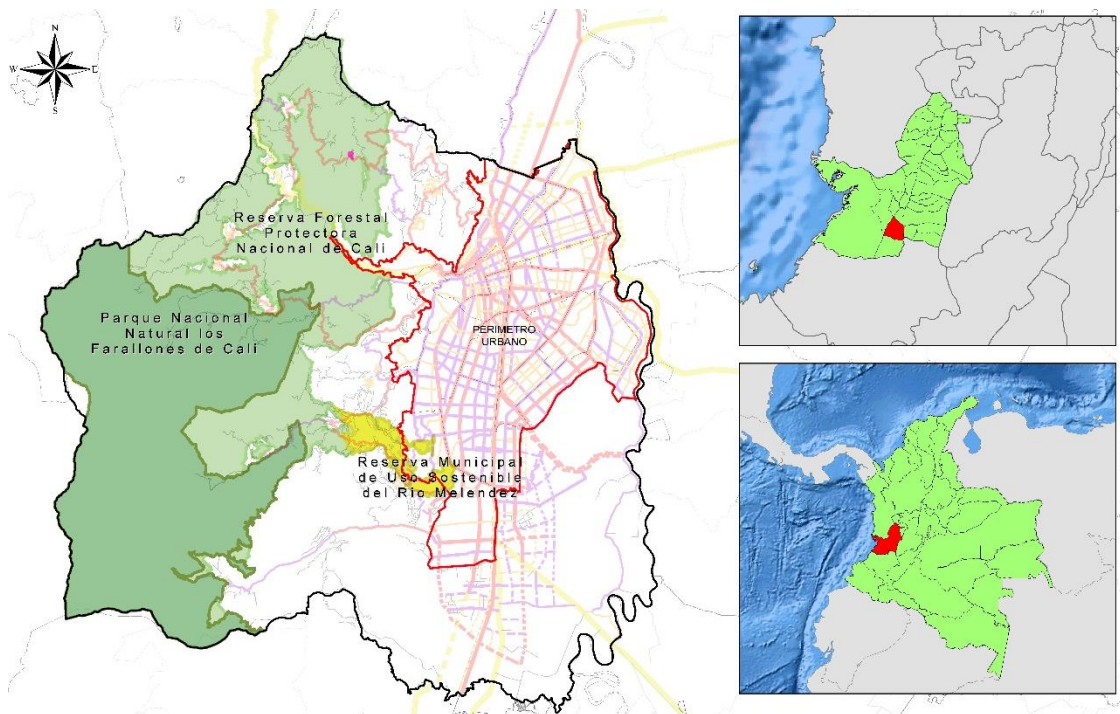
Por ello la CVC viene realizando desde 1997 el proyecto de prevención y control de incendios forestales en el Valle del Cauca el cual observa afinidades conceptuales y técnicas con los lineamientos de la Comisión Nacional y con los del grupo de Gestión Ambiental para la prevención y mitigación del Ministerio del Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. En el marco de dicho proyecto departamental se ha fortalecido el aspecto de la prevención, que junto con la detección y combate efectivo, que se deben fortalecer con el objeto de disminuir la ocurrencia y propagación de incendios forestales, de manera que cada vez exista mayor eficiencia económica y operativa.

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

1.1 DESCRIPCIÓN

El Municipio de Santiago de Cali, localizado en el valle geográfico del Río Cauca (departamento del Valle del Cauca), entre la margen izquierda del Río Cauca y la divisoria de aguas de la cordillera occidental de los Andes, de la cual hacen parte los Farallones de Cali, ocupa un área de 56.025 hectáreas, de las cuales 12.125 ha corresponden a la zona urbana y 43.899,66ha a la zona rural, y comprende alturas entre los 955 y 4.200 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Limita al norte con los municipios de Yumbo y la Cumbre, al nororiente con Palmira, al oriente con Candelaria y Puerto Tejada, al occidente con Buenaventura y Dagua y al sur con el municipio de Jamundí. [3]

Figura 1. Ubicación geográfica general del Municipio de Cali



Fuente: Elaboración propia

El cambio climático a nivel global ha originado fenómenos naturales como el Fenómeno del Niño. El Valle del Cauca es uno de los departamentos que más ha sido afectado, sobre todo por el aumento de incendios forestales en 32 de sus municipios, y especialmente, en Cali. Es bien sabido que la producción de resequeidad en la capa vegetal produce una enfermedad ecológica llamada erosión, la cual es causa y consecuencia de la aparición de incendios que afectan bosques, cultivos y pastos, por ello los sectores de Cali más afectados por incendios se ubican en la zona rural, como el caso de La Buitrera y Golondrinas,

sin desconocer los de la zona urbana, como la comuna 1, 2 y 19. Ahí han sucedido la mayoría de incendios que en 2010 fueron 777; en 2012, 720; y en 2017, 159[4].

Ahora bien, frente a esta problemática las diferentes instituciones ambientales municipales han generalizado dos análisis. Ambos manifiestan que, si bien el cambio climático es causante del aumento de incendios forestales, es mayor causante la acción humana cotidiana. Sin embargo, el primero identifica que esta acción se centra en la falta de cultura ambiental que se demuestra cuando las personas dejan cerillas, basura y vidrios en los parques, materiales que ayudan a la producción de incendios; el segundo, denuncia que sistemáticamente algunas comunidades han generado intencionalmente incendios con el fin de invadir los terrenos afectados.

En ese sentido, la política municipal se ha centrado en el fortalecimiento en cantidad y calidad de las brigadas de bomberos; instalación de cámaras detectoras de fuego; fortalecimiento de la articulación entre el DAGMA, Policía ambiental, CVC, Defensa Civil y bomberos; difusión de medidas preventivas y de educación ambiental; recuperación de zonas verdes del área de ladera urbana y la zona rural; eliminación de basureros crónicos; aumento de los diques del Río Cauca y el Río Cali, entre otras.

Si bien dichas políticas han avanzado en la prevención y mitigación de incendios forestales en la ciudad, para enfrentar el problema en su raíz es necesario darle mayor importancia al cambio climático y a las actividades que lo generan, para entender el aumento de incendios y de temperatura. Por consecuencia de estas alarmantes cifras es necesario generar herramientas de prevención a posibles tragedias que generen una disminución significativa a la cobertura boscosa.

El clima del municipio es determinado por la zona de Convergencia Intertropical. El municipio presenta un régimen bimodal de lluvias caracterizado por dos temporadas lluviosas (abril –junio y octubre –diciembre) y dos secas (diciembre a marzo y de junio a septiembre). La convergencia de estos parámetros climáticos en función con el relieve particular del municipio, lo convierten en un territorio con gran diversidad de ecosistemas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener la zonificación de amenaza por incendios forestales en el Municipio de Cali que permita establecer estrategias de prevención en áreas de conservación.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar los principales factores de riesgo para la determinación de la amenaza a incendios forestales.
- Evaluar la susceptibilidad a riesgos por incendio forestales en el Municipio de Santiago de Cali.
- Plantear una estrategia de restauración de áreas susceptibles a riesgo de incendios forestales.

3. JUSTIFICACIÓN

La ciudad de Cali, dada su localización geográfica y su historia geológica, es un municipio con alta diversidad ecológica y biológica. Sin embargo, el estilo de desarrollo impuesto ha generado amplios cambios en las condiciones y características de sus ecosistemas, de su paisaje y de sus recursos naturales. Esta situación se expresa en fenómenos de magnitud creciente como la disminución de la cobertura boscosa, degradación de suelos y la erosión de las cuencas hidrográficas, entre otros, ocasionando simplificación ecosistémica, reducción de la biodiversidad, y la disminución del potencial alimentario.

Posiblemente un proceso de gran relevancia, por su alto impacto para el desarrollo ambiental de la ciudad. El Municipio de Cali viene perdiendo aceleradamente su oferta hídrica, especialmente la de importancia económica, como consecuencia de la deforestación con propósitos agrícolas, ganaderos y en menor escala la contaminación por acción de los incendios forestales y las quemas.

Este último fenómeno ha generado a que gran parte del territorio, presente todo tipo de erosión en los terrenos cercanos a los ríos, quebradas, áreas de conservación y demás fuentes de agua. En ciudades como Cali, una de las más grandes del país, los asentamientos urbanos en las zonas de protección a lo largo de la ribera de los ríos son exponentes típicos de la situación planteada.

Al analizar el panorama de la ciudad, encontramos sectores de la orografía local que presentan un alto grado de deterioro y por consiguiente un impacto visual y ambiental negativo, lo cual evidencia la inadecuada utilización del paisaje. Se escogió como zona de estudio las áreas rurales del municipio por su importancia en su simbología, localización y fuerte tendencia de desarrollo; además por constituirse ecológica, ambiental y paisajísticamente en una de las zonas más vulnerables del Municipio de Santiago de Cali en la ocurrencia de los incendios forestales.

Por todo lo anterior con la presente investigación se busca detectar las principales Zonas susceptibles a incendios forestales con el objetivo de establecer cuáles son los principales orígenes del deterioro de las áreas de conservación del Municipio de Cali, además de identificar las áreas de vulnerabilidad y mayor amenaza.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 INCENDIO FORESTAL

Según el MinAmbiente los incendios forestales es fuego que se extiende sin control, cuyo combustible principal es la vegetación viva o muerta[5]. Para otros autores es la propagación libre y no programada del fuego sobre la vegetación en los bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas. El combustible es el factor principal que determina la magnitud de este[6].

Se conocen tres tipos de incendios determinados por la naturaleza de los combustibles presentes:

4.1.1 Los incendios superficiales. Son los más comunes en Cali. El fuego se propaga en forma horizontal sobre la superficie del terreno, afectando combustibles vivos y muertos; como pastizales, ramas, arbustos o pequeños árboles, troncos, humus, entre otros que se encuentran desde la superficie del suelo y hasta 1.5 metros de altura.

4.1.2 Los incendios de copa o aéreos. Menos del 8%, consumen la totalidad de la vegetación, son peligrosos y muy difíciles de controlar. Los incendios subterráneos, inician de forma superficial, bajo el suelo mineral debido a la acumulación y compactación de los combustibles. Por lo general, no producen llama y emiten poco humo. Aunque no son muy comunes (menos de 2%), cuando se presentan son peligrosos y difíciles de controlar.

Figura 2. Perdida de cobertura vegetal por incendios forestales



Fuente: Elaboración propia

4.2 TRIANGULO DEL FUEGO

Para que la combustión ocurra, hay tres elementos que deben estar presentes, y además, en la apropiada proporción. Estos tres elementos son: EL CALOR, EL OXIGENO Y EL COMBUSTIBLE.

4.2.1 Oxígeno. Es uno de los elementos que forman parte de nuestra atmósfera, en una proporción de un 21% y, afortunadamente para nosotros, no es necesario eliminarlo todo para romper el balance del triángulo del fuego, es suficiente reducirlo al 14% o menos. Al disminuir la proporción del oxígeno, la combustión se va retardando hasta llegar a desaparecer.

4.2.2 Calor. Cuando el combustible alcanza una determinada temperatura, éste empieza a “romperse”, liberando moléculas en forma de gases, primero vapor de agua y luego otros, que son altamente inflamables. Esta temperatura es llamada “punto de vaporización” del combustible. En este momento si aplicamos una cerilla son los gases los que arden y no el combustible en sí.

El calor desprendido por un combustible ardiendo se mide en calorías, y para nuestro conocimiento, una caloría es el aumento de calor requerido para que un gramo de agua aumente un grado centígrado su temperatura.

4.2.3 Combustible. Es cualquier sustancia capaz de arder en determinadas condiciones. Cualquier materia que pueda arder o sufrir una rápida oxidación.

Figura 3. Representación del Triángulo de Fuego



Fuente: Vivienda Y Desarrollo Territorial Ministerio de Ambiente, 'Cartilla Orientadora Para La Gestión Del Riesgo En Incendios Forestales', 2012, 38 [7]

4.3 DEFINICIÓN DE LA PRIORIDAD PROTECCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES

4.3.1 Amenaza. La amenaza corresponde a un fenómeno de origen natural, socio-natural, tecnológico o antrópico en general, definido por su naturaleza, ubicación, recurrencia, probabilidad de ocurrencia, magnitud e intensidad (capacidad destructora).

Según Aguirre [7] define las amenazas naturales como “aquellos elementos del ambiente biofísico que son peligrosos al hombre y que están causados por fuerzas extrañas a él”. Los principales estudios realizados sobre amenazas naturales desde los últimos 10 años se han concentrado en Centro América. Diferentes estudios revisados acogen y trabajan el concepto de "amenazas naturales" como a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos (especialmente sísmicos y volcánicos) y a los incendios que, por su ubicación, severidad y frecuencia, tienen el potencial de afectar adversamente al ser humano, a sus estructuras y a sus actividades. Se hace un énfasis en que la condición de "natural" excluye a todos los fenómenos causados exclusivamente por el hombre como la contaminación y los eventos naturales inducidos por el hombre a partir de sus condiciones sociales; exclusión que deja a las investigaciones en curso carentes de otras formas de análisis de la amenaza[8].

4.3.2 Vulnerabilidad. Predisposición de un elemento a ser afectado, a sufrir daño y de encontrar dificultad de recuperarse. Corresponde a la probabilidad de afectación física, económica, política o social que tiene una comunidad o un grupo de elementos de sufrir efectos adversos en el caso de que se presente un fenómeno peligroso de origen natural o antrópico. La propuesta interpreta la vulnerabilidad ante un incendio de la cobertura vegetal a partir de la población, los valores de protección de infraestructuras e instalaciones, las actividades económicas, el patrimonio natural, histórico y cultural y la acción institucional, así como algunos aspectos territoriales y Ecosistémicos[3].

Para Carmen [8] define la vulnerabilidad como el grado de pérdidas o daños que pueden sufrir, ante un incendio forestal, la población, los bienes y el medio ambiente, y en este sentido, la Planificación de la Protección contra Incendios de los sistemas forestales debe recoger este enfoque como complementario al tradicional del valor intrínseco de los montes. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - DEAM.

4.3.3 Riesgo. Lo primero que llama la atención al revisar la bibliografía es que, a pesar de tratarse de un fenómeno ampliamente extendido y que involucra a sectores tan diferentes como los científicos o los servicios de extinción, existe una gran confusión en cuanto al uso de una terminología apropiada y común. Algunos autores definen el riesgo como la probabilidad y la magnitud de las consecuencias [adversas] después de un evento climático de peligro[1].

Es el “evento identificable en el tiempo y en el espacio, en el cual una comunidad ve afectado su funcionamiento normal, con pérdidas de vidas y/o daños de magnitud en sus propiedades y servicios, que impiden el cumplimiento de las actividades esenciales y normales de la sociedad[9].

4.3.4 Análisis de Riesgo. Considera el estudio de los factores que determinan la iniciación de incendios forestales (ocurrencia). Se contemplan dos componentes importantes en el análisis: Ocurrencia histórica; que corresponde a los incendios que se han producido en el pasado y Ocurrencia potencial; se refiere a los incendios que probablemente se originaran en periodos próximos por efecto de la acción de agentes tales como negligencias humanas, operaciones forestales, tránsito de vehículos, fenómenos naturales, flujo de turistas, etc.[10]

4.4 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA – SIG

Cualquier situación de emergencia necesita una respuesta rápida, hábil y certera y los incendios forestales son un ejemplo de ello. Los Sistemas de Información Geográfica se han convertido en una piedra angular a la hora de prevenir y gestionar incendios forestales. Su capacidad de análisis permite a los cuerpos de bomberos y a todos los cuerpos de seguridad participantes en la extinción actuar de forma coordinada y tomar las mejores decisiones para reducir en la medida de lo posible el daño causado por el fuego, tanto a nivel medioambiental como a nivel civil. Saber dónde está el fuego, con qué rapidez puede extenderse o cuáles son las zonas prioritarias para las labores de evacuación y extinción son algunas de las posibilidades que presenta.

La construcción e implementación de un SIG, en cualquier proyecto es una tarea siempre progresiva, compleja, laboriosa y continúa.

Francisco [11] hace referencia a que un Sistema de Información (SI) consiste en la unión de información en formato digital y herramientas informáticas (programas) para su análisis con unos objetivos concretos dentro de una organización (empresa, administración, etc.). Un SIG es un caso particular de SI en el que la información aparece georreferenciada es decir incluye su posición en el espacio utilizando un sistema de coordenadas estandarizado resultado de una proyección cartográfica[11].

Otros autores definen a los como SIG como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente en la captura, almacenamiento, análisis, transformación y presentación de toda la información geográfica y sus atributos, con el fin de satisfacer múltiples propósitos. Los SIG son una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato[12].

En la aplicación de los incendios de forestales los SIG se dividen según el método usado para modelizar la realidad geográfica, es decir, como se representan

gráficamente los aspectos del territorio o del medio que nos interesan. Se puede señalar que el equivalente digital a un mapa topográfico, de papel, es un conjunto de capas (temas o coberturas) y un conjunto de gráficos (textos, leyendas y marcos). Cada capa de información de un mapa presenta información sobre un aspecto del territorio que interesa conocer. Según el modo en que estas capas se transforman en información digital, se tienen dos tipos de capas y por tanto de SIG:

Capa raster: consiste en una malla rectangular de celdillas cuadradas o píxeles. Cada celdilla presenta un número que aporta la información alfanumérica necesaria para modelizar un aspecto del medio. Normalmente estas capas modelan aspectos del medio cuantitativos que son muy variables.[13]

Capa vectorial: utilizan un conjunto de puntos, líneas o polígonos que modelizan, preferentemente, un aspecto del medio cualitativo, ya que son menos variables. Estos puntos, líneas o polígonos se conocen como objetos o características o entidades

- **Puntos**, que son pares de coordenadas (x, y), que marcan la posición de lo modelado sobre la superficie de la Tierra. Definen objetos pequeños respecto a su entorno más próximo.
- **Polilíneas** son una serie ordenada de puntos denominados vértices, los puntos inicial y final se denominan nodos. La visualización está formada por segmentos rectos entre los vértices.
- **Polígonos** son polilíneas cerradas que delimitan superficies

4.4.1 Construcción y componentes de un SIG

4.4.1.1 Datos El componente más importante para un SIG es la información. Se requiere de buenos datos de soporte para que el SIG pueda resolver los problemas y contestar a preguntas de la forma más acertada posible.

La consecución de buenos datos generalmente absorbe entre un 60 y 80 % del presupuesto de implementación del SIG, y la recolección de los datos es un proceso largo que frecuentemente demora el desarrollo de productos que son de utilidad.

4.4.1.2 Personal. Las tecnologías SIG, son de valor limitado sin los especialistas en manejar el sistema y desarrollar planes de implementación del mismo. Sin el personal experto en su desarrollo, la información se desactualiza y se maneja erróneamente, el hardware y el software no se manipula en todo su potencial.

4.4.1.3 Procedimientos o Métodos. Para que un SIG tenga una implementación exitosa, debe basarse en un buen diseño y reglas de actividad definidas, que son

los modelos y practicas operativas exclusivas en cada organización. La recolección de información y la introducción de la misma en el sistema, requiere de una gran calidad de diseño y trabajo, una capacitación intensiva y un control frecuente para vigilar la calidad. En otras palabras, además de contar con equipos y programas adecuados para realizar el trabajo, la utilización eficaz del SIG requiere contar con personal suficientemente capacitado, así como con servicios de planificación, organización y supervisión, que permitan mantener la calidad de los datos y la integridad de los productos finales.

Los SIG corren en un amplio rango de tipos de computadores, desde equipos centralizados, hasta configuraciones individuales o de red, una organización requiere de hardware (equipo) suficientemente específico para cumplir con las necesidades de aplicación, además de los programas o software, son necesarias herramientas y funcionalidades para almacenar, analizar y mostrar información geográfica.

4.5 ÁREAS PROTEGIDAS

De acuerdo con el documento SIMAP 2012 del DAGMA, “el Sistema Municipal de Áreas Protegidas – SIMAP se define como el conjunto de áreas protegidas y complementarias, públicas y privadas, declaradas y que se declaren en adelante, articuladas funcionalmente en el municipio de Santiago de Cali, con las normas, los instrumentos de gestión, y los actores sociales que interactúan, para la conservación de la diversidad biológica, cultural y la oferta de bienes y servicios ambientales como estrategia para la sustentabilidad del municipio”. Área Protegida De acuerdo con el Decreto 2372 de 2010, se define como: “Área definida geográficamente, designada, regulada y administrada a fin de alcanzar los objetivos específicos de conservación”. Áreas complementarias o Estrategias de Conservación Son espacios de importancia ecológica y cultural que, sin ser áreas protegidas, contribuyen al logro de los objetivos de conservación del SIMAP - CALI. • Corredores ambientales • Rondas de protección de los ríos • Parques urbanos • Reservas Naturales de la Sociedad Civil no reguladas • Humedales artificiales o naturales transformados[14].

4.6 RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

En un contexto global, el origen de la restauración ecológica se puede ubicar a principios del siglo XX en Estados Unidos, cuando Aldo Leopold (1934) dijo en su discurso de dedicación del Arboretum de la Universidad de Wisconsin “Ha llegado el momento de que la ciencia se ocupe de la tierra. El primer paso es reconstruir una muestra de lo que teníamos en un principio”. Ya para entonces existían esfuerzos de reforestación, los cuales aún continúan. Sin embargo, solo hasta mediados de la década de los 80, se empezó a formalizar una disciplina en torno a la restauración de los ecosistemas, en la cual el objetivo era la recuperación no solo de la cobertura boscosa sino del ecosistema en su conjunto.

En Colombia esta disciplina se formalizó a nivel nacional en 1998 con dos documentos de política. El primero fue el “Plan Estratégico para la Restauración Ecológica y el Establecimiento de Bosques en Colombia, Plan Verde, Bosques para la Paz”, conocido como ‘Plan Verde’, preparado por el Ministerio de Medio Ambiente y aprobado por el Consejo Nacional Ambiental. El objetivo de este plan era “generar las bases para involucra la restauración ecológica, la reforestación con fines ambientales y comerciales y la agroforestería en el ordenamiento ambiental territorial”. Específicamente el plan se propuso identificar las zonas de prioridad para restaurar, desarrollar prototipos de restauración, promover la incorporación de acciones de restauración en los Planes de Ordenación y Manejo Ambientales de todas las Corporaciones Autónomas Regionales que recibieran aportes del sector hidroeléctrico, restaurar los manglares y áreas afectadas por minería, establecer reforestaciones de carácter protector, revisar las políticas de desarrollo que afectan a los bosques y propiciar Mecanismos de Desarrollo Limpio, propiciar la agroforestería, propiciar las plantaciones forestales comerciales e incorporar la silvicultura en los programas nacionales de paz.

4.6.1 Restauración Ecológica (*ecological restoration*): restablecer el ecosistema degradado a una condición similar al ecosistema predisturbio respecto a su composición, estructura y funcionamiento. Además, el ecosistema resultante debe ser un sistema autosostenible y debe garantizar la conservación de especies, del ecosistema en general, así como de la mayoría de sus bienes y servicios.

4.6.2 Áreas disturbadas por incendios forestales y quemas. Los incendios son generados por causas naturales y por causas antrópicas, dentro de las cuales se encuentran descuidos, negligencia, accidentes y, sobre todo, las quemas agrícolas, con lo cual su magnitud y escala suelen ser más intensas. Las quemas como práctica agropecuaria están arraigadas culturalmente en algunas zonas del país; por ejemplo, en los páramos y en las sabanas del Vichada y Casanare se usan para la renovación de rebrotes con fines de pastoreo de ganado vacuno. En zonas cañeras de Cundinamarca se realizan como parte de la preparación de sus tierras. En la Costa Atlántica, el Chocó y los Llanos Orientales se utilizan para la caza[15].

4.7. RESTAURACIÓN DE ÁREAS QUEMADAS

La restauración áreas quemadas, o restauración ecológica post-fuego, es el proceso de ayudar en la recuperación de un ecosistema que han sido degradado, dañado o destruido por el fuego (adaptado de la definición de R.E. de la Sociedad para la Restauración Ecológica).

Restaurar un ecosistema considera devolver en el tiempo su estructura, composición, diversidad de especies y funcionamiento de la manera más cercana a su estado inicial, trabajando sobre la sucesión secundaria. La restauración ecológica post-fuego ha comenzado a tomar relevancia y por lo difícil de su aplicación, la mayoría de las experiencias en el mundo considera sólo una parte

de los objetivos de la restauración ecológica, focalizándose en contrarrestar el desbalance hídrico originado después de un incendio –restauración hidrológica- y su impacto en las poblaciones aguas abajo de la cuenca afectada.

La planificación de estrategias de manejo del fuego y restauración de bosques requiere de información acerca de los antecedentes de incidencia histórica de los incendios, su distribución espacial y temporal, los tipos de vegetación más frecuentemente afectados, el tamaño y duración de los incendios, el personal y los medios utilizados en el combate[16]. Así mismo es conveniente contar con información geográfica para elaborar análisis y modelos a escala del paisaje que ayuden al entendimiento de patrones y procesos ecológicos relacionados con el fuego y la dinámica de la vegetación y a la planificación territorial de las acciones de restauración y manejo del fuego.

Figura 4. Recuperación de áreas afectadas por incendios forestales



Fuente: Elaboración propia

4.8 MARCO POLÍTICO Y NORMATIVO DE LOS INCENDIOS FORESTALES

A continuación, se tiene consolidado en cuadro 1 el marco político y normativo de incendios forestales en el país, y la legislación vigente en relación con las quemas.

Cuadro 1. Marco Político en Incendios Forestales

Norma	Año	Comentario
Plan Nacional de Desarrollo- "Prosperidad para Todos".	2010-2018	Documento que define las acciones prioritarias del actual gobierno, en el capítulo sexto de las bases del Plan involucró, la necesidad de formular la Estrategia de Corresponsabilidad Social en la Lucha contra los Incendios Forestales e implementarla, para proteger el recurso Bosque y la Biodiversidad. El Plan fue expedido por la Ley

		1450 de 2011.
Política Nacional para la Gestión Integral de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos.	2012	Orienta la gestión a nivel local, regional y nacional, para la protección de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. El eje: “Biodiversidad, gestión del riesgo y suministro de servicios ecosistémicos”. Hace referencia a la necesidad de adelantar acciones para enfrentar las amenazas relacionadas con el cambio climático y reducir la vulnerabilidad.
Estrategia de Corresponsabilidad Social en la Lucha contra los IF.	2011	Tiene como objetivo, buscar la participación y la integración de todos los actores, para trabajar en la cultura de la prevención en IF. Se encuentra en la etapa de socialización, a nivel regional y local, para comprometer en acciones preventivas a todos los actores y en especial a la comunidad en general
Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.	2010	Hace énfasis en la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica.
Plan Nacional de Prevención, Control de IF y Restauración de Áreas Afectadas.	2002	Se establecen los lineamientos de orden nacional, en relación con los IF. Para el cumplimiento de objetivo del Plan se definieron cuatro programas así: 1. Programa para el fortalecimiento de la capacidad institucional. 2. Programa de educación e información pública. 3. Programa para la investigación y mejoramiento del conocimiento en incendios forestales. 4. Programa de silvicultura preventiva, restauración ecológica y manejo de quemas agropecuarias.
Plan Nacional de Desarrollo Forestal.	2000	Uno de los Programas definidos en el Plan es el de “Ordenación, Conservación y Restauración de Ecosistemas Forestales” el cual contempla el “Subprograma de Protección en incendios forestales”, con el que se pretende fortalecer la estructura institucional, para disminuir la presencia de eventos de incendios forestales, que aporten

		al control de la deforestación, ya que los incendios forestales, son uno de los motores de pérdida del recurso bosque.
Política de Bosques	1996	El objetivo principal es el de lograr un uso sostenible de los bosques, y uno de los específicos es el de reducir la deforestación. Este documento de política está en revisión para actualizarlo a las nuevas exigencias del país.

Marco Normativo en Incendios Forestales

Ley 1523 "Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones."	2012	Regula la Gestión del riesgo en el país, por ser una norma de carácter superior y general en el tema de riesgos, se interpreta que queda también involucrado el riesgo de incendios forestales. Define la Gestión del riesgo como un proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación. Enfoca la responsabilidad de los entes territoriales en la gestión, en especial la de los municipios y le da a las Corporaciones autónomas regionales funciones de apoyo a los municipios y departamentos básicamente en conocimiento y reducción del riesgo. Esta Ley deroga la Ley 46 de 1988, el D.L 919 de 1989 y las normas que le sean contrarias
Ley 1575 "Por medio de la cual se establece la Ley general de bomberos de Colombia"	2012	Establece la Ley que todo lo relacionado con preparativos, atención de incidentes y atención de rescate, estará a cargo de las entidades bomberiles, estas acciones se constituyen en un servicio público y están a cargo del estado. Por interpretación general de la norma, los incendios forestales también serán responsabilidad de los bomberos. Esta Ley establece en su art. 41 los comités de incendios forestales, se interpreta que tiene que ver con la atención de incidentes de incendios forestales.
Ley 1333 "Por el cual se establece	2009	La comisión de daños al medio ambiente es constitutiva de infracción ambiental y darán

el procedimiento sancionatorio Ambiental y se dictan otras disposiciones”		lugar a sanción administrativa.
Ley 599 “Por la cual se expide el Código Penal”	2000	El incendio en áreas de bosques, recurso florístico o en áreas de especial importancia ecológica, está tipificado como delito de peligro común y genera cárcel
Decreto 2340 “Por el cual se dictan unas medidas para la organización en materia de prevención y mitigación de incendios forestales y se dictan otras disposiciones”	1997	Basado en el D.L 919 de 1989 (derogado) y la Ley 99 de 1993 (vigente). Esta norma crea la Comisión nacional asesora para la prevención y mitigación de incendios forestales, cuyo objetivo es servir de asesor en prevención y mitigación. La norma también crea las comisiones departamentales y municipales. Nota: está en curso un proyecto de decreto en este mismo sentido, pero ajustándolo a la nueva Ley de gestión del riesgo.
Ley 99 “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.”	1993	Los principios ambientales, de que trata la Ley, son claros en especial, con la prevención de desastres, que indica, es de interés colectivo y las medidas que se tomen para prevenir o mitigar es de obligatorio cumplimiento. En las funciones del Ministerio se tiene, la de hacer seguimiento, evaluación y control de los factores de riesgo ecológico.
Decreto Ley 2811	1974	Los artículos del 243 al 245 regulan aspectos relacionados con la organización y control de los incendios forestales, responsabilidad de la administración local y de los propietarios de fincas.

Marco Normativo en Relación con las Quemas

Resolución 0532 “Por la cual se establecen requisitos,	2005	La Norma establece condiciones y requisitos, términos y obligaciones para realizar quemas abiertas controladas en actividades agrícolas
---	------	---

términos, condiciones y obligaciones, para las quemas abiertas controladas en áreas rurales en actividades agrícolas y mineras.”		y mineras.
Decreto 4296 “Por el cual se modifica el artículo 30 del Decreto 948 de 1995”	2004	Quedan prohibidas las quemas abiertas rurales, salvo las quemas abiertas controladas en actividades agrícolas y mineras.
Decreto 903 “Por el cual se modifican los Decretos 2107 de 1995 y 2143 de 1997.”	1998	Se exceptúan de las prohibiciones del D. 948 de 1995, D.2107 de 1997 y D. 2143, las quemas abiertas controladas, para control de heladas en actividades agrícolas.
Decreto 2143 “Por el cual se establecen prohibiciones temporales por el fenómeno de Niño y se dictan otras disposiciones.”	1997	Una norma que indica prohibiciones de efectuar quemas mientras persista el fenómeno del Niño en todo el territorio nacional.
Decreto 2107 “Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995 que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire.”	1995	Modifica el art 30 del D.948 de 1995, indica que las quemas abiertas en áreas rurales, que se realicen p para la preparación de suelo en actividades agrícolas, el descapote del terreno en actividades mineras, la recolección de cosechas o disposición de rastrojo, estarán controladas y sujetas a las reglas que al efecto establezca el Ministerio de Medio Ambiente.
Decreto 948 “Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73,74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de	1995	Las quemas están sujetas a control tales como: <ul style="list-style-type: none"> • Las quemas de bosque natural y de vegetación protectora y demás quemas abiertas prohibidas. • Las quemas abiertas controladas en zonas rurales.

la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.”		
---	--	--

Fuente: Normatividad del Riesgo Por Incendios Forestales [17]

4.9 ANTECEDENTES

María [20] diseño un modelo SIG para la determinación de zonas en riesgo por incendios forestales en los cerros orientales de la ciudad de Bogotá. Para ello, se revisaron, analizaron y ajustaron manualmente los datos de los incidentes forestales ocurridos en Bogotá para el periodo 1999-2012. A su vez, a partir de los datos meteorológicos correspondientes al periodo 1966-2013, se realizó un estudio comparativo del desempeño de dos modelos para determinar el índice de peligro estimado y la ocurrencia de incidentes en periodos específicos para la zona de estudio. Encontraron que uno de los índices analizados, el índice de peligro del modelo Montealegre (FMA) presentó mayor significancia en la ocurrencia de incidentes, lo que permitió la asignación de una ponderación y por tanto el ser introducido a la variable de amenaza de la ecuación de riesgo establecida en el “Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios forestales de la cobertura vegetal escala 1:100.000”, publicado oficialmente por el IDEAM en el 2013. El modelo resultante de este trabajo permitió la obtención de mapas diarios de riesgos de incendios de la cobertura vegetal en los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá. Esta herramienta permitirá la generación diaria de informes de alertas tempranas para la toma de decisiones, acciones de vigilancia, prevención y control de eventos que impactan el ecosistema[20]¹.

Por otro lado, en la ciudad de Madrid, España López Sardá [18] aplicaron técnicas de restauración hidrológico forestal en la recuperación de áreas degradadas por incendios forestales. Como primera instancia, presentaron análisis de la problemática actual de la erosión y desertificación señalando el papel de los incendios forestales como uno de los principales factores que favorecen el avance de este proceso. La metodología propuesta consistió en restaurar áreas incendiadas, la metodología se fundamenta en incorporar los criterios propios de las técnicas de restauración hidrológico forestal tradicionales en la planificación y toma de decisiones para determinar técnicas de restauración y recuperación de áreas degradadas por el fenómeno de los incendios forestales, cuya principal característica es el hecho de dejar el suelo desprovisto de vegetación, anulando los efectos beneficiosos y protectores que tiene sobre el suelo en particular y sobre los ecosistemas en general[18].

¹ [9] Diseño de un modelo SIG para la determinación de zonas en riesgo por incendios forestales en los cerros orientales de la ciudad de Bogotá (Tesis de Maestría)

5. METODOLOGÍA

Existen una gran cantidad de índices y metodologías para estimar el riesgo por incendio forestal que pueda recaer en una zona determinada las cuales involucran factores meteorológicos, topográficos y sociales ya sea con un solo índice que contenga unas variables preestablecidas o llegar a realizar una predicción mucho más robustas a partir de la unión de varios de ellos. En Colombia no existe un estándar que permita ejecutar un índice de riesgo específico, y aquellos que son comúnmente utilizados en Europa y en Norteamérica, emplean factores directamente relacionadas a su posición geográfica que impiden representar un modelo de predicción idóneo al interior del territorio nacional[19].

La determinación de las áreas con Prioridad de Protección de Incendios Forestales tiene como propósito categorizar zonas dentro de un contexto municipal, contando con una base de información cuantitativa y empírica, que facilite la toma de decisiones y la focalización de las actividades de prevención, detección y control de los incendios forestales.

La metodología utilizada para la evaluación y zonificación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo como análisis preliminar del fenómeno de incendios forestales en el Municipio de Cali, está basada en el Protocolo para la realización de Mapas de Zonificación de Riesgo a Incendios de la Cobertura Vegetal; realizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM propuesta en el año 2011.

El protocolo se estructura en forma de fichas metodológicas, que corresponden a cada etapa o fase que es necesario seguir (Anexo 2). Se requiere que para una mayor facilidad de aplicación se utilice como herramienta espacial un SIG[9].

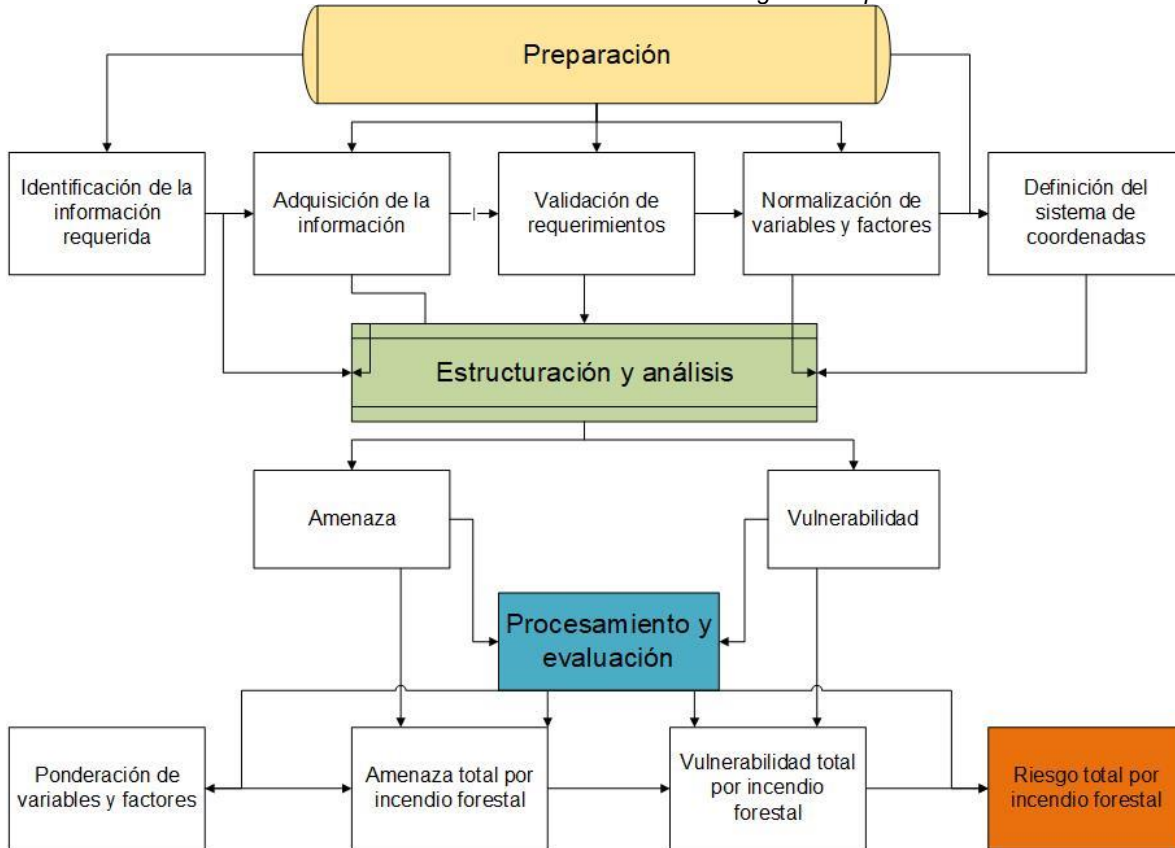
5.2 PROCEDIMIENTO

Definido el esquema metodológico, se procedió a recopilar la información cartográfica temática y estadística requerida, procedente de diferentes estudios realizados sobre el Municipio de Cali, procurando recopilar la mejor información tanto en formato digital como en formato análogo, teniendo siempre en cuenta el año de producción, institución desarrolladora, escala de elaboración, etc.

La elaboración del presente documento se realiza a partir de la estructuración y procesamientos sugeridos a través del protocolo, que, complementado con el diagnóstico preliminar asociado sobre la zona de estudio, el marco de referencia, el diseño adecuado de un SIG, permiten establecer una solución integral entre la adecuada planeación territorial y la protección del ecosistema. (Anexo 4)

Las fases metodológicas propuestas se han establecido de la siguiente manera:

Ilustración 1. Estructuración de las fases metodológicas a implementar



Fuente: Elaboración propia

5.2.1 Identificación de insumos. La identificación y obtención de la información cartográfica necesaria se realiza siguiendo los lineamientos establecidos mediante el “Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios forestales de la cobertura vegetal – adaptado a escala 1:25.000”.

5.2.2 Adquisición de la información. Teniendo en cuenta que previamente se han identificado cuáles insumos son necesarios y fundamentales, es necesario solicitar cada uno de ellos ante la entidad competente y propietaria de la información.

Una vez validados los requerimientos y definidas las variables, es necesario establecer un criterio coherente para integrarlas apropiadamente; para ello, las variables deben clasificarse según una escala numérica de riesgo. En muchos casos, la formulación de los niveles de riesgo supone un cambio en la naturaleza del dato, por ejemplo, diferentes intervalos de pendiente deberán definirse mediante valores numéricos asociados a un nivel de riesgo específico (bien sea bajo, medio o alto), por lo que se deberá pasar de una escala nominal-categorica a otra de naturaleza ordinal. Así mismo, la integración de las variables en un índice

único requiere que se pondere cada una de ellas en función de su importancia en la explicación de la ocurrencia del incendio. (Anexo 2)

Debido a que existen diferencias entre las escalas sobre las cuales se miden las variables y factores, es necesario estandarizarlos antes de combinarlos y transformarlos para que todos ellos puedan ser correlacionados. Si se tiene en cuenta que todos los factores que se incorporan al análisis son variables de índole continua y adquieren características de grupos difusos, es decir que presentan vaguedad en la definición de sus límites y rangos, para poder llegar a categorizarlos y clasificarlos adecuadamente, se requiere de una normalización. El criterio de normalización empleado se basa en los propuestos por la lógica difusa utilizando la siguiente ecuación:

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

Donde,

X = El valor que adquiere puntualmente en el espacio el factor

Min = El valor mínimo del factor en toda el área de estudio

Max = El valor máximo presentado por el factor en toda el área de estudio

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

$$\text{Amplitud del rango} = ((\text{Max1} - \text{Min1})) / n$$

Donde:

Min1 = Valor mínimo normalizado del factor en toda el área de estudio

Max1 = Valor máximo normalizado presentado por el factor en toda el área de estudio

N = Número total de datos de cada factor

Una vez fueron normalizadas las variables y los factores se agruparon bajo una distribución de frecuencias en cinco rangos generando el tamaño de cada uno de ellos, a partir de la amplitud de los valores generados arrojando una calificación categórica: 1 Muy Bajo, 2 Bajo, 3 Moderado, 4 Alto, 5 Muy Alto. Cabe resaltar que esta calificación se realizó en el proceso metodológico para obtener la cartografía base inicial que permitió elaborar los mapas preliminares de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo, después de verificar el resultado de los tres mapas fue necesario recategorizar para facilitar el entendimiento de la información representada siguiendo los siguientes parámetros: Alto, Medio, Bajo. (Anexo 1)

5.2.3 Definición del Sistema de Proyección.

El sistema de referencia usado para medir distancias horizontales y verticales en un mapa planimétrico. Un sistema de coordenadas es generalmente definido por una proyección de mapa, un esferoide de referencia, unos datos, uno o más paralelas estándar, un meridiano central y ejes posibles en orientaciones X y Y para localizar posiciones X y Y de entidades de punto, de línea y de área [25]².

La cartografía básica oficial del Municipio de Santiago de Cali que se encuentra disponible para acceso público en el Geoportal de la IDESC es el resultado de un proceso de restitución fotogramétrica realizado en 1.993, cuyas capas de datos se han ido actualizando continuamente por el Departamento Administrativo de Planeación Municipal (DAPM). El sistema de coordenadas de dicha cartografía es un sistema de coordenadas cartesianas, conocido como Catastro Topográfico Municipal (CMT) u origen San Antonio.

Este sistema de coordenadas está basado en el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA - SIRGAS, adoptado en Colombia por resolución 068 del 2.005 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. Los parámetros locales, definidos por el IGAC, son los siguientes:

Sistema de Coordenadas Cartesiano de Cali. (en ArcGIS: MAGNA_Cali_Valle_del_Cauca_2009).

Proyección: Transversa Mercator.

Elipsoide: GRS 1980.

Datum: MAGNA Origen Santiago de Cali.

Latitud: 3°26'30,779" Norte.

Longitud: 76°31'14,025" Oeste.

Falso Norte: 872.364,630 m.

Falso Este: 1'061.900,180 m.

Plano de Proyección: 1.000 m.

[28]http://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/105289/proyecciones_transformaciones_cartograficas_idesc/

5.3 CONTROL DE CALIDAD

5.3.1 Criterios para evaluar la información. Para evaluar la información existen varios criterios que debes conocer. Estos son: Relevancia, Alcance, Autoridad, Credibilidad, Actualidad, Objetividad y Exactitud.

5.3.2 Relevancia. Es un elemento basado en el juicio. Usualmente para establecer la relevancia debes determinar qué información necesitas, que tipo de fuentes vas a utilizar y cómo utilizarás la información (ensayo, monografía, presentación). Es importante determinar la relevancia en torno al tema que estas investigando.

5.3.3 Alcance. Para conocer si el documento que has seleccionado tiene el alcance adecuado, debes examinar el contenido de la información si tiene un balance entre los datos y las opiniones. Como marco de comparación debes consultar otras fuentes que presenten otros puntos de vistas a favor y en contra del tema. Esto te ayudará a enfocar tu proyecto desde varias perspectivas.

5.3.4 Autoridad / Credibilidad. Para determinar la autoridad de la fuente se toman en consideración varios aspectos. Al comparar un documento de una base de datos versus un documento que aparece en la Internet, se puede inferir que los documentos contenidos en las bases de datos incluyen elementos esenciales tales como: nombre del autor, el título de la publicación, la fecha de publicación y más. Por otro lado, en la Internet muchas veces los documentos no presentan estos datos esenciales. En cambio, los documentos que aparecen en las bases de datos pasan por un proceso de revisión ya que está en juego la reputación de la empresa, mientras que los documentos publicados en la Internet no tienen ningún mecanismo de control de calidad y cualquier persona puede publicar en este medio sin tener experiencia o peritaje en el tema. En las fuentes impresas (libros) y audiovisuales, las casas publicadoras establecen criterios para determinar la autoridad, ya que el seleccionar los mejores autores le da prestigio a la institución. Si la información no incluye el nombre del autor, entonces se debe evaluar la institución o agencia que auspicia la publicación y determinar si ésta cuenta con la autoridad y el peritaje necesario sobre el tema[20].

5.3.5 Actualidad. Para determinar la actualidad se toma en consideración la fecha de publicación del documento. Hay tres escenarios principales al momento de buscar información que son: información actualizada (al día), información de los últimos tres (3) años e información publicada que excede los últimos tres años (en algunos casos históricos). Entre la información actualizada están los temas científicos, negocios y mercadeo, la política, algunos temas sociales de actualidad, la medicina y más.

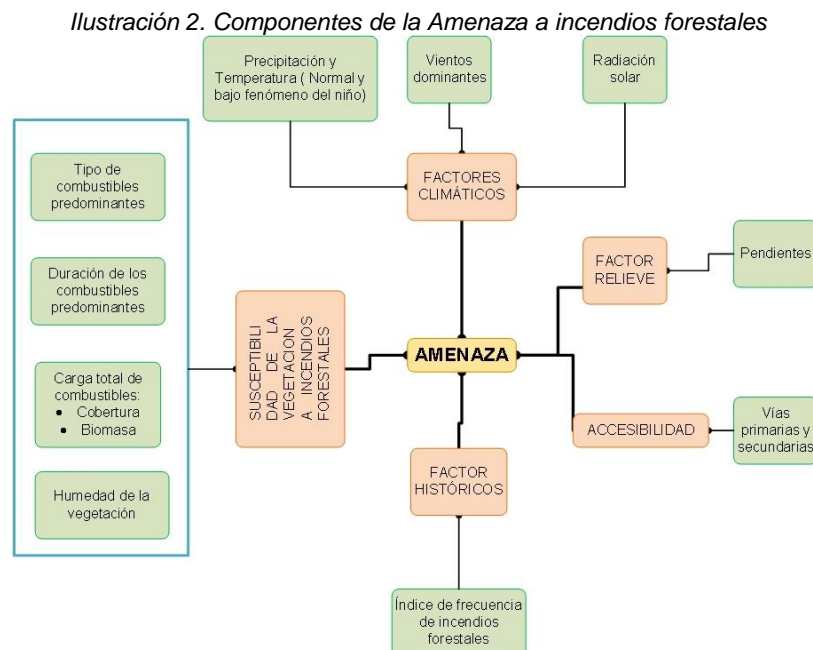
5.3.6 Objetividad. La objetividad se define como la verdad basada en datos comprobables sin tomar en consideración las reacciones que esto provoque en otros. (aceptación o no aceptación de la información). Si partimos de la premisa

que la información nunca es totalmente objetiva, entonces debemos prestar mucha atención a este criterio. Existen varios factores que impiden que la información pueda ser objetiva y estos son: las necesidades, la forma en que perciben los hechos, los valores e intereses de los autores. Otros factores son el contexto social que refleja las actitudes y valores de la época en que se escribe el documento. Para cumplir con este criterio debes evaluar y cuestionar los diferentes puntos de vista sobre un tema, la verdad y la exactitud de la información.

5.3.7 Exactitud. La exactitud se mide a base de información correcta y exacta. Usualmente se recomienda que para validar la exactitud se compare la información con otra ya investigada y verificar los datos en fuentes impresas. Es importante considerar que la información no actualizada tiende a no ser exacta. Por otro lado, las páginas electrónicas que pertenecen a una organización son estables y que las páginas electrónicas que pertenecen a un individuo se consideran inestables, en cuyo caso es mejor no utilizarla.

5.4 ESTRUCTURACIÓN Y ANÁLISIS

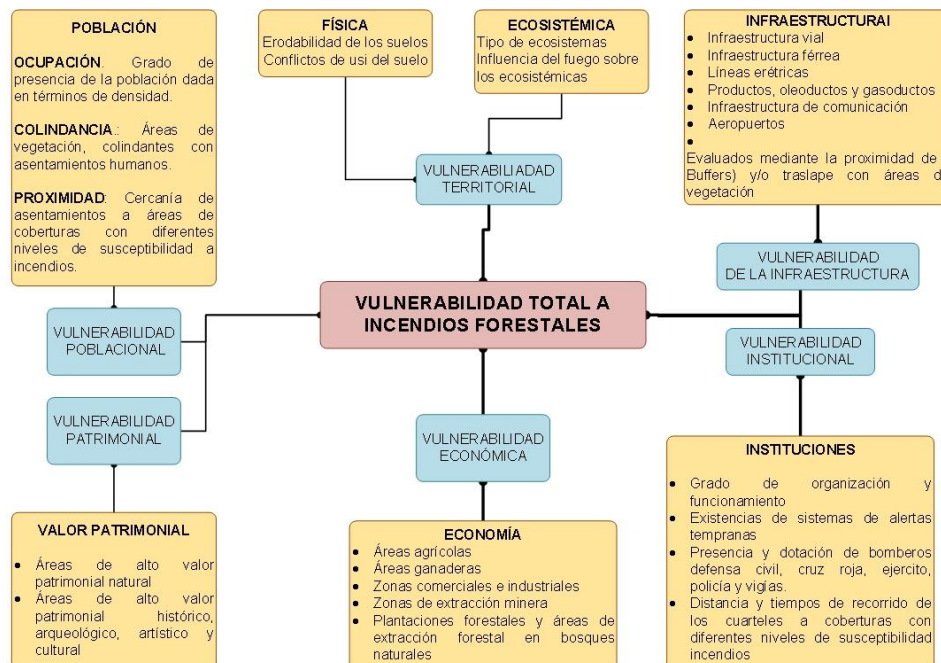
5.4.1 Amenaza. La realización de mapas de zonificación de riesgo describe cinco parámetros a tener en cuenta para la elaboración de la cartografía de Amenaza a incendios forestales como son: Factor climático, susceptibilidad de la vegetación, factor relieve, accesibilidad y factor histórico. En el caso del Municipio de Cali no se tiene en cuenta el último factor referenciado. En lo que respecta a susceptibilidad de la vegetación a incendios se obvio la humedad de la vegetación.



Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Vulnerabilidad. La metodología adoptada plantea el análisis de seis tipos de vulnerabilidad entre ellas, vulnerabilidad poblacional, patrimonial, económica, institucional, de la infraestructura y territorial, para efectos del análisis solo se tuvo en cuenta la vulnerabilidad territorial. Atendiendo a la disponibilidad de información, se incluyó y trabajo de manera exclusiva con la vulnerabilidad territorial utilizando como base primordial los componentes: Físico (erodabilidad de suelos), ecosistémico y/o ecológico.

Ilustración 3. Componente de la Vulnerabilidad a incendios forestales



Fuente: Elaboración propia

5.5 PROCESAMIENTO Y EVALUACIÓN

5.5.1 Ponderación de variables y factores. De acuerdo al Protocolo del IDEAM, Una vez asignadas las respectivas calificaciones y generados los mapas de tipo, duración y carga de combustibles, se procede a la realización del producto entre cada uno de ellos (álgebra de mapas); el resultado obtenido se agrupa posteriormente en 5 categorías mediante una distribución de frecuencias y a cada grupo se le asigna una calificación que varía entre susceptibilidad muy baja (rango menor) a susceptibilidad muy alta (rango mayor), mediante la siguiente ecuación:

$$SUSC = CAL(TC) + CAL(DC) + CAL(CT)$$

Donde,

SUSC: Susceptibilidad 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

La forma de ponderación propuesta se realiza mediante el método desarrollado por Saaty (1980), que consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un Modelo Jerárquico (AHP- The Analytic Hierarchy Process- Proceso Analítico Jerárquico). El propósito del método es permitir que los agentes decisores (expertos consultados) estructuren el problema en forma visual, mediante la construcción del modelo. Una vez construido el Modelo Jerárquico, se realizan comparaciones de a pares entre dichos elementos (criterios-subcriterios y alternativas) y se atribuyen valores numéricos a las preferencias señaladas por los expertos, entregando una síntesis de las mismas mediante la agregación de esos juicios parciales. El AHP permite de una manera eficiente y gráfica organizar la información, descomponerla y analizarla por partes, visualizar los efectos de cambios en los niveles y sintetizarla[21].

El fundamento del proceso de Saaty descansa en el hecho de que permite dar valores numéricos a los juicios dados por las personas, logrando medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende. Para estas comparaciones se utilizan escalas de razón en términos de preferencia, importancia o probabilidad, sobre la base de una escala numérica propuesta por el mismo Saaty, que va desde uno (1) hasta nueve (9), como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 2. Escala jerárquica Saaty

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Sumamente	Muy Fuertemente	Fuertemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fuertemente	Muy Fuertemente	Sumamente
Menos importante				Igual importancia	Más importancia			

Fuente: Elaboración propia

Para el ejercicio realizado a nivel nacional correspondiente a la elaboración del protocolo fueron consultados expertos nacionales dando como resultado las siguientes ecuaciones de relación, que se incluyen aquí al considerar las mismas de utilidad también para los niveles regional y local. De aplicar estas, no sería necesario desarrollar el procedimiento antes referido.

Amenaza = susceptibilidad de la vegetación X (0,17) + precipitación X (0,25) + temperatura X (0,25) + pendientes X (0,03) + frecuencia X (0,05) + accesibilidad x (0,03)

Vulnerabilidad = *V. institucional* X (0,04) + *V. patrimonial* X (0,20) + *V. poblacional* X (0,31) + *V. territorial* X (0,20) + *V. infraestructura* X (0,06) + *V. económica* X (0,18)

A través de la fase de procesamiento se genera a partir del análisis espacial determinado en la fase anterior, los modelos y los mapas correspondientes a las amenazas y vulnerabilidades que servirán como insumo fundamental ante el posterior mapa de riesgos por incendios forestales; por tal motivo, se estructura en tres (3) etapas descritas a continuación:

5.5.2 Amenaza total por incendio forestal. Representación cartográfica generada a partir de la sumatoria de los factores evaluados sobre el análisis de amenaza.

5.2.3 Vulnerabilidad total por incendio forestal. Representación cartográfica generada a partir de la sumatoria de los factores evaluados sobre los análisis de vulnerabilidades.

5.2.4 Riesgo total por incendio forestal. Se genera el resultado del proyecto correspondiente a la Identificación de áreas de riesgo por incendios forestales en el Municipio de Santiago de Cali, a través de la ejecución de herramientas SIG, se estructura en una (1) sola etapa la cual es la representación cartográfica final generada a partir los mapas de Amenaza y Vulnerabilidad Total creados en las etapas previas a esta fase.

6. RESULTADOS

6.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

Mediante la implementación de la metodología propuesta por el IDEAM a continuación, se muestra la cartografía resultante para la zonificación de áreas propensas a incendios forestales.

6.1.1 Generación del mapa de Amenaza por Incendios Forestales. Una vez recopilado la información se procedió a realizar la integración de las capas para obtener el mapa de amenaza por incendios forestales.

6.1.2 Cartografía básica zona de estudio. Los insumos y fuente de información requerida para poder ejecutar el análisis de susceptibilidad de la cobertura vegetal por incendios forestales, parte de la recopilación de la cartografía base como vías de acceso, centros poblados, hidrografía, división político – administrativa, esta información fue depurada y definida dentro de la zona objeto de estudio.

6.2 OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA TEMÁTICA

A continuación, se despliega la cartografía de coberturas obtenida por la CVC a una escala de 1:25.000

6.2.1 Mapa de tipo, duración y carga de combustibles. El resultado de la reclasificación de las coberturas de la metodología Corine Land Cover, generan estos primeros insumos, necesarios para determinar la susceptibilidad de la vegetación a los incendios.

6.3 AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES

6.3.1 Mapa de tipo de combustibles. De acuerdo con Páramo [22], un combustible vegetal es cualquier material bien sea vivo o muerto que puede entrar en combustión al aplicársele calor y presentar diferentes grados de condición calórica y de velocidad de encendido. Según su tamaño, puede ejercer mayor o menor resistencia a la combustión debido a su contenido de humedad y su composición química.

Conforme al mapa de cobertura vegetal para el Municipio de Santiago de Cali elaborado a partir de la clasificación no supervisada aplicando la metodología Corine Land Cover, se procede a reclasificar el producto por el tipo de combustible predominante teniendo como referencia los lineamientos establecidos en el protocolo.

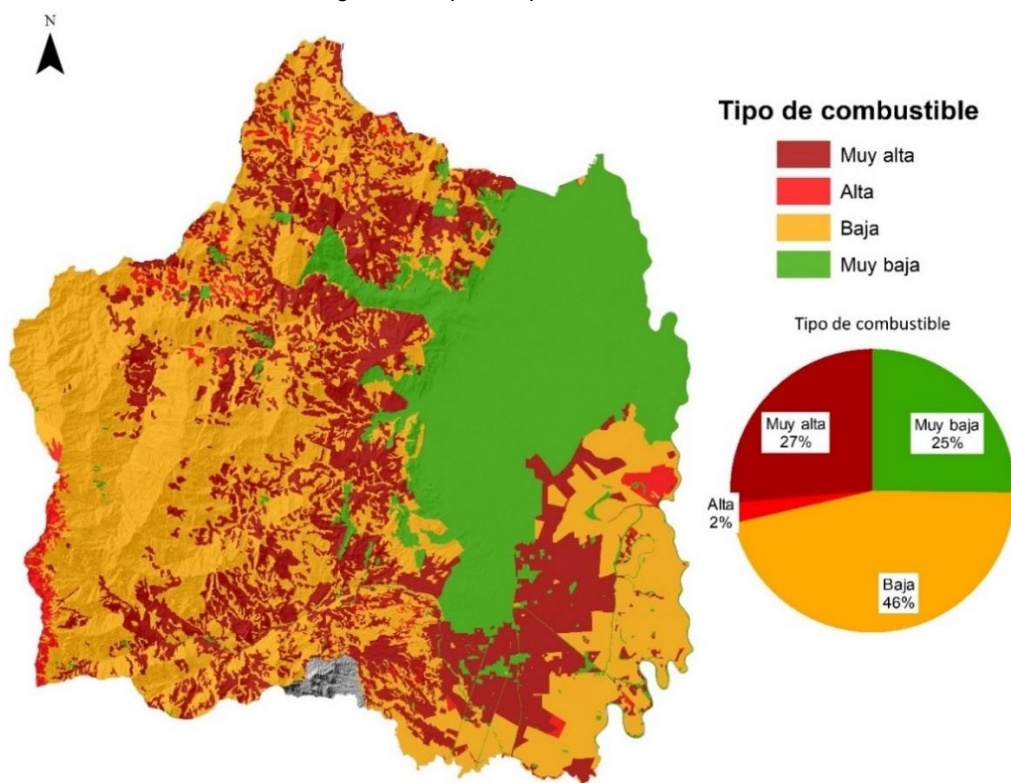
Cuadro 3. Categorización por tipo de combustible

Tipo Combustible	Catg. Amenaza	Área (ha)	Porcentaje (%)
No combustibles	Muy baja	882,2	1,58
Áreas urbanas	Muy baja	13196,5	23,62
Arboles	Baja	2136,9	3,82
Arbustos	Baja	23639,0	42,30
Hierbas	Alta	1274,2	2,28
Pastos	Muy alta	14735,4	26,37
Pastos/hierbas	Muy alta	16,4	0,03
Total		55880,59	100

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los resultados generados a partir del procesamiento se encuentra que en la jurisdicción del municipio hay cuatro (4) categorías asociadas: Muy Baja, Baja, Alta y Muy Alta. Estas categorías se encuentran distribuidas en la zona de estudio concentrándose la susceptibilidad en la categoría Muy Alta en un 27% asociado principalmente con hierbas y pastos distribuyéndose a lo largo de las zonas de transición entre lo urbano y el bosque natural. el restante hace referencia a la nula susceptibilidad debido a la existencia de cobertura boscosa abundante y las tierras desnudas y degradadas que se encuentran en el Municipio de Cali. Esto se puede observar en la siguiente figura.

Figura 5. Mapa de tipo de Combustible



Fuente: Elaboración propia

6.3.2 Duración de combustible. La siguiente categoría en el modelo de combustibles es su clasificación por la duración del proceso de ignición, factor de alta importancia para entender la capacidad pirogénica de la vegetación, ya que la duración del combustible expresa de una forma indirecta qué tan peligroso puede ser un incendio. Con combustibles de rápida ignición el control del fuego es más difícil ya que la cobertura se quema muy rápido y el impacto en términos de áreas afectadas es mayor.

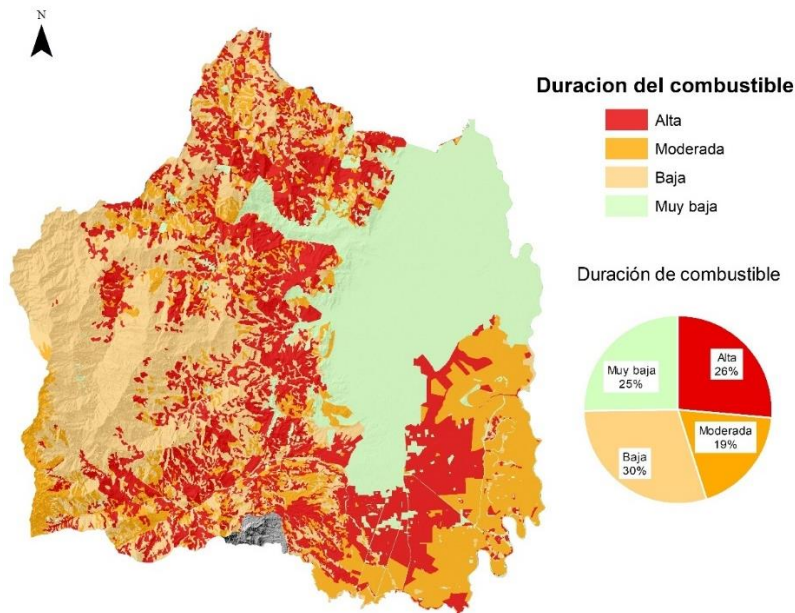
Cuadro 4. Categorización por duración de combustible

Duración de Combustible	Cat. Amenaza	Área (ha)	Porcentaje (%)
1 hora	Alta	1441,86	2,58
1 hora	Alta	13309,95	23,82
10 horas	Moderada	10442,61	18,69
100 horas	Baja	16607,49	29,72
Áreas urbanas	Muy baja	13196,52	23,62
No combustibles	Muy baja	882,16	1,58
Total		55880,59	100

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los resultados generados a partir del procesamiento se encuentra que en la jurisdicción del municipio hay cuatro (4) categorías asociadas: Muy Baja, Moderada y Alta. Estas categorías se encuentran distribuidas en la zona de estudio concentrándose la susceptibilidad en las categorías moderada y alta en un 45% equivalentes a 25194.42 ha del municipio asociados a mosaicos de hiervas, y pastos. El 55% restante hace referencia a categorías de susceptibilidad Muy Baja y baja debido a la existencia de tierras desnudas y degradadas que se encuentran en el Municipio de Cali.

Figura 6. Mapa de duración de Combustible



Fuente: Elaboración propia

6.3.3 Carga de combustible. La carga total de combustibles se expresó en términos de los valores obtenidos a partir de la suma del peso ponderado de cuatro factores fundamentales que definen la combustibilidad de la vegetación: altura, cobertura (proyección de la vegetación sobre el suelo), biomasa aérea total y humedad de la vegetación.

A partir de la estimación de la biomasa aérea total de la vegetación de Colombia, se definió la cantidad total de combustible (expresada en Toneladas / Hectárea) que posiblemente se queme en un eventual incendio en un lugar determinado del país.

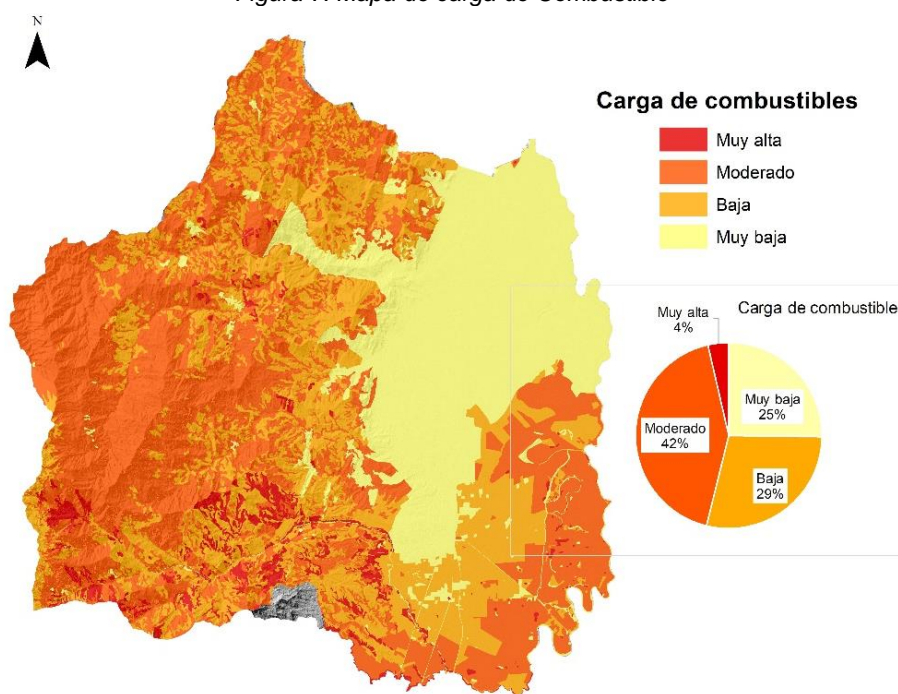
Conforme al mapa de cobertura vegetal para el Municipio de Cali elaborado a partir de la metodología Corine Land Cover establecida, se procede a reclasificar el producto por la carga de combustible predominante teniendo como referencia los lineamientos establecidos en el protocolo. Las categorías correspondientes se describen a continuación en el siguiente cuadro.

Cuadro 5. Categorización por carga de combustible

Carga total de Combustible	Cat. De Amenaza	Area (ha)	Porcentaje (%)
Á. urbanas (menos de 1 ton/ha)	Muy baja	13625,81	24,38
Baja (1-50 ton/ha)	Baja	16009,56	28,65
Moderada (50-100 ton/ha)	Moderado	23780,23	42,56
Muy alta (más de 100 ton/ha)	Muy alta	2012,12	3,60
No combustibles	Muy baja	452,87	0,81
Total		55880,59	100

Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Mapa de carga de Combustible



Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los resultados generados a partir del procesamiento se encuentra que en la jurisdicción del municipio hay cuatro (4) categorías asociadas: Muy Baja, Baja, Moderada y Muy Alta. Estas categorías se encuentran distribuidas en la zona de estudio concentrándose la susceptibilidad en las categorías Muy Alta en un 4% equivalentes a 2012.12 ha del municipio asociados a plantaciones forestales arbustales, Bosque de galería y ripario, Bosque fragmentado y Bosque abierto con una carga total de más de 100 ton/ha, ubicados sobre las zonas y predios de conservación. Las categorías de susceptibilidad Moderada y Baja se encuentran en un 71% debido a la existencia de pastos y cultivos, Pastos arbolados y Cultivos permanentes arbóreos con una carga total entre 1 – 50 ton/ha sobre el Municipio de Cali.

6.3.4 Susceptibilidad de incendios forestales. De acuerdo con el producto obtenido a partir de la integración del tipo de combustible, duración de combustible y carga de combustible para el área de estudio, se procede a reclasificar la susceptibilidad total de la cobertura vegetal teniendo como referencia los lineamientos establecidos en el protocolo.

Cuadro 6. Categorización por susceptibilidad de incendios forestales

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
5- Muy alta	14735.76	26
4- Alta	1274.21	2
3- Moderada	14595.48	26
2- Baja	11196.58	20
1- Muy baja	14078.53	25
Total	55880.56	100

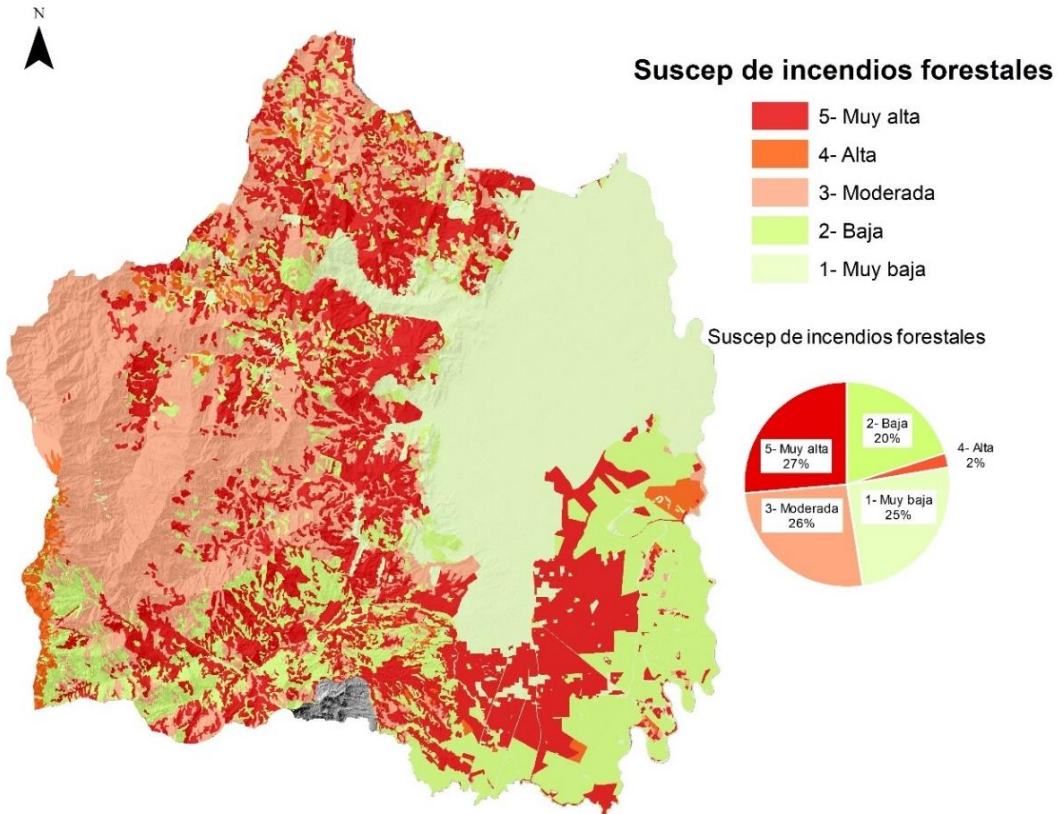
Fuente: Elaboración propia

La categoría de susceptibilidad Muy Alta tiene presencia predominante en las periferias del perímetro urbano asociado principalmente a arbustales densos y herbazales densos de tierra firme en el municipio. Igualmente, en jurisdicción municipal se evidencia presencia arbórea dispersa pero predominante en las franjas forestales protectoras de las fuentes hídricas, asociado principalmente a la protección y la conservación de las corrientes de agua, como también al crecimiento urbano y a la actividad económica de la zona.

La categoría de susceptibilidad Alta está asociada a 1274.21 ha. teniendo una representación muy baja frente a la extensión total del área protegida. El análisis permite vincular esta categoría asociada a mosaicos de arbustos y pastos limpios, aunque permite identificar áreas con presencia de plantas de porte herbáceo y plantas geofitas perteneciente a ecosistemas subxerofíticos.

Las categorías de susceptibilidad Moderada y Baja tienen presencia en un 56% del municipio y se asocia a bosques densos, cultivos permanentes herbáceos y pastos limpios.

Figura 8. Mapa de susceptibilidad a incendios forestales



Fuente: Elaboración propia

6.3.5 Factor climático. El clima es uno de los factores con mayor relevancia al ocurrir un incendio forestal pues determina el tiempo y la complejidad de la conflagración de acuerdo con factores meteorológicos como lo son la temperatura, la ausencia de precipitaciones, la velocidad del viento que pueda propiciar un incendio por fuego de copas y la humedad del suelo presente en el municipio.

Los factores climáticos de mayor influencia en la generación y propagación de incendios forestales que se consideran sobre el presente proyecto es el valor mensual de temperatura multianual en (°C) y la precipitación promedio anual multianual en (mm/año).

Una vez llenada la serie de datos de las 24 estaciones que conforman el área de estudio se busca, mediante el paso a seguir del protocolo base del IDEAM, realizar la cartografía de isoyetas e isotermas de precipitación y temperatura media anual multianual respectivamente, determinado en un periodo de 11 años (2006 -2016). Se extrajo del catálogo de estaciones del IDEAM el shape de puntos con las 24 estaciones meteorológicas suministradas.

Cuadro 7. Listado de estaciones Meteorológicas del municipio de Cali, solicitadas al IDEAM

Código	Cuenca	Nombre	Este	Norte	Alt	PM-MTA
2622420101	Aguacatal	Montebello	1058550	877405.61	1260	1035.62
2622420102	Aguacatal	san pablo	1050759.76	880677.32	1871	2514.92
2622330106	Cañaveralejo	las brisas	1054315.22	868345.91	1228	1669.75
2622330105	Cañaveralejo	los cristales	1056527.91	870803.34	1312	1410.37
2622100102	Jamundí	el palacio	1061497.65	855514.6	950	1280.36
2622320101	Meléndez	la fonda	1054080.38	866787.33	1298	1446.67
2622410102	Pichinde	yanaconas	1052861.97	871956.36	1730	1493.33
2622420103	Aguacatal	aguacatal	1052370.03	879525.42	1649	875.62
2622420104	Aguacatal	Villa aracelly	1054402.54	882158.99	2040	1190.78
2622400104	Cali	Brasilia	1049902.3	873547.87	1864	1226.1
2622400101	Cali	colegio san Luis	1060105.49	874385.88	1053	852.05
2622400103	Cali	planta rio Cali	1059076.72	872749.66	1070	1073.26
2622330102	Cañaveralejo	Cañaveralejo	1055421.41	868987.3	1056	1263.97
2622330101	Cañaveralejo	Colegio san juan b.	1060431.64	872417.25	1000	1052.13
2622330107	Cañaveralejo	Edificio CVC	1059854.91	868389.07	985	1216.17
2620000103	Cauca	planta rio cauca	1064917.86	872964.52	956	926.75
2622320103	Meléndez	alto iglesias	1050686.96	864790.63	1705	2003.93
2622110101	Pance	La argentina	1047378.91	859711.22	1794	2605.35
2622410104	Pichinde	Penas blancas	1046119.11	869462.54	2158	1666.8
2622400201	Cali	La teresita	1046071.19	873234.96	1950	1128.72
2622110201	Pance	El topacio	1048940.26	858649.79	1676	2346.36
26055070	Cali	Univalle	3.378	-76.533889		1164.29
26080280	Cali	Pichinde	3.438194	-76.601556		1515.35
26080310	Cali	Cali sede IDEAM	3.475972	-76.523028		1019.96

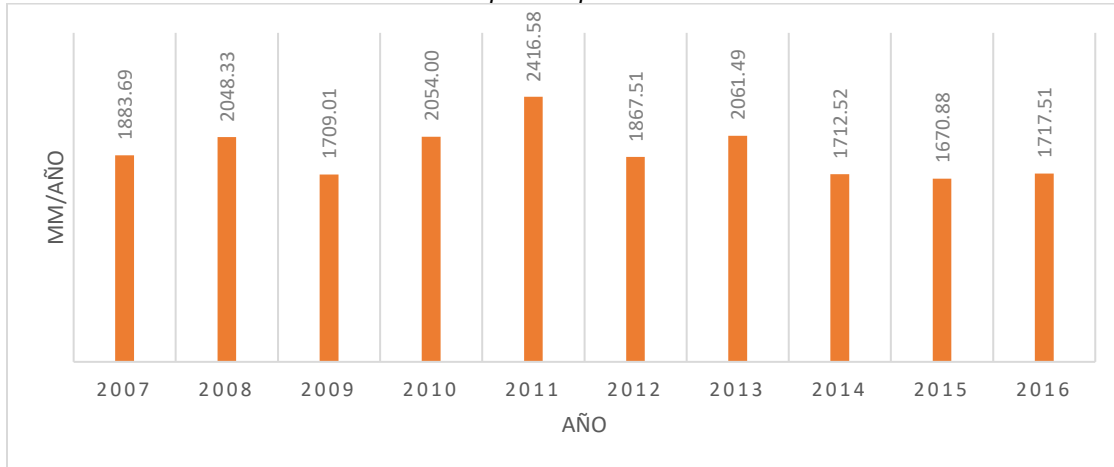
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 8. Listado de estaciones de Temperatura del municipio de Cali, solicitadas al IDEAM

Código	Cuenca	Nombre	Municipio	Este	Norte	Alt	Tempera
2622400201	CALI	La teresita	CALI	1046071,19	873234,96	1950	23,43
2622110201	PANCE	El topacio	CALI	1048940,26	858649,79	1676	27,62
26055070	CALI	Univalle	CALI	3,378	-76,5339	983	21,62

Fuente: Elaboración propia

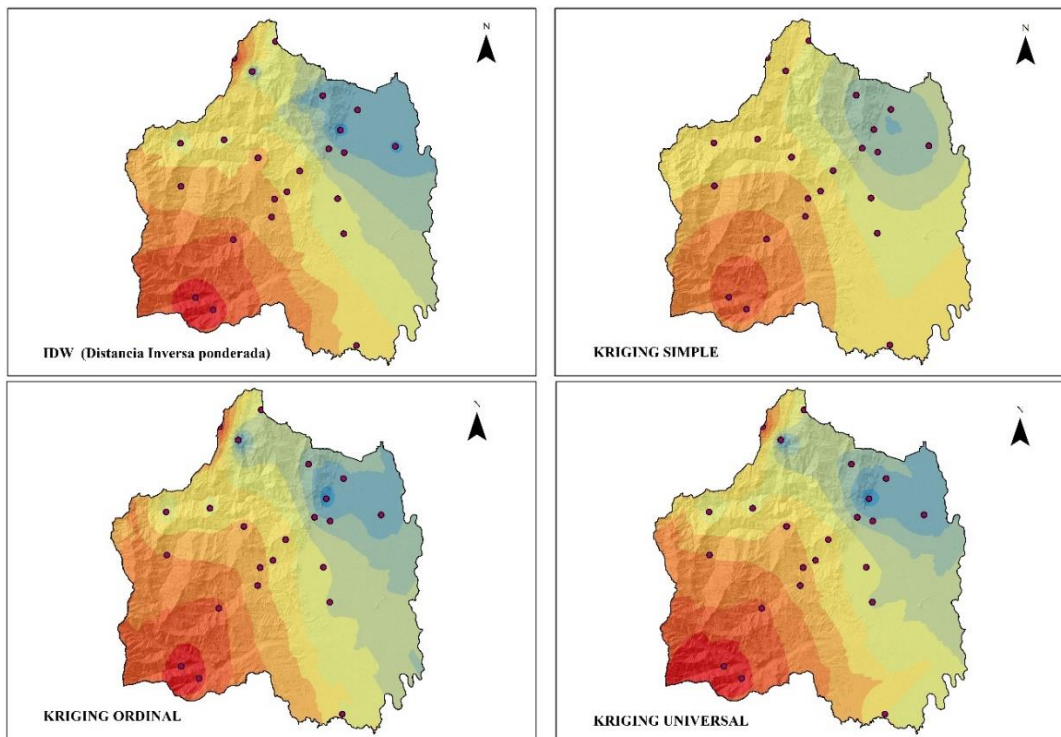
Ilustración 4. Precipitación promedio mensual anual



Fuente: Elaboración propia

El municipio de Cali cuenta veinticuatro estaciones meteorológicas activas, Teniendo en cuenta la escala de elaboración del proyecto y el número de estaciones meteorológicas activas, esto permitió generar un análisis más robusto a partir de métodos de interpolación, fue necesario generar un mapa de isoyetas e isotermas a partir de los datos adquiridos del IDEAM y la CVC. para este trabajo se definieron 4 tipos de interpolación, uno de Distancia Inversa Ponderada (IDW) y 3 Métodos de Kriging (Ordinario, Simple y Universal). Mediante la extensión 'Geostatistical Analyst' del software ArcGis.

Figura 9. Mapas de precipitaciones por los diferentes métodos de interpolación



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 9. Cuadro de interpolación para valores de precipitación

Método Interpolación	Tipo Interpolación	Error Promedio
IDW	N/A	403.176
Kriging Simple	Hole Effect	401.004
Kriging Ordinario	J-Bessel	400.024
Kriging Universal	J-Bessel	387.152

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de las series de precipitación se corrieron los 4 métodos de interpolación, obteniendo 4 archivos en formato raster para poder realizar una comparación en cuanto a parámetro de errores por cada método, la Figura 9 muestra la comparación visual en cuanto al desarrollo obtenido, definiendo como mejor método el de Kriging Universal, el cual, presenta un suavizado más notorio que los demás métodos, además presenta un error promedio menor a los otros presentados con una menor sectorización de los datos dando mayor fidelidad de la información (ver cuadro 9), y una clasificación de los datos más acertada en comparación a los otros 3 visualizados. Para la elaboración del mapa de isoterma no se realizó métodos de comparación de métodos de interpolación, solo se realizó por el método IDW. (Anexo 11).

6.3.6 Factor relieve. Generalmente, las áreas cubiertas con vegetación se encuentran sobre las zonas de montaña, por lo tanto, pueden presentar una orografía muy complicada con pendientes elevadas, alternancia de crestas y valles cortados. Esto origina una gran influencia de la topografía en el comportamiento del fuego, no solo por sus efectos directos, sino también porque esta configuración del terreno condiciona las características de los otros factores: la vegetación y la climatología.

De acuerdo con IGAC [25], los tres elementos de la topografía más importantes para los incendios son:

6.3.6.1 La pendiente. Los terrenos en pendiente favorecen la continuidad vertical de la vegetación y la aparición de los vientos de ladera, por lo tanto, facilitan la propagación del incendio.

Cuando el fuego avanza ascendiendo por una ladera, su velocidad incrementa al aumentar la pendiente debido a que:

- Los combustibles están más próximos
- El viento ascendente va desecando la vegetación antes de que llegue el fuego
- Aumenta la velocidad del viento

Se ha estimado que la velocidad de propagación se duplica en una pendiente del 10 por 100 y se cuadruplica en una del 20 por 100.

El fuego también puede avanzar ladera abajo, bien porque sea un incendio de gran intensidad o bien, porque los vientos sean descendentes, como suele ocurrir de noche, entonces el avance se hace más lento.

6.3.6.2 La exposición. Según la orientación, solana o umbría⁹ las cantidades de calor del sol que recibe son distintas y, como consecuencia, también existe distinta carga de combustible sobre la cobertura vegetal.

En general, las solanas están sometidas a una mayor insolación, por lo que tienen menor humedad y menos vegetación que las umbrías. Además, en las solanas, se forman con más frecuencia corrientes de convección ascendentes, por lo que el fuego avanza más rápidamente.

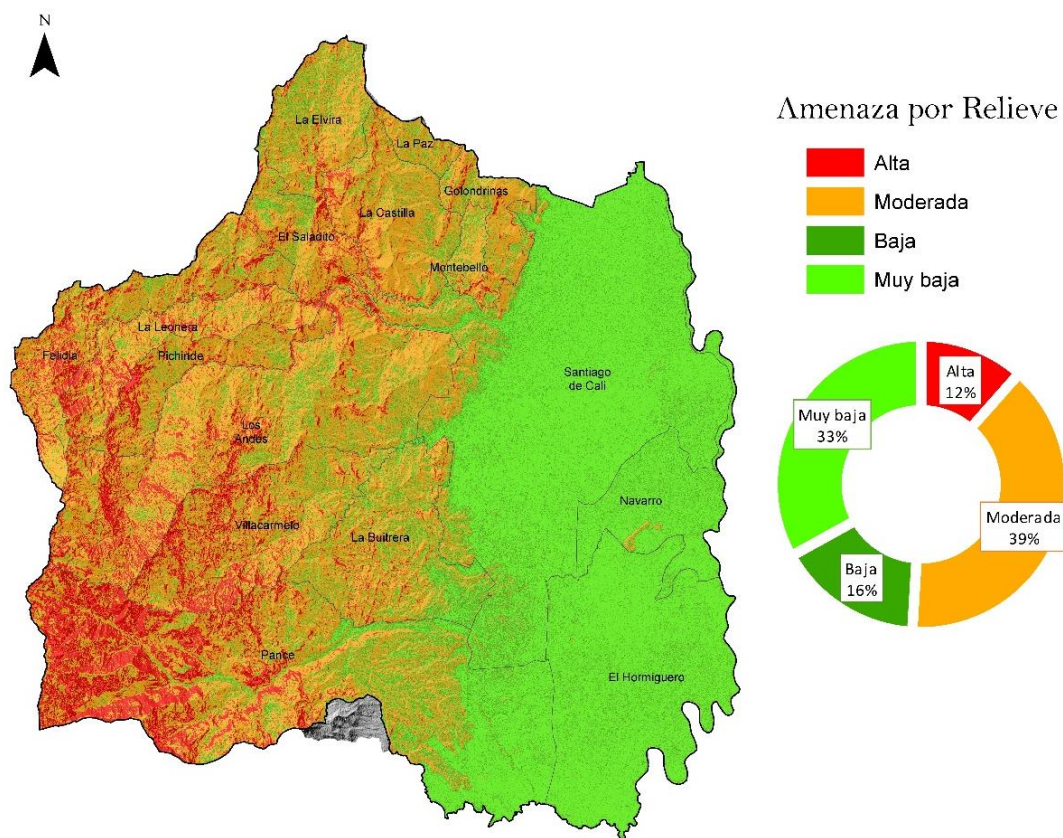
6.3.6.3 El relieve. Si el relieve forma valles estrechos o vaguadas, el fuego puede pasar con facilidad de una ladera a otra. También hay que tener en cuenta que pueden actuar como verdaderas chimeneas en las que los vientos de valle que se formen pueden alcanzar gran velocidad y, con ellos, las llamas del fuego que propagan. Para elaborar el mapa de pendientes es necesario obtener las curvas de nivel sobre el Municipio de Cali. La información se adquirió a partir del procesamiento de un modelo digital de radar de 5m por pixel con el software ArcGIS - *3D Analyst Tools - ráster Surface – Contour*. Se generan los contornos de las curvas de nivel a partir de la equidistancia correspondiente acorde a la escala del proyecto, en este caso, cada 5 metros con el fin de obtener un resultado más robusto y acorde a la realidad[17].

Cuadro 10. Categorización de amenaza por relieve

Amenaza	Área (ha)	Área (%)
Alta	6426.67	0.115
Moderada	22053.94	0.395
Baja	8932.52	0.160
Muy baja	18480.19	0.331
Total	55893.33	1

Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Mapa de amenaza por relieve



Fuente: Elaboración propia

6.3.7 Accesibilidad de vías. Este factor toma parte de los factores de amenaza teniendo en cuenta que sobre este recae la probabilidad de que organismos de control y la población en general puedan acceder a zonas forestales. La información obligatoria para determinar la amenaza por accesibilidad corresponde a la malla vial presente al interior del municipio que permita identificar el estado de conservación.

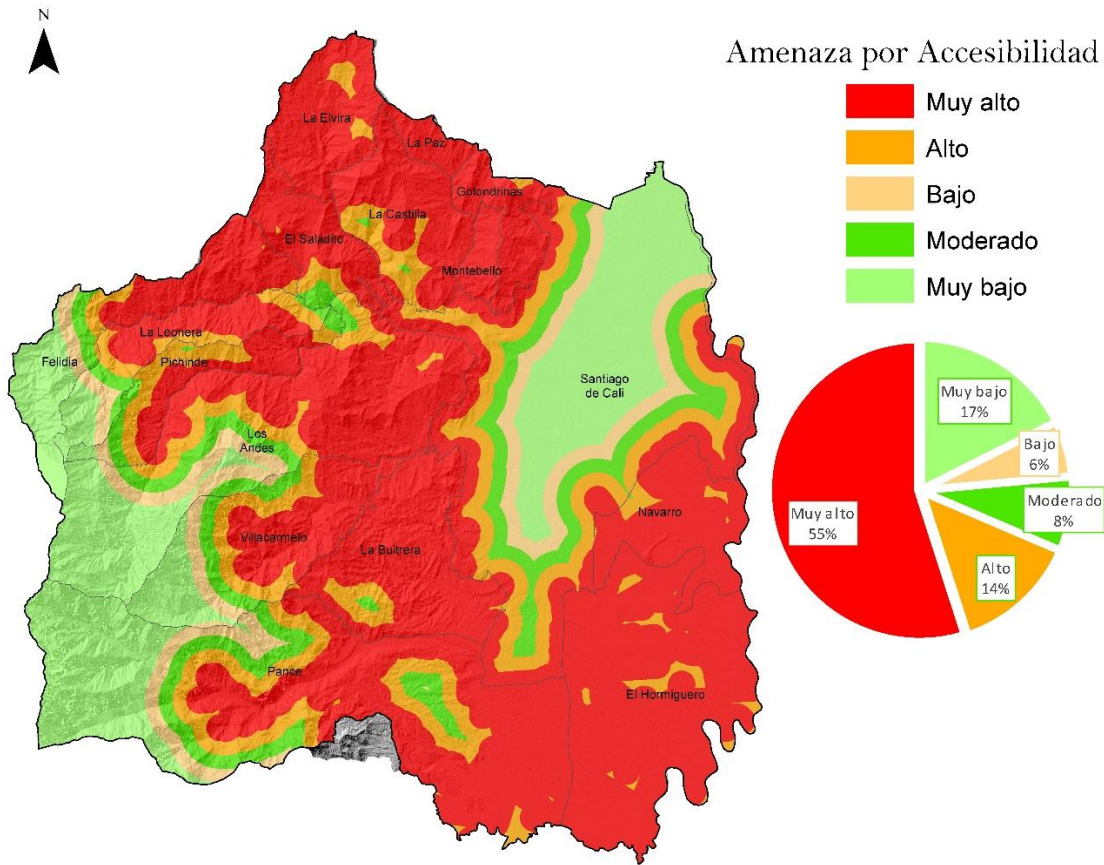
Se toma como referencia la cartografía oficial ofrecida en el POT (2014); la cual contiene información actualizada de las vías primarias, secundarias, terciarias y peatonales esto permitió que se generen cinco (5) zonas de *buffer* con intervalos de 500m de acuerdo con el protocolo establecido por el IDEAM.

Cuadro 11. Categorización de amenaza por accesibilidad

Amenaza	Área (ha)	Porcentaje (%)
Muy bajo	9818.05	17.57
Bajo	3326.19	5.95
Moderado	4427.79	7.92
Alto	7610.31	13.62
Muy alto	30711.52	54.95

Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Mapa de accesibilidad



Fuente: Elaboración propia

El mapa de accesibilidad muestra sobre el Municipio de Cali predominancia en las categorías de amenaza Muy alta y Alta en un 68.9 % el cual es un valor significativo, y determinante, ya que la información demuestra que existe accesibilidad suficiente sobre áreas de conservación del municipio y sus centros poblados, pero con vías que presentan un regular y mal estado de conservación, como lo son las vías inter veredales. Las categorías de amenaza Moderada, Baja y Muy Baja se relacionan en un 31.44 % equivalentes a 17572.03ha del municipio; aunque es un porcentaje bastante bajo, se encuentran en áreas asociadas a Parques Nacionales Naturales de Cali- PNNC, al ser un área de reserva natural no cuenta cuan vías de acceso vehicular y muy poca peatonal, esto hace que sea muy poco susceptible a riesgos.

6.3.8 Frecuencia de incendios forestales. Tener la información relacionada con los incidentes históricos de incendios forestales ocurridos al interior del municipio permite identificar los índices de frecuencia y causalidad de estos fenómenos. Por ello, el primer paso consiste en la recolección de la información alfanumérica de un periodo de tiempo de mínimo 10 años a la elaboración del producto, recopilarlos y almacenarlos sobre una base de datos geográfica.

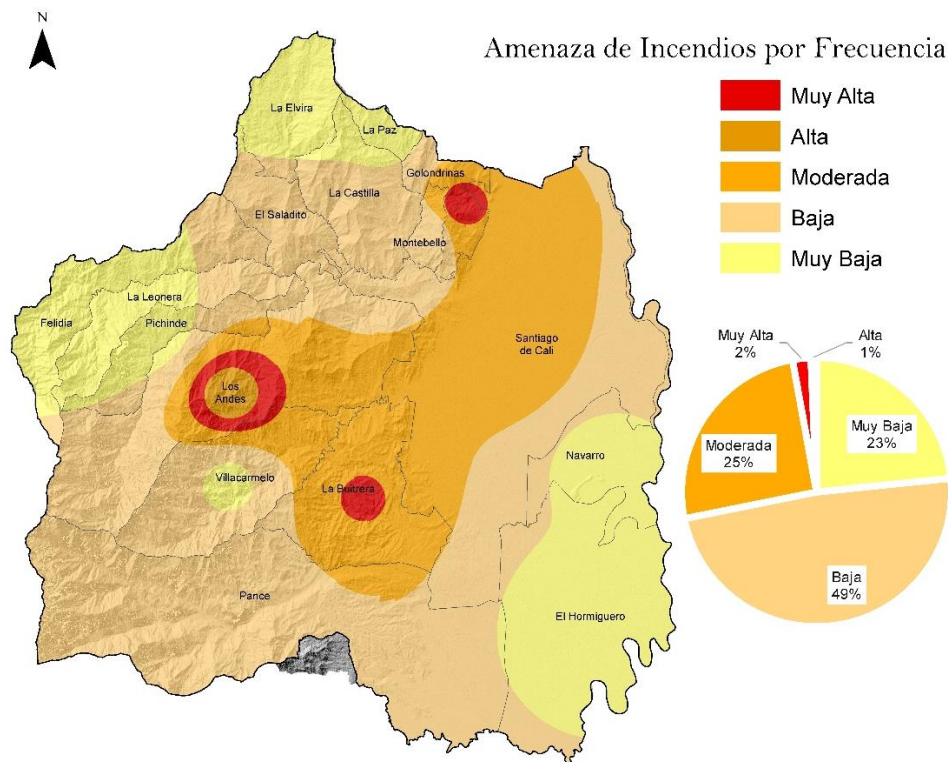
Adquirir información con este detalle del Municipio de Cali, no fue una tarea sencilla, pues las entidades encargadas de recopilar la información son muy celosas al compartir este tipo de datos, además lo manejan en formatos complejos, difíciles de manipular y depurar. el cuerpo de bomberos del Municipio de Cali no cuenta con una base de datos que georreferencia los eventos ocurrido, es por lo que no permite dimensionar a mayor detalle los alcances de los incendios ocurridos en el municipio.

Cuadro 12. Categorización por frecuencia de incendios forestales

Amenaza	Área ha	Área (%)
Muy Baja	13052.38	23.36
Baja	27084.11	48.47
Moderada	14145.33	25.31
Muy Alta	1227.30	2.20
Alta	371.50	0.66
Total	55880.62	100

Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Mapa de frecuencia de incendios forestales



Fuente: Elaboración propia

El mapa de frecuencia muestra sobre el Municipio de Cali en las categorías de amenaza Muy alta y Alta poca predominancia con un 2.86% asociados a predios y áreas de conservación, además de estar asociado al asentamiento de irregulares en la periferia de la ciudad. El 97.14% restante del municipio no registra eventos significativos por incendios forestales.

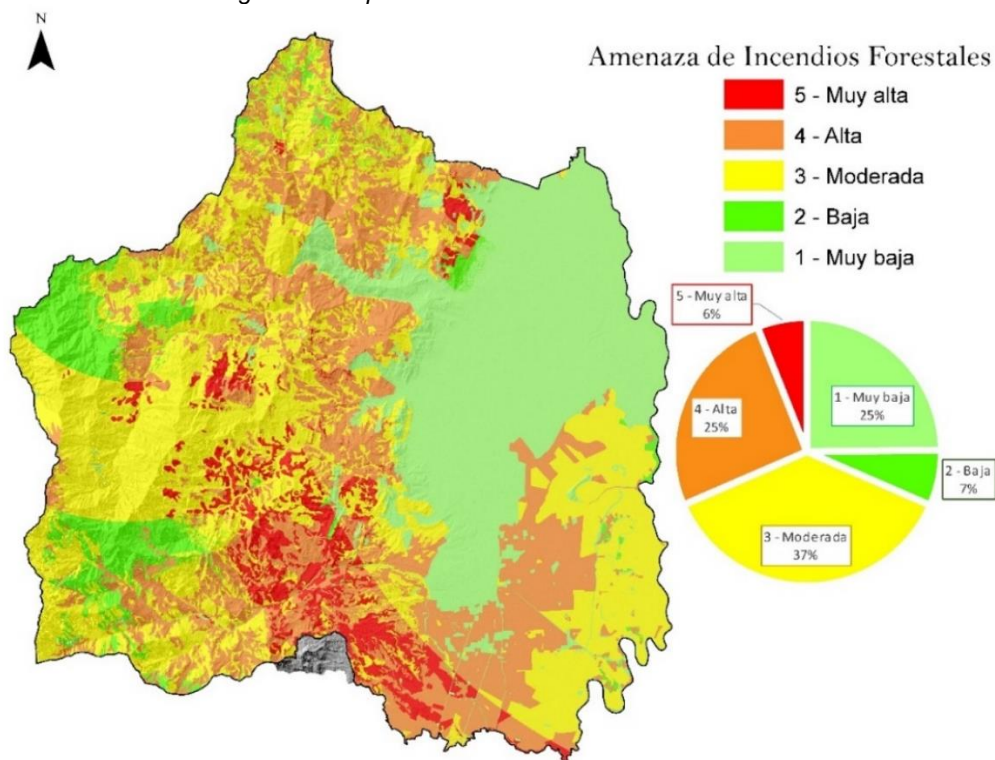
6.3.9 Amenaza por incendios forestales. De acuerdo con el producto obtenido a partir de la integración de los factores climáticos, de relieve, por accesibilidad, frecuencia histórica y la susceptibilidad de la cobertura vegetal para el área de estudio, se procede a reclasificar la amenaza total por incendios forestales teniendo como referencia, los lineamientos establecidos en el protocolo. Las categorías correspondientes se describen en el siguiente cuadro.

Cuadro 13. Categorización de amenaza a incendios forestales

Amenaza	Área	Porcentaje (%)
1 - Muy baja	13865.00	2.48
2 - Baja	3757.96	0.67
3 - Moderada	20661.90	37.0
4 - Alta	14250.72	25.5
5 - Muy alta	3353.23	6.0
Total	55888.81	100

Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Mapa de amenaza a incendios forestales



Fuente: Elaboración propia

La categoría de amenaza Muy Alta y alta destaca su concentración en las periferias del perímetro urbano del Municipio de Cali, principalmente sobre suelo descubierto, vegetación arbustiva y centros poblados, este grado de amenaza se ve representado con un 31.5% esto se debe al crecimiento urbano de la ciudad y la gran cantidad de asentamientos subnormales que se han acentuado en zonas que son destinadas a la conservación y protección ambiental.

La categoría de amenaza Moderada con 37 % se concentra al interior de zonas con acceso limitado, áreas con actividad agropecuaria y con pendientes más pronunciadas, además estas zonas se encuentran vigiladas por las autoridades ambientales del municipio. Las categorías de amenaza Baja y Muy Baja se asocian a tierras destinadas exclusivamente a la conservación, además de encontrarse con pendiente muy pronunciadas, temperaturas bajas y precipitaciones altas.

6.4 VULNERABILIDAD A INCENDIOS FORESTALES

En el componente de vulnerabilidad se generaron ocho mapas, los cuales muestran los factores del territorio que pueden verse afectados a distintos niveles ante la ocurrencia de incendios de la cobertura vegetal. Estos factores son económicos, de infraestructura, institucionales, territoriales (combinación de los factores físico y ecológico), patrimonial y poblacional.

6.4.1 Factor ecosistémico. Es importante resaltar el impacto ecológico generado cuando ocurre un incendio forestal independiente de las áreas afectadas. La destrucción de la biodiversidad, el aumento de la desertificación o la disminución de la calidad de las aguas y la atmósfera son algunas de las consecuencias negativas más relevantes.

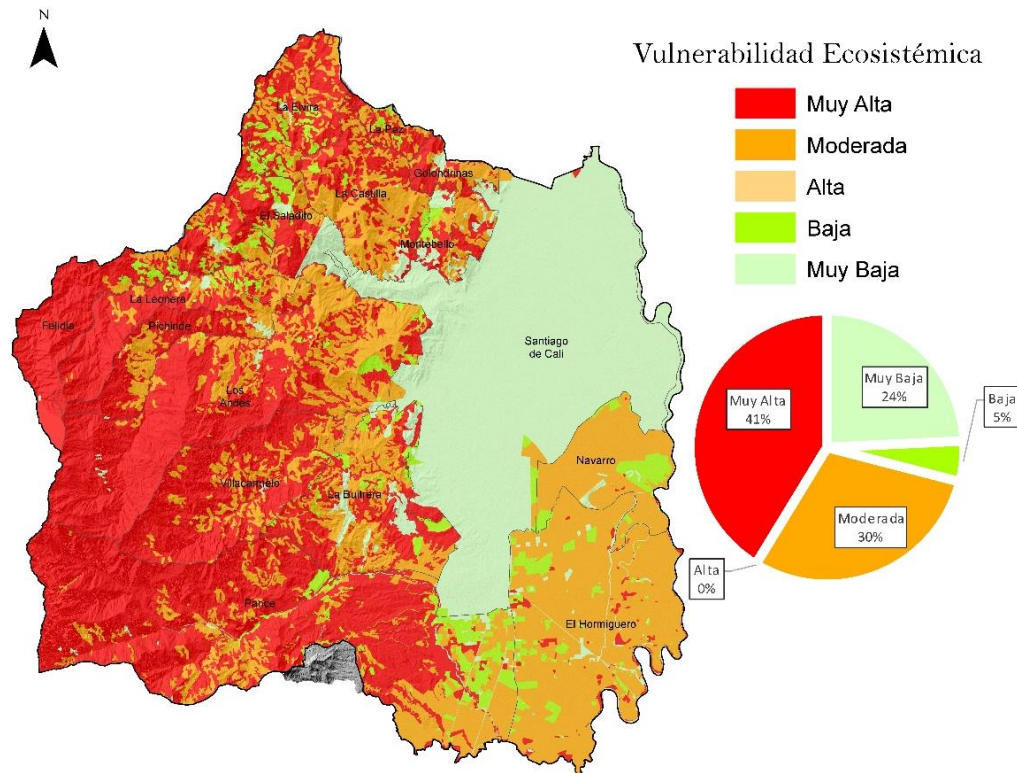
La vulnerabilidad ecosistémica está evaluada como la adaptación de los distintos tipos de cobertura vegetal al fuego, es decir, los regímenes del fuego (papel que ejerce el fuego) a los cuales se encuentran sometidos los biomas y ecosistemas colombianos y que los hacen más o menos adaptados a la ocurrencia del evento.

Cuadro 13. Categorización de vulnerabilidad ecosistémica

Vulnerabilidad	Área (ha)	Porcentaje (%)
Muy Baja	13544.87	24.23
Baja	2686.27	4.81
Moderada	16574.09	29.66
Alta	0.26	0.0005
Muy Alta	23075.04	41.29
Total	55880.55	100

Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Mapa de vulnerabilidad ecosistémica



Fuente: Elaboración propia

En el área del Municipio de Cali el 41,29% presenta una vulnerabilidad ecológica “Muy alta” ante la ocurrencia de un evento de incendio, lo cual significa que presenta ecosistemas a los que les sería casi imposible recuperarse frente a un evento de incendio, esto es de mucha importancia debido a que la amenaza se presenta zonas de reserva naturales como: Parques Nacionales Naturales de Cali y los predios de conservación del Municipio. El 29,66% del área presenta vulnerabilidad moderada, estos ecosistemas les costaría mucho trabajo recuperarse, aunque no sería imposible con estrategias de restauración bien aplicadas. Por otro lado, la categoría de vulnerabilidad Baja y Muy Baja se relaciona con los pastos y cultivos asociados con la actividad agropecuaria del municipio que corresponden al 29,06% lo cual es un porcentaje significativo, pero no determinante en el análisis.

6.4.2 Vulnerabilidad económica. La vulnerabilidad económica considera aquellas zonas de importancia para la producción de bienes y servicios que puedan verse afectadas por la incidencia de este tipo de eventos.

De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM (2011), tomar como base los tipos de coberturas presentes y a partir de ellos, el grado de productividad que permita clasificar un nivel de vulnerabilidad, es un proceso válido en la identificación de este factor[2].

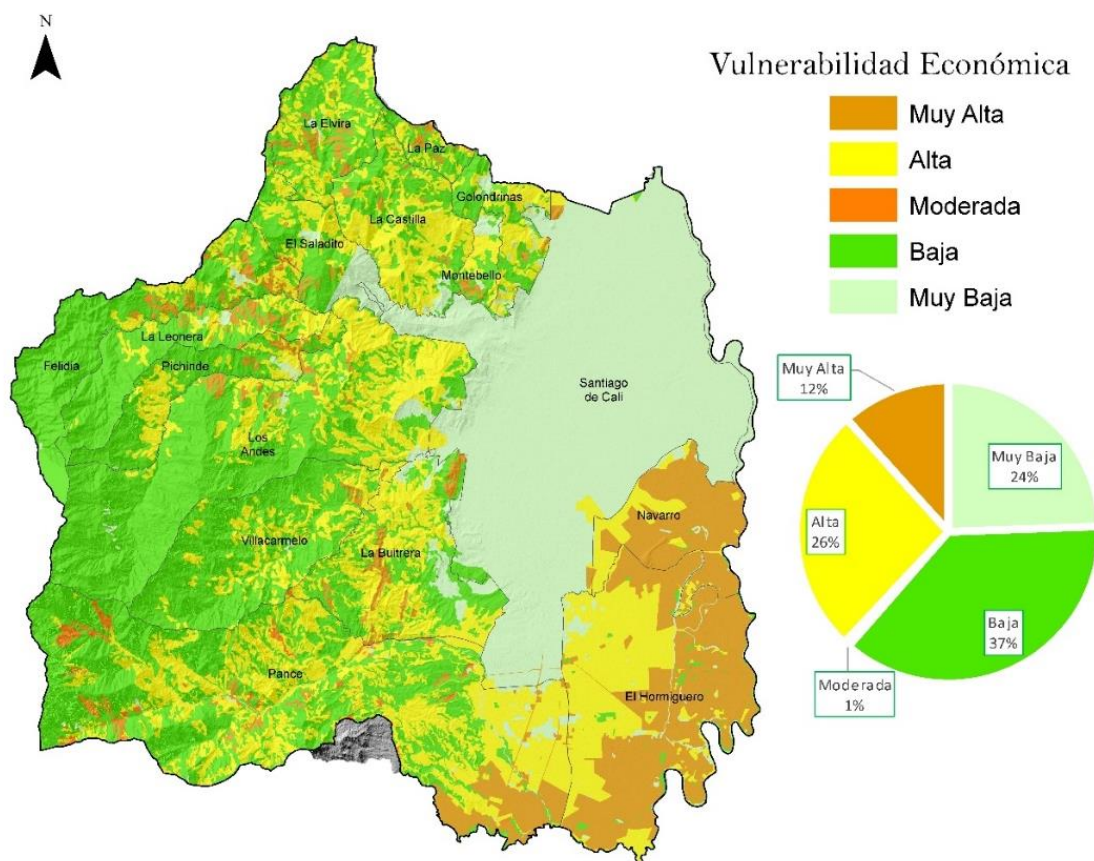
Los usos permiten relacionar qué tantos beneficios económicos se pueden adquirir. Siendo esta vulnerabilidad directamente proporcional al aprovechamiento económico, es evidente que las coberturas destinadas de maneras exclusivas a una o varias clases de cultivos tendrán la mayor vulnerabilidad seguidas por aquellas que combinan actividades agrícolas con espacios menos productivos y el bosque plantado por su aprovechamiento forestal[23].

Cuadro 14. Categorización de vulnerabilidad económica

Vulnerabilidad	Área (ha)	Porcentaje (%)
Muy Baja	13649.28	24.42
Baja	20656.67	36.96
Moderada	325.95	0.58
Alta	14735.88	26.37
Muy Alta	6512.74	11.65
Total	55880.524	100

Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Mapa de vulnerabilidad económica



Fuente: Elaboración propia

El mapa permite evidenciar que las categorías de vulnerabilidad, Alta y Muy Alta predominan en un 38.05% equivalentes a 21248,62 ha del municipio concentrados principalmente sobre los Corregimientos de Navarro y Los Andes donde predominan cultivos de caña. Gran parte del suelo está dedicado a la agricultura, destacándose el Municipio de Navarro el monocultivo tecnificado de la caña de azúcar, pese a lo anterior, la agricultura sigue siendo una de las principales actividades económicas de estos corregimientos. La categoría de vulnerabilidad Moderada, Baja y Muy Bajas representa un 61,97% reflejados sobre áreas protegidas - PNNFC, que al estar dentro de la figura de zonas de conservación bajo el amparo de la Ley 99 del 1993 y el Decreto 2811 del 1974 impiden cualquier aprovechamiento económico sobre la cobertura vegetal protegida en el área establecida[24].

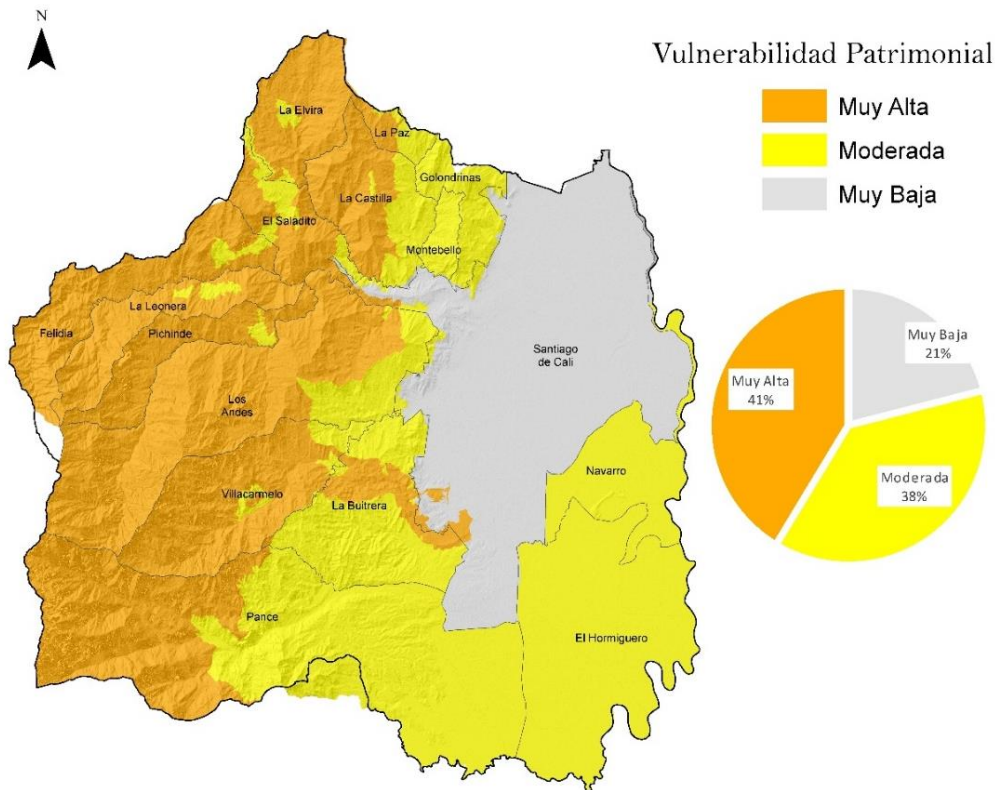
6.4.3 Vulnerabilidad patrimonial. Todos y cada uno de estos lugares representan una vulnerabilidad patrimonial equitativa, pues es subjetivo para este factor de estudio establecer una categorización de áreas que representan por si mismas una importancia cultural e histórica. Por lo tanto, la zonificación que se efectúa para identificar las áreas de vulnerabilidad patrimonial se realiza a partir de un mapa de concentración de puntos de tal manera, que permita sobre los polígonos resultantes, efectuar la reclasificación sugerida por el Protocolo del IDEAM.

Cuadro 15. Categorización de vulnerabilidad patrimonial

Vulnerabilidad	Área (ha)	Porcentaje (%)
Muy Baja	11763.88	20.96
Moderada	21143.31	37.67
Muy Alta	23214.80	41.36
Total	56121.99	100.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Mapa de vulnerabilidad patrimonial



Fuente: Elaboración propia

Con respecto al mapa, el riesgo patrimonial existente está en la jurisdicción de Parques Nacionales y corresponde en un 41.36 % a la categoría de riesgo “Muy Alto” debido que se encuentran los Parques Nacionales Farallones de Cali y predios destinados a la conservación y restauración de propiedad del municipio. Un 37.67% corresponde a la categoría de riesgo “Moderado”. El riesgo Moderado se presenta principalmente en los Corregimientos del Hormiguero, Navarro en la parte oriente del municipio y en las transiciones del perímetro urbano a rural, jurisdicción de la CVC. El resto del territorio se encuentra en vulnerabilidad Muy Baja por ser zona urbana, Jurisdicción del Departamento Administrativo de Gestión del Medio ambiente – DAGMA.

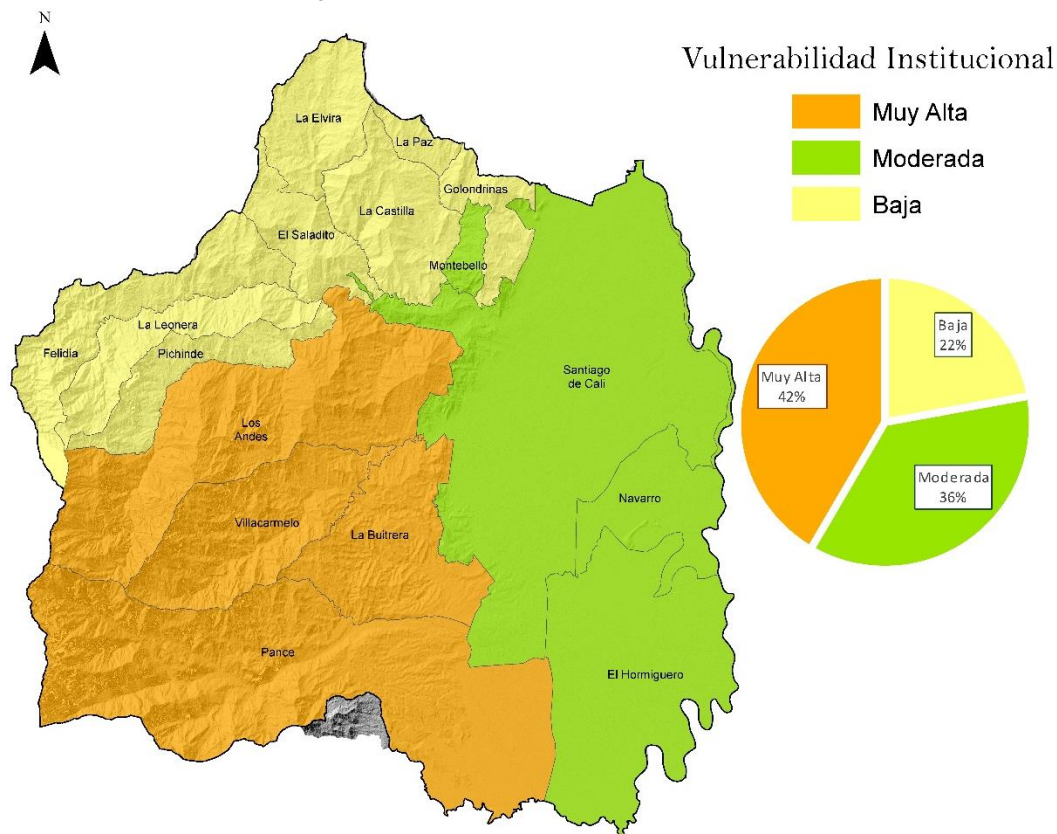
6.4.4 Vulnerabilidad institucional. La vulnerabilidad institucional se refiere a la capacidad de las entidades encargadas de la atención de desastres, frente a la ocurrencia de un evento de incendio. La eficiencia y eficacia de las instituciones públicas y privadas juegan un papel primordial en la intervención ante determinadas situaciones de respuesta y posterior rehabilitación y reconstrucción. El Departamento de Planeación Municipal de Cali, establece diversos recursos humanos participativos frente a la ocurrencia de un incendio y el grado de dificultad que exista para controlarlos por fuertes vientos, escasas de lluvia y altas pendientes que lleguen a dificultar su accesibilidad.

Cuadro 16. Categorización de vulnerabilidad Institucional

Vulnerabilidad	Área (ha)	Porcentaje (%)
Baja	12354.98	22.11
Moderada	20281.81	36.29
Muy Alta	23243.83	41.60
Total	55880.62	100

Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Mapa de vulnerabilidad Institucional



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el análisis realizado el 41,60% de la jurisdicción de Parques Nacionales presenta vulnerabilidad “Muy Alta” ante la ocurrencia de incendios solo un 58,40% presenta vulnerabilidad Moderada y Baja especialmente en la parte norte de los corregimientos de La castilla, Golondrinas, Navarro y el Hormiguero.

6.4.5 Vulnerabilidad poblacional. La vulnerabilidad poblacional muestra que tan expuesta se encuentra la población frente a la ocurrencia de un evento de incendio de la cobertura vegetal, esta vulnerabilidad se mide por la densidad poblacional en los diferentes municipios que conforman el área de la corporación. Para establecer la vulnerabilidad poblacional se parte del indicador de ocupación o grado de presencia de los habitantes. La densidad poblacional rural fue

determinada a partir de la información suministrada por la Departamento Administrativo de Planeación Municipal y mediante la página de datos abiertos del gobierno. [25]

Cuadro 17. Densidad poblacional por municipio

División Política	Población (hab)	Porcentaje
La Elvira	11222	3.042
La Paz	9263	2.511
La Castilla	9263	2.511
El Saladito	10288	2.789
Golondrinas	30587	8.291
Montebello	90590	24.555
Felidia	14755	3.999
La Leonera	5946	1.612
Los Andes	44774	12.136
Pichinde	6926	1.877
Navarro	10060	2.727
La Buitrera	61437	16.653
Villacarmelo	9017	2.444
El Hormiguero	38712	10.493
Pance	16082	4.359
Santiago de Cali	2.217.682	
Total	2.254.574	

Fuente: Elaboración propia

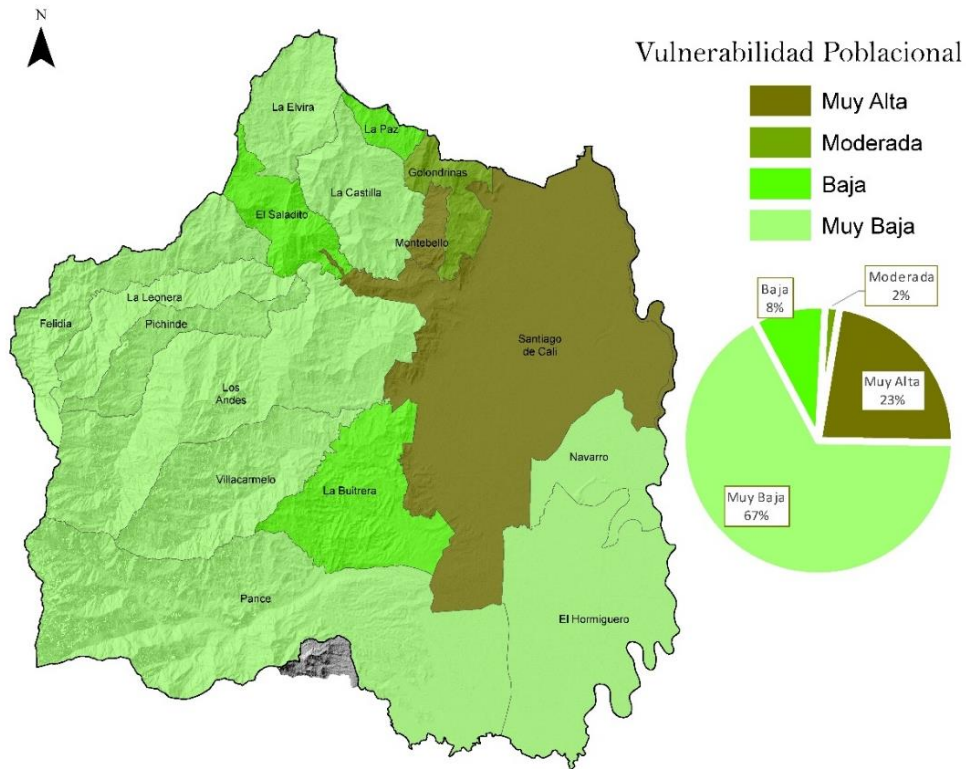
Obviando la zona urbana con una población de 2.217.682 habitante, el corregimiento donde se centra la mayor población es el Corregimiento de Montebello con un total de 90590 habitantes, equivalentes al 24.55%. El Corregimiento de la Buitrera concentra la segunda mayor cantidad de habitantes con 61.437 habitantes asociados a predios con actividades agropecuarias.

Cuadro 18. Categorización de vulnerabilidad poblacional

Vulnerabilidad	Área	Porcentaje
Muy Baja	37414.78	66.95
Baja	4790.59	8.57
Moderada	978.73	1.75
Muy Alta	12696.53	22.72
Total	55880.62	100.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Mapa de vulnerabilidad poblacional



Fuente: Elaboración propia

La densidad poblacional refleja al interior del municipio un porcentaje bastante amplio equivalente 75.53% el cual corresponde a las categorías de vulnerabilidad Baja y Muy Baja. Estas susceptible se localizan en el Parque Farallones de Cali y predios de restauración y conservación. Las categorías Muy alto y Moderado se centran en la parte urbana y el Corregimiento de Golondrinas.

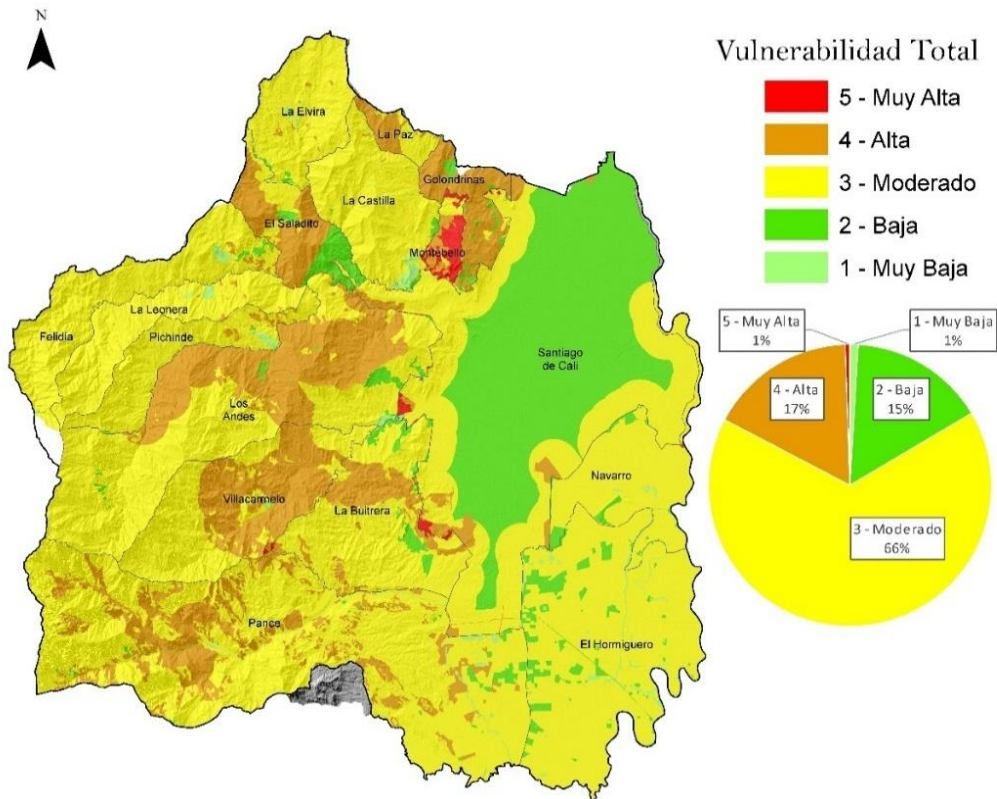
6.4.6 Vulnerabilidad por incendios forestales. De acuerdo con el producto obtenido a partir de la integración del factor por densidad poblacional, ecosistémico, patrimonial e institucional, se procede a reclasificar la vulnerabilidad total por incendio forestal teniendo como referencia, los lineamientos establecidos en el protocolo.

Cuadro 19. Categorización de vulnerabilidad a incendios forestales

Vulnerabilidad	Área (ha)	Porcentaje (%)
1 - Muy Baja	526.34	0.95
2 - Baja	8630.25	15.51
3 - Moderado	36859.91	66.24
4 - Alta	9329.35	16.77
5 - Muy Alta	296.44	0.53

Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Mapa de vulnerabilidad a incendios forestales



Fuente: Elaboración propia

La categoría de vulnerabilidad Muy Alta se concentra únicamente en el 0,53% del municipio donde se asocia principalmente a áreas destinadas a la agricultura. La categoría de vulnerabilidad Alta representa 16,77 % del municipio de los cuales, una extensión predominante se ha asociado a pastos limpios, arbustales y bosque denso ubicado en la reserva de Parque Nacional Natural Farallones de Cali.

El área restante representada como Moderada, Baja y Muy Baja se asocian principalmente a Pasto natural, Tejido urbano continuo, Bosque de galería y Ripario, Arbustales y Bosque abierto correspondiente al 82,7% con un área de 46016,50 ha.

6.5 MAPA DE RIESGO TOTAL A INCENDIOS FORESTALES

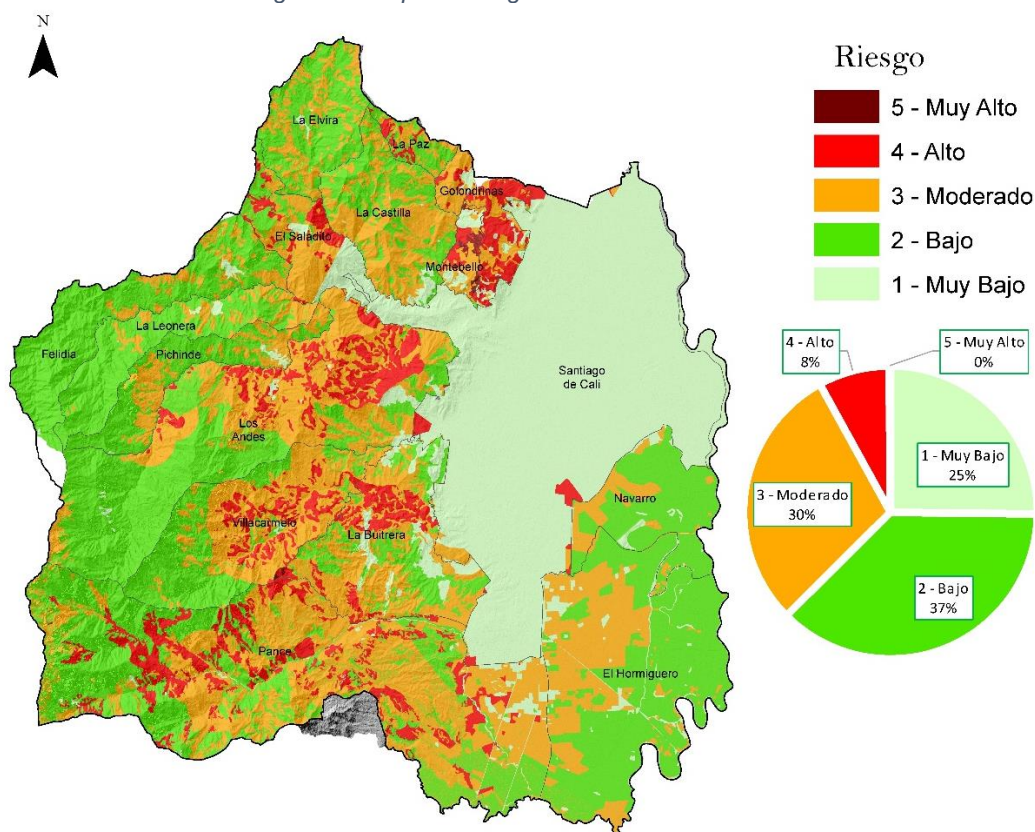
De acuerdo con el producto obtenido a partir de la integración de la amenaza total y la vulnerabilidad total, se procede a reclasificar el riesgo total por incendio forestal teniendo como referencia, los lineamientos establecidos en el protocolo.

Cuadro 20. Categorización del Mapa de riesgo total a incendios forestales

Riesgo	Área (ha)	Porcentaje (%)
1 - Muy Bajo	14000.67	25.16
2 - Bajo	20797.83	37.38
3 - Moderado	16396.92	29.47
4 - Alto	4382.64	7.88
5 - Muy Alto	63.32	0.11
Total	55641.38	100

Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Mapa de riesgo total a incendios forestales



Fuente: Elaboración propia

La categoría de riesgo Muy Alta representa una extensión equivalente a 63,32 ha del total del municipio, dicha zonificación se localiza al norte del Municipio de Cali. El riesgo más alto se concentra sobre el oeste del municipio con un porcentaje de 7.88% equivalente a 4382.64 ha. Dada la cobertura vegetal presente y las características pirogénicas asociadas, es un área con una susceptibilidad muy alta que, complementado con la alta frecuencia de incendios forestales, el crecimiento urbano, los asentamientos subnormales, tipo de vegetación, las características meteorológicas y la facilidad de acceso a vías y pendientes moderadamente escarpadas, evidencian que estas zonas requieren de acciones y estrategias de implementación inmediata que permita proteger con efectividad el ecosistema allí vinculado.

La categoría de riesgo moderada con un área de 16396.92 ha, correspondiente al 29.47% al lugar geográfico donde se concentran los centros poblados y la mayor cantidad de población rural. En estas zonas se encuentran diferentes establecimientos sociales, comerciales, sitios turístico y culturales que pueden llegar a presentar un riesgo moderado ante la ocurrencia de un incidente de ignición forestal. Hay accesibilidad por diferentes medios de transporte, lo cual garantiza una atención oportuna.

La categoría de riesgo Baja se ve representada en el 37,38% del municipio, el porcentaje más alto en la identificación del riesgo por incendios forestales del cual hacen parte del Parque Farallones de Cali, Bosques densos, mosaico de pastos y cultivos identificados sobre la cobertura vegetal, demuestran que la actividad agropecuaria no presenta un riesgo con un grado de importancia alto debido a las frecuentes precipitaciones que caen sobre la zona de estudio, la accesibilidad al igual que la categoría de riesgo Moderada juega un papel fundamental en este criterio de estudio. Por último, la categoría de riesgo Muy Baja hace parte de la zona Urbana de Cali en un 25.16% de representatividad.

6.6 ESTRATEGIA DE RESTAURACIÓN DE ÁREAS AFECTADAS POR INCENDIOS FORESTALES

El mayor porcentaje de incendios forestales en el Municipio de Cali tiene como principal fuente de origen la acción criminal de incendiarios cuya última intención es la apropiación ilegal del territorio para la expansión urbana o para el establecimiento de viviendas y sistemas productivos rurales no sostenibles. Esta situación implica que, a la hora de analizar el problema de los incendios forestales de Cali y de formular estrategias para su prevención y control, así como para la restauración de las áreas afectadas, se debe tener en cuenta la gran complejidad de variables involucradas en este desastre de origen principalmente humano.

Entre las principales consecuencias de los incendios forestales ocurridos en el Municipio de Cali están:

- El deterioro o degradación de la composición, estructura y función de los ecosistemas de bosque seco pre-montano localizados en los cerros tutelares de Cali.
- La extinción local de especies de flora y fauna cuyo nicho ecológico resulta de vital importancia en los procesos evolutivos de sucesión ecológica para la restauración de los ecosistemas.
- El reemplazo de los ecosistemas originales por “ecosistemas nuevos” constituidos por bosques pirógenos cuya composición florística contribuye a la perpetuación del ciclo anual de incendios forestales.

- La expansión de la frontera urbana debido al establecimiento ilegal de urbanizaciones pirata.
- La ocurrencia asociada de desastres por la construcción irregular de viviendas en zonas de alta pendiente y la instalación inapropiada de sistemas de abastecimiento de agua, principalmente.

Dada las consecuencias mencionadas anteriormente y tomando como referencia el “Protocolo de Restauración de Coberturas Vegetales Afectadas por Incendios Forestales”, formulado por el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Territorial en 2006 y el “Protocolo de Restauración Ecológica para el Manejo de Incendios Forestales de los Ecosistemas propios de las Zonas de Vida predominantes en la Cuenca Media-Alta de los ríos Meléndez, Lili y Cañaveralejo, y de los Cerros Tutelares de Cali, de acuerdo con el Uso Potencial del Suelo en el Marco del POMCH y el POT”, elaborado por el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente – DAGMA – del Municipio de Santiago de Cali en 2010.[26] [27]

El procedimiento para generar estrategias de restauración ecológica en las áreas afectadas por incendios forestales incluiría:

6.6.1 Caracterización o Diagnóstico. Este paso preliminar, por lo general menospreciado, puede contener la clave para la exitosa restauración ecológica del área afectada por el incendio forestal. La caracterización o diagnóstico debe incluir la descripción de los componentes de suelo, agua, flora y fauna pre-existentes en el área afectada. Dado que obviamente el incendio forestal ha destruido la fauna y la flora local, para su descripción se deberá recurrir a ecosistemas de referencia que permitan indicar la composición y estructura del componente florístico que se debe restaurar. Igualmente se deberán tener en cuenta ecosistemas de referencia cuando se trate del incendio de áreas cuya sucesión ecológica no ha logrado avanzar más allá de la etapa herbácea o arbustiva, justamente debido a la frecuencia de ocurrencia de los incendios.

6.6.2 Control de Agentes Tensionantes. Una vez conocidos los factores externos que afectan negativamente la evolución del ecosistema (debido a que propician, en este caso, la ocurrencia de incendios forestales), se deberán formular y establecer estrategias integrales y/o complementarias que justamente corrijan e impidan la ocurrencia de dichos factores.

6.6.3 Corrección de Agentes Limitantes. Al igual que en el caso anterior, una vez conocidos los factores internos que afectan negativamente la evolución del ecosistema (debido a que le hacen más vulnerable, en este caso, a la ocurrencia de incendios forestales), se deberán formular y establecer acciones integrales que reduzcan la vulnerabilidad del ecosistema frente a la ocurrencia de los incendios forestales.

6.6.4 Manejo del Paisaje para la Restauración Ecológica. A partir de los resultados del diagnóstico y del análisis de las principales variables dinamizadoras o retardadoras de la sucesión ecológica, se diseñarán y establecerán las

herramientas de manejo del paisaje que mejor contribuyan a la efectiva restauración ecológica del área afectada por el incendio forestal.

6.6.5 Monitoreo de la Restauración Ecológica. Consiste en la formulación y aplicación de procedimientos regulares que permitan medir la efectividad de las acciones ejecutadas para lograr la restauración ecológica de las áreas afectadas por incendios forestales.

Estas fases están proyectas en el tiempo. Comúnmente, los procesos de restauración ecológica llegan hasta la fase de establecimiento, asumiendo erróneamente que las condiciones están dadas para el restablecimiento del ecosistema o paisaje original. Dependiendo del ecosistema o área que se pretende restaurar, rehabilitar o recuperar, el tiempo necesario para lograrlo puede oscilar entre cinco (recuperación) y cincuenta años (rehabilitación o restauración). Es necesario entonces, garantizar el mantenimiento de la restauración ecológica durante un lapso mínimo que permita a las coberturas vegetales, a partir del ajuste y corrección de las situaciones identificadas durante la fase de evaluación y monitoreo, continuar con su evolución natural sin ninguna intervención humana.

6.7 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Los incendios forestales se consideran un problema importante tanto en el ámbito forestal como para la sociedad en general, por ello es evidente la necesidad de contar con información espacialmente explícita sobre el fenómeno con objeto de poder analizar posibles patrones de ocurrencia que contribuyan a optimizar las labores de vigilancia y protección de las zonas más afectadas. En este sentido, las nuevas tecnologías de información espacial, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), ofrecen una herramienta de gran interés para la representación espacial del fenómeno y la combinación con otras variables que ayuden a su interpretación.

Hoy en día los incendios forestales constituyen uno de los principales agentes de deterioro y degradación de los ecosistemas del Municipio de Cali, especialmente de los ecosistemas de bosque seco pre-montano remanentes en los denominados cerros tutelares de Cali. Año tras año, durante las épocas de estío o sequía, el Municipio de Cali sufre las consecuencias de un promedio mayor a los 600 incendios forestales.

Aunque existen normativas colombianas para el control y prevención de incendios forestales, estas se han convertido solamente en formalismos ya que no juegan un papel relevante en la gestión territorial, por lo cual se hace necesario impulsar este tipo de iniciativas.

La identificación del riesgo por incendios obtenida a través de productos cartográficos permite clasificar un territorio en diferentes niveles de riesgo con una

adecuada precisión geográfica. El uso de los Sistemas de Información Geográfica – SIG y el formato digital sobre el cual fue implementado el presente proyecto de investigación facilita la continua actualización de la información y puede llegar a constituir un sistema de análisis abierto a distintas interpretaciones, al ser posible la adecuación de diversos criterios de ponderación de las variables de entrada e incluso, la consideración de otras nuevas orientadas a su empleo en otros campos de investigación relacionadas con la protección del ecosistemas forestales[17].

La incorporación de la gestión del riesgo de desastres naturales en los Planes de Ordenamiento Territorial constituye una política nacional a implementar no solo desde un aspecto jurídico sino desde un punto de vista técnico, tecnológico, profesional e incluyente, el cual, debe adaptarse frente a las dinámicas cambiantes del territorio y contar con mecanismos que permitan medir, evaluar y monitorear cada uno de los factores determinantes ante a una emergencia específica. Es por ello que la planeación urbana y regional de un territorio debe estar ligada a la existencia de un adecuado Sistema de Información Territorial – SIT que sirva como eje fundamental frente al desarrollo sostenible, la prevención y la mitigación del riesgo municipal que apoye la toma de decisiones y construyan territorios resilientes.

Los criterios y parámetros de identificación de susceptibilidades, amenazas, vulnerabilidades y riesgos establecidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM dentro de la metodología propuesta, abarcan la gran mayoría de los factores detonantes de un incendio forestal y representa el modelo predictivo más adecuado que recrea con mayor acierto los datos reales de los incidentes forestales registrados en la zona de estudio, dando por cumplido el segundo objetivo específico, sin embargo, cada uno de los factores implementan una categorización subjetiva elaborada por el experto temático mas no de un índice propio de riesgo por incendio forestal adaptado a las características meteorológicas, geomorfológicas, ecosistémicas y demográficas del territorio nacional.

7. CONCLUSIONES

Una buena práctica para el uso apropiado de la metodología implementada consiste en partir desde su unidad mínima, con el fin de garantizar un adecuado escalamiento para futuras implementaciones y así, ampliar el alcance del proyecto a entidades territoriales con mayor nivel en el país en un mediano y largo plazo. La estructuración metodológica a escala municipal se reduce a obtener y analizar datos a un nivel de detalle mucho más amplio, situación que lastimosamente puede llegar a ser una labor imposible de acuerdo con el área de estudio desde donde se desea abordar la problemática, a raíz de los siguientes hechos:

El 25.16% presenta riesgo Muy Bajo, el 37.38 % se presenta riesgo moderado y se encuentran en áreas de especial importancia para el municipio y solo el 7.99% presenta riesgo Alto y Muy Alto a incendios forestales.

La información oficial solicitada se encuentra desactualizada o mal estructurada, razón por la cual, el procesamiento de los datos se realiza a partir de información que no registra la dinámica territorial y los cambios efectuados a la fecha. En algunos casos, la adquisición de la información puede generar un costo para la persona natural o jurídica que requiera hacer una investigación.

Es necesario realizar análisis previos sobre la disponibilidad y accesibilidad de información de la cual disponga el municipio objeto del proyecto, ello contribuye a una planeación que contempla este tipo de escenarios, permitiendo que la línea base del proyecto sea coherente con el cronograma de actividades y de esta manera se puedan cumplir en los tiempos estipulados.

La silvicultura preventiva se puede implementar a través de la programación de desbroces, aclareos y podas regulando así la estructura y composición del bosque. Como también planeando la realización de cortafuegos.

Se requiere de una coordinación entre las autoridades competentes a nivel ambiental, minero y municipal para que se logren formular políticas sólidas frente a la problemática que enfrenta las áreas protegidas del Municipio de Cali.

8. RECOMENDACIONES

Es importante, contar con gran cantidad de datos reales que puedan representar las condiciones meteorológicas, climáticas de la zona, por eso se recomienda el mantenimiento (preventivo) de las estaciones, por parte de las entidades que registran estos datos y los ofrecen para esta clase de investigación. Para el Municipio de Cali, la entidad que podría brindar una mayor cantidad de datos sería la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, ya que cuenta con varias estaciones dentro de la zona urbana y rural del municipio, pero no se encuentra en condiciones para brindar datos confiables por falta de mantenimiento o funcionamiento.

Es de señalar, que a la hora de consultar y generar cartografía que involucre el uso e identificación actual de la tierra, se encuentre lo más actualizada posible. Esto con el fin de determinar las zonas más susceptibles a presentar incendios, y generar planes de acción actualizados para evitar cubrir zonas innecesarias y ahorrar costos en planes de restauración de zonas afectadas.

Desde el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio lograr estrategias frente a la planificación espacial del territorio. Dado que el crecimiento desordenado del mismo genera presión sobre áreas en condición de riesgo y sobre áreas de importancia ecológica como lo es Parques Naturales Nacionales farallones de Cali y los predios de conservación del municipio.

Reducir el número de especies pirogénicas y aumentar el número de especies que dinamicen la recuperación del suelo y activen los procesos de restauración de áreas incendiadas.

9. BIBLIOGRAFÍA

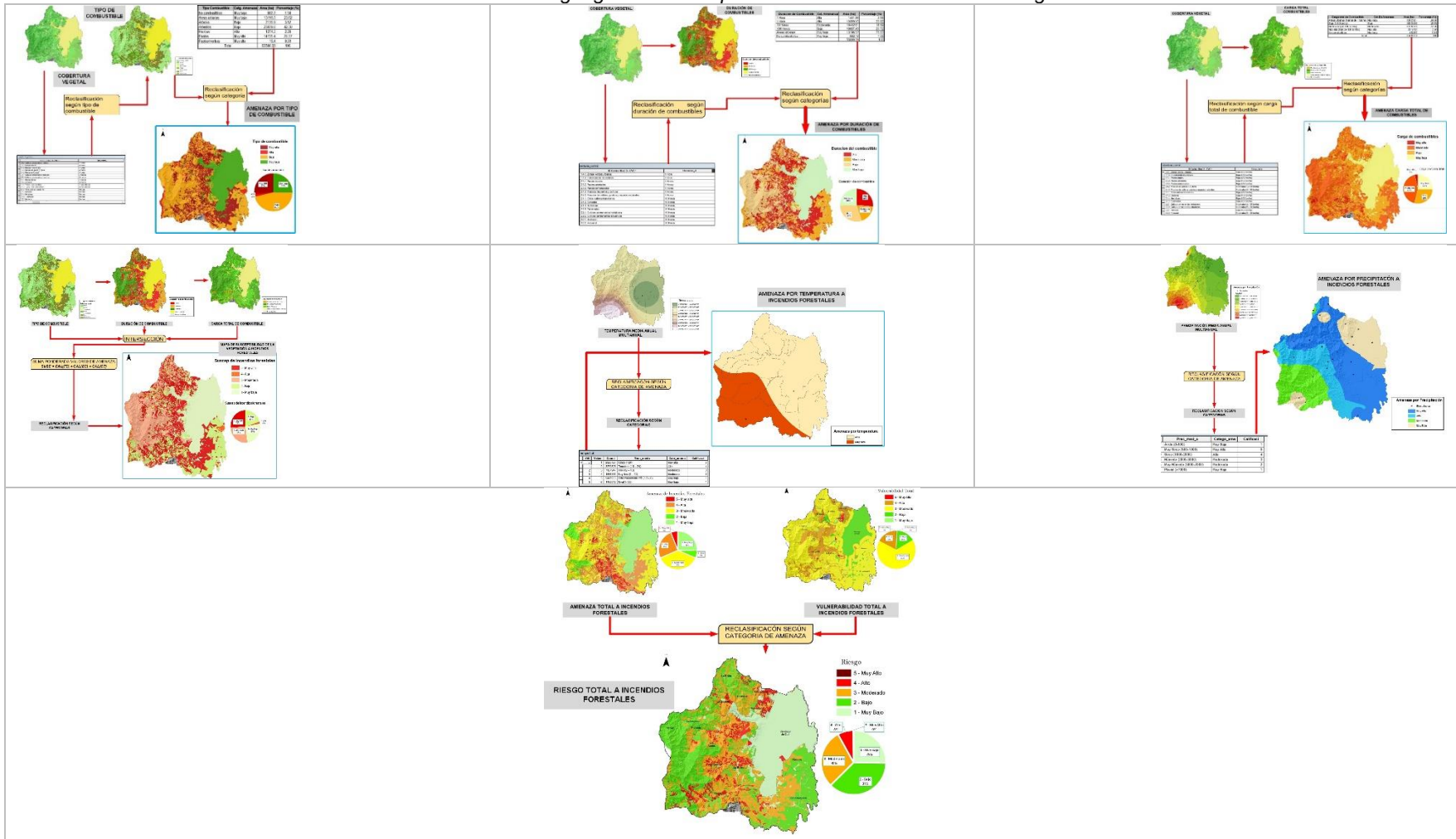
- [1] C. Aragonese and J. M. Rábade, "Propuesta Metodológica para el Análisis de la Vulnerabilidad y de la Gravedad Potencial de los Incendios Forestales en el Marco de," *II Simp. Int. sobre Políticas, Planif. y Econ. los Programas Protección Contra Incend. For.*, pp. 19–22, 2004.
- [2] IDEAM, *Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000*. 2011.
- [3] A.-C. Chardon and J. L. González, "Programa De Información E Indicadores De Gestión De Riesgos," *Gest. Riesgos Nat.*, vol. Volumen 1, no. riesgos naturales, p. 38, 2002.
- [4] A. Protegidas and S. D. E. Cali, "Areas protegidas santiago de cali," no. 1998, pp. 6–8, 2018.
- [5] S. De Cali and O. D. R. Sociales, "Realidades y Presencias," 2015. .
- [6] D. Armenteras *et al.*, *Incendios de la cobertura vegetal en Colombia*. 2011.
- [7] V. Y. D. T. Ministerio de Ambiente, "Cartilla orientadora para la gestión del riesgo en incendios forestales," p. 38, 2012.
- [8] F. Aguirre Briones, *Manual de formación de incendios forestales para cuadrillas*. 2013.
- [9] M. C. Prado, "Diseño de un modelo SIG para la determinación de zonas en riesgo por incendios forestales en los cerros orientales de la ciudad de Bogotá (Tesis de Maestría)," p. 129, 2014.
- [10] O. D. Cardona Arboleda, Á. H. (Álex H. Barbat, and C. i G. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria del Terreny, "Capítulo 2 Conceptos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo," *Estimación holística del riesgo sísmico Util. Sist. dinámicos complejos*, p. 16, 2002.
- [11] C. Arlex and R. Igor, "Estudio de las causas , ocurrencia y daño por Incendios Forestales en la Región de Los Lagos," 2013.
- [12] F. A. Sarria, "Sistemas de Información Geográfica," *Univ. Murcia*, p. 239, 2006.
- [13] R. A. Seco Granja and others, "Aplicación de un Sistema de Información Geográfica al análisis de los datos de incendios forestales en España," *Tesis Dr.*, 2010.

- [14] O. Javier, S. Rodríguez, S. Cristina, R. Erazo, and A. A. Castro, "Sistemas De Información Geográfica - Sig," *Mejor. Los Sist. Cartogr. Del Territ. Colomb.*, pp. 1–42, 2007.
- [15] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Plan Nacional de Restauración*. 2015.
- [16] E. Jardel *et al.*, "Restauración de áreas afectadas por incendios forestales en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán," *Ecol. y Recur. Nat.*, no. 2, p. 33, 2003.
- [17] A. F. Forero Huertas, "Identificación del Riesgo por Incendios Forestales en el Municipio de Villa de Leyva, Boyacá a Través de un Sistema de Información Geográfica y Percepción Remota como Complemento al Plan de Atención y Prevención de Desastres y Gestión del Riesgo Municipal," 2016.
- [18] L. L. Sardá, "Aplicación de las técnicas de restauración hidrológico forestal en la recuperación de áreas degradadas por incendios forestales," *Univ. Politécnica Madrid*, 2004.
- [19] M. F. Mondragón Leonel, A. Melo Ardila, and K. Gelvez Pinzón, "Causas de los incendios forestales en la región Caribe, Andina y Orinoquía de Colombia," vol. 1, p. 222, 2013.
- [20] B. Figueroa, "Criterios para evaluar la información," *Univ. Interam. Puerto Rico*, pp. 1–3, 2007.
- [21] CAR and IDEAM, *Memoria Técnica de zonificación del riesgo a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000*. 2014.
- [22] "Metodología para priorizar áreas de protección IF." .
- [23] DAPM, "MUNICIPIO SANTIAGO DE CALI PLAN DE DESARROLLO ESTRATÉGICO COMUNA DIEZ Y NUEVE PERIODO 2004-2008 CENTRO DE ADMINISTRACION LOCAL INTEGRADA COMUNA DIEZ Y NUEVE Contenido," 2003.
- [24] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, "Decreto 2372 de 2010," *D. Of. No. 47.757*, p. 23, 2010.
- [25] DAPM, "MUNICIPIO SANTIAGO DE CALI PLAN DE DESARROLLO ESTRATÉGICO COMUNA DIEZ Y NUEVE PERIODO 2004-2008 CENTRO DE ADMINISTRACION LOCAL INTEGRADA COMUNA DIEZ Y NUEVE Contenido," 2003.
- [26] "Plan de restauración ecológica del municipio de santiago de cali."

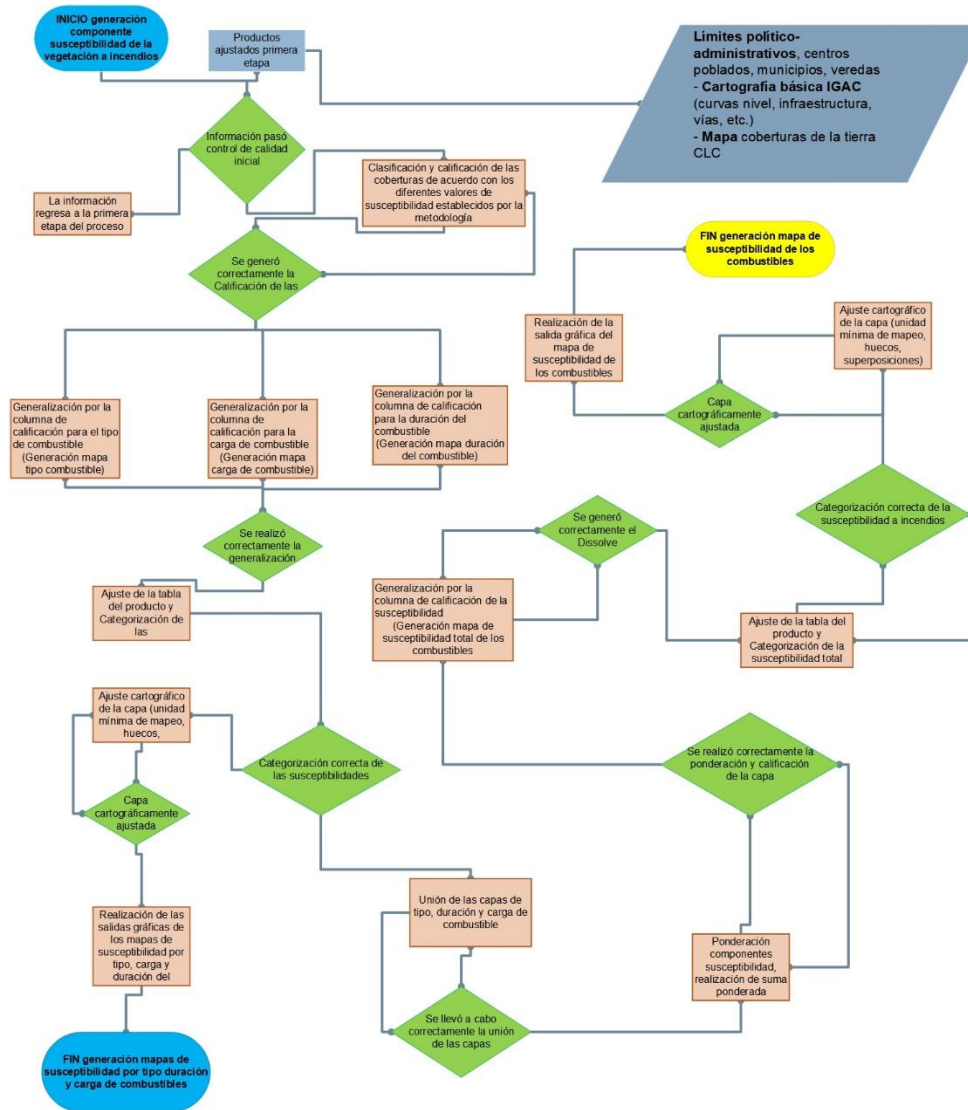
- [27] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Plan Nacional de Restauración*. 2015.
- [28] IGAC, “Aspectos prácticos de la adopción de marco geocéntrico nacional de referencia Magna-Sirgas como datum oficial de Colombia,” p. 97, 2004.

10.ANEXOS

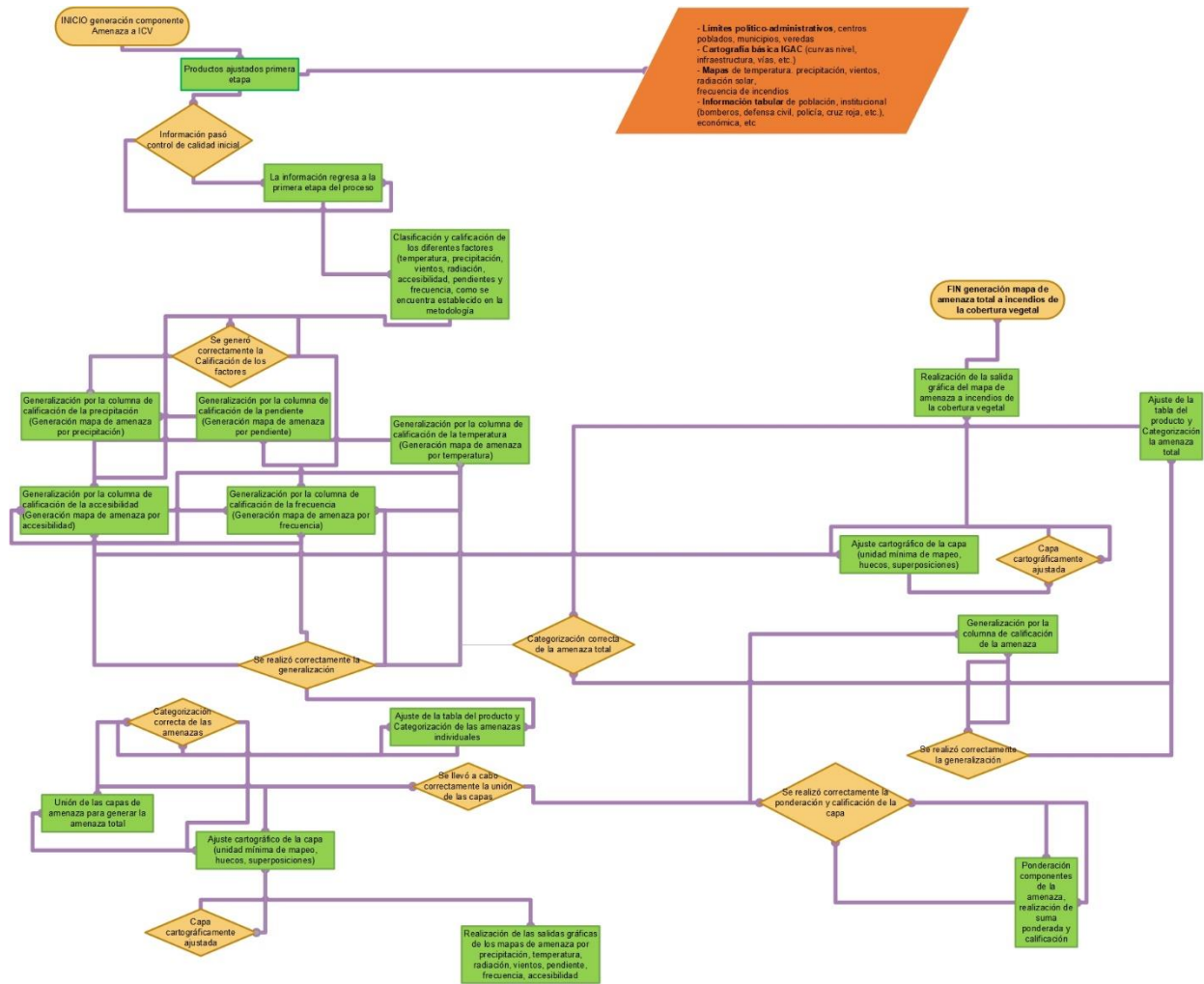
Anexo 1. Metodología general de mapas de incendios de la cobertura vegetal



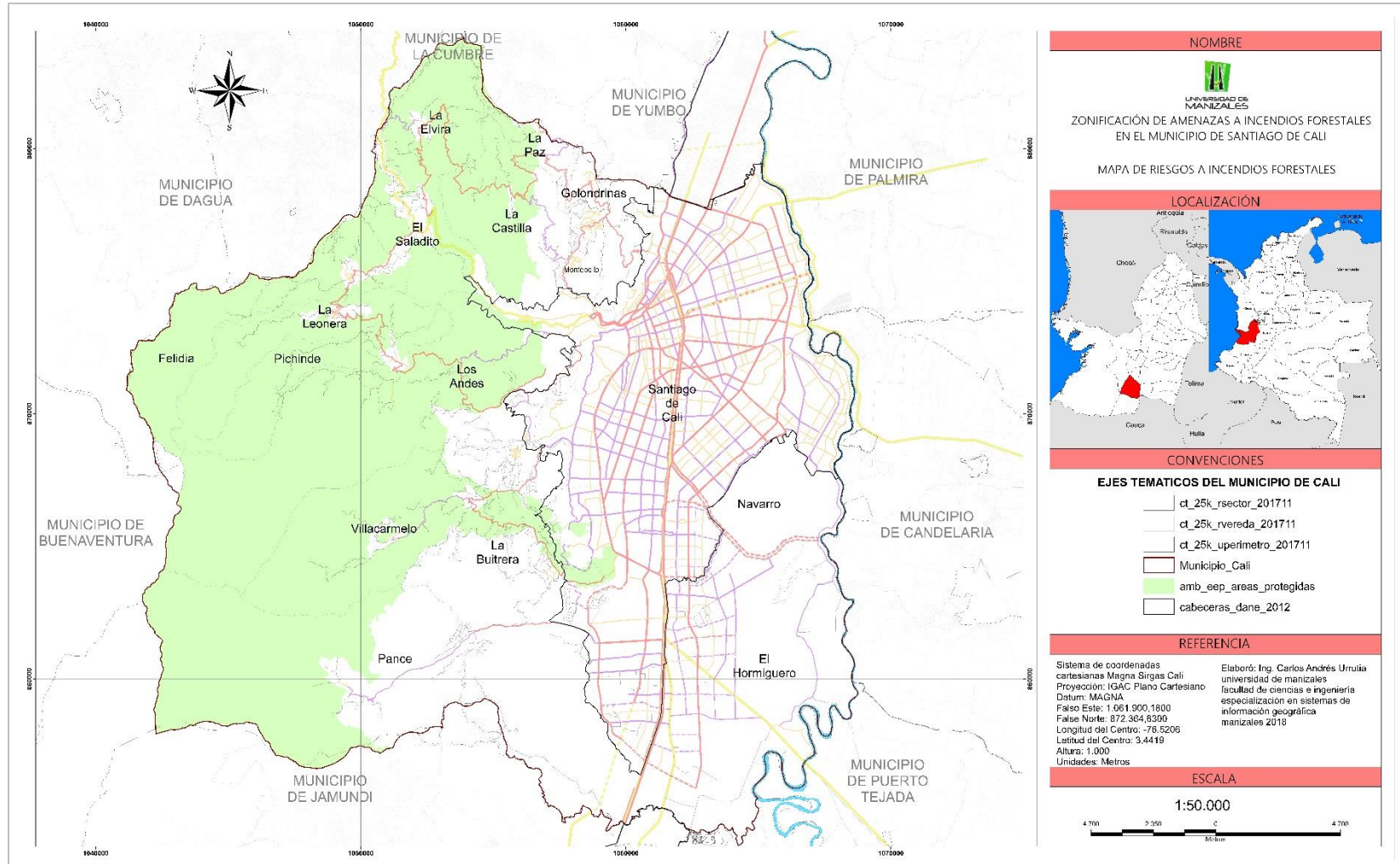
Anexo 3. Proceso de generación de los mapas de susceptibilidad de la vegetación a incendios



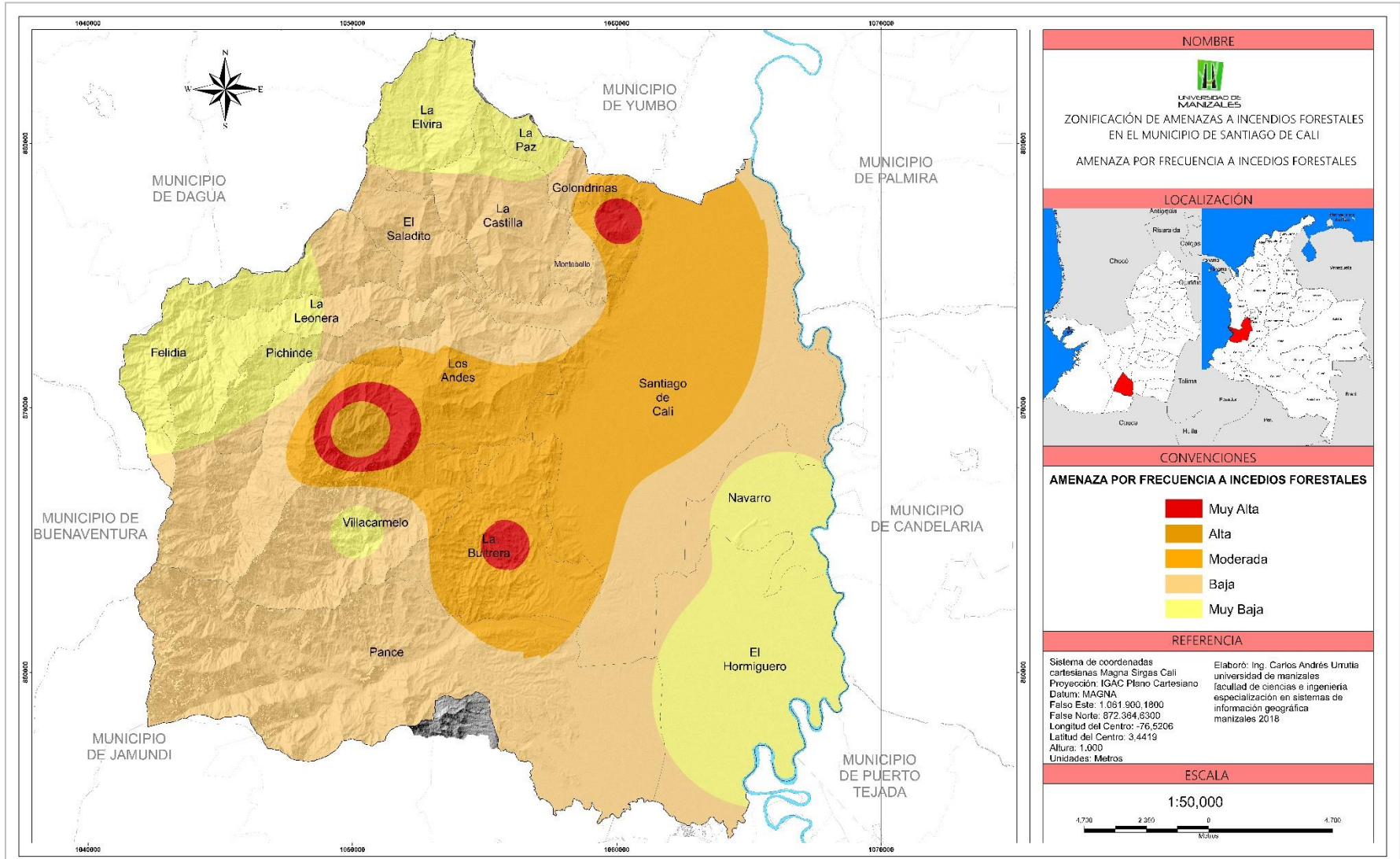
Anexo 4. Proceso de generación de los mapas de amenaza a incendios de la cobertura vegetal.



Anexo 5. Localización del Municipio de Cali



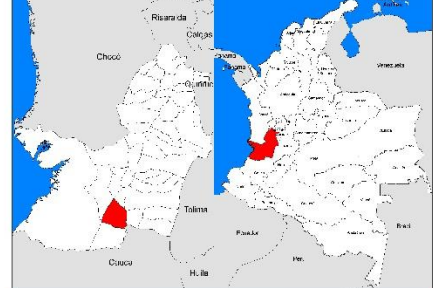
Anexo 7. Mapa de Amenaza por Frecuencia a Incendios Forestales



NOMBRE

UNIVERSIDAD DE MANIZALES
 ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS A INCENDIOS FORESTALES
 EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI
 AMENAZA POR FRECUENCIA A INCENDIOS FORESTALES

LOCALIZACIÓN



CONVENCIONES

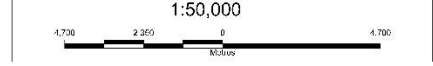
- AMENAZA POR FRECUENCIA A INCENDIOS FORESTALES**
- Muy Alta
 - Alta
 - Moderada
 - Baja
 - Muy Baja

REFERENCIA

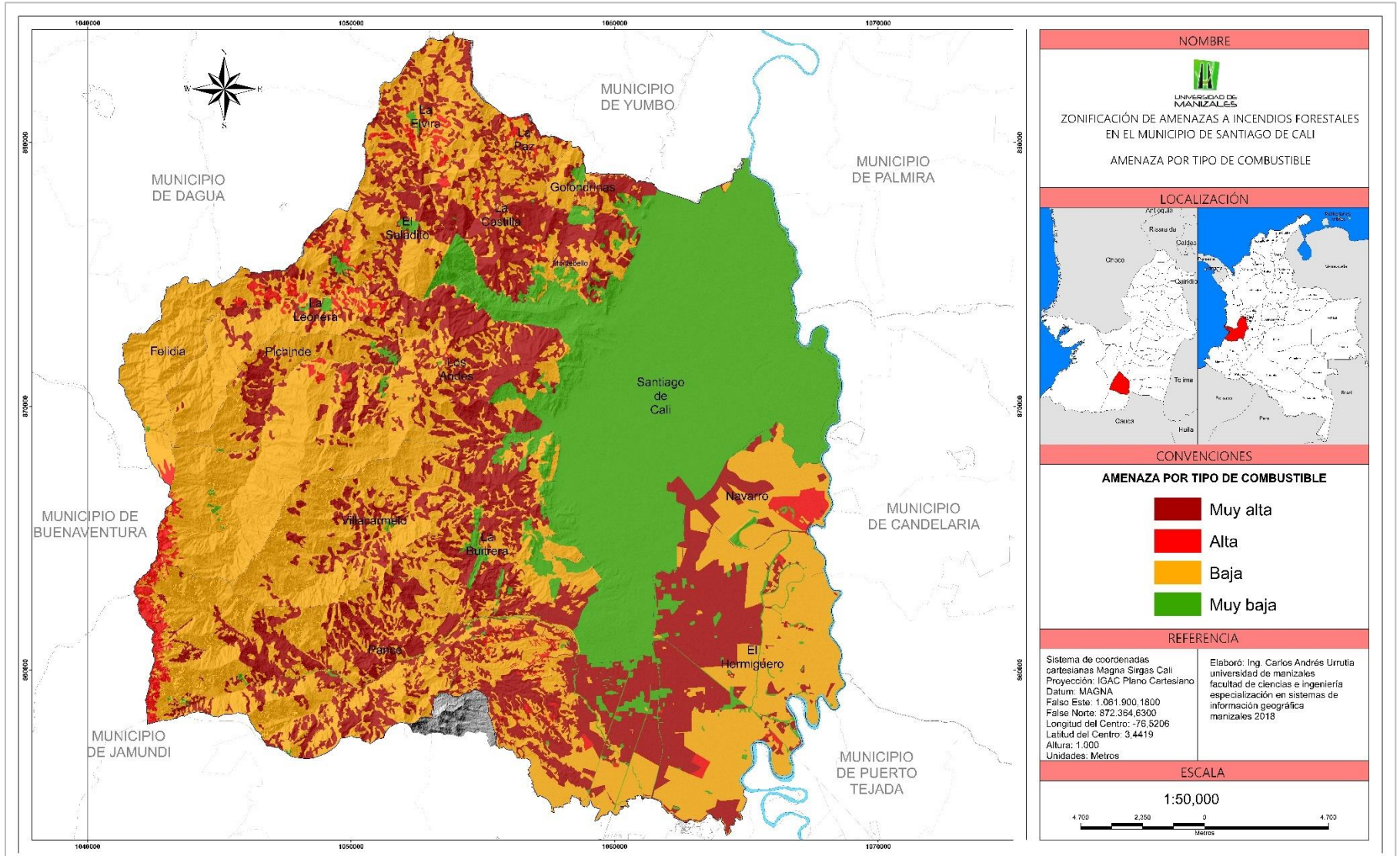
Sistema de coordenadas cartesianas Magna Sirgas Cali
 Proyección: IGAC Plano Cartesiano
 Datum: MAGNA
 Falso Este: 1.031.900,1800
 Falso Norte: 872.364,6300
 Longitud del Centro: -76,5206
 Latitud del Centro: 3,4419
 Altura: 1,000
 Unidades: Metros

Elaboró: Ing. Carlos Andrés Umata
 universidad de manizales
 facultad de ciencias e ingeniería
 especialización en sistemas de
 información geográfica
 manizales 2016

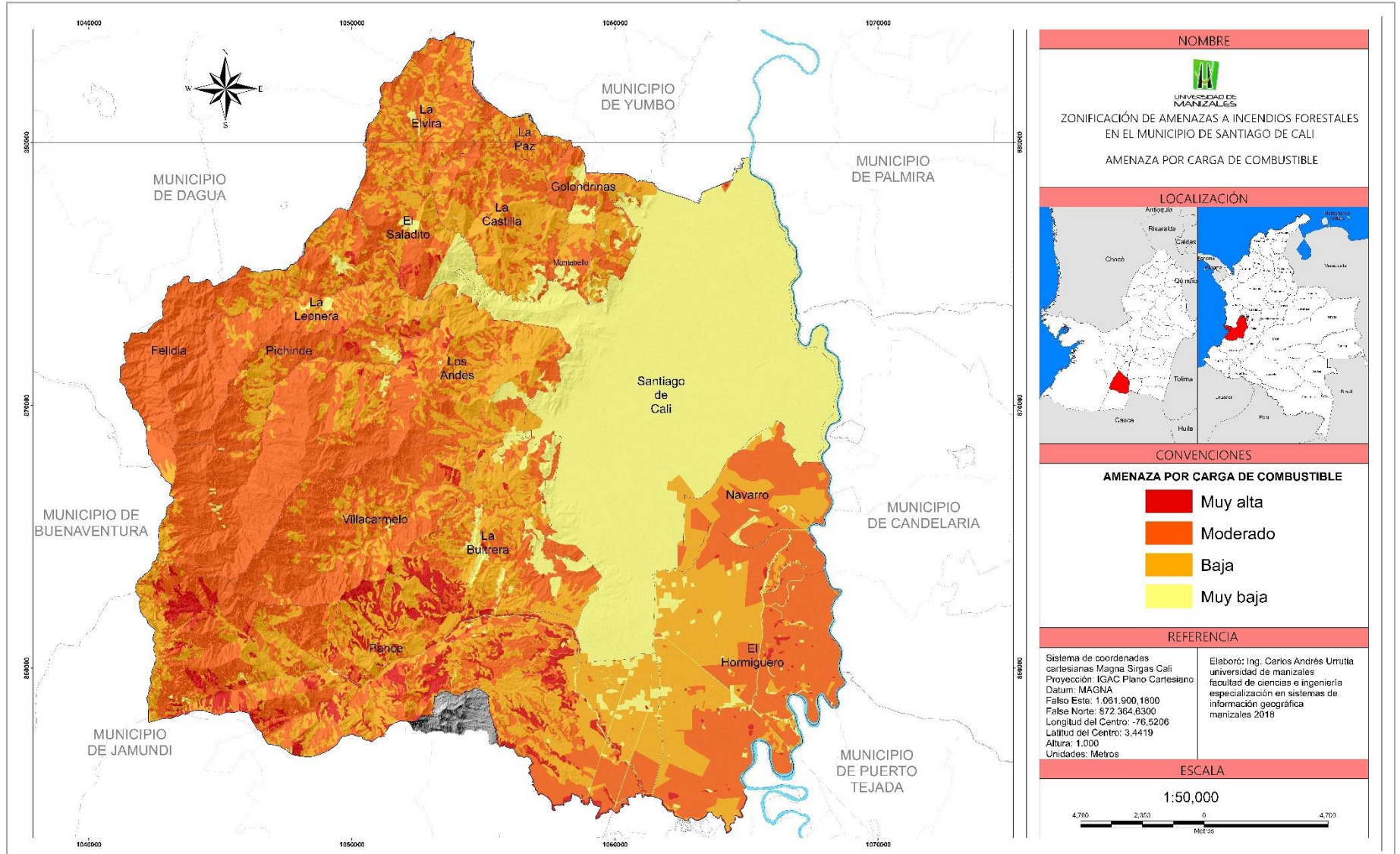
ESCALA



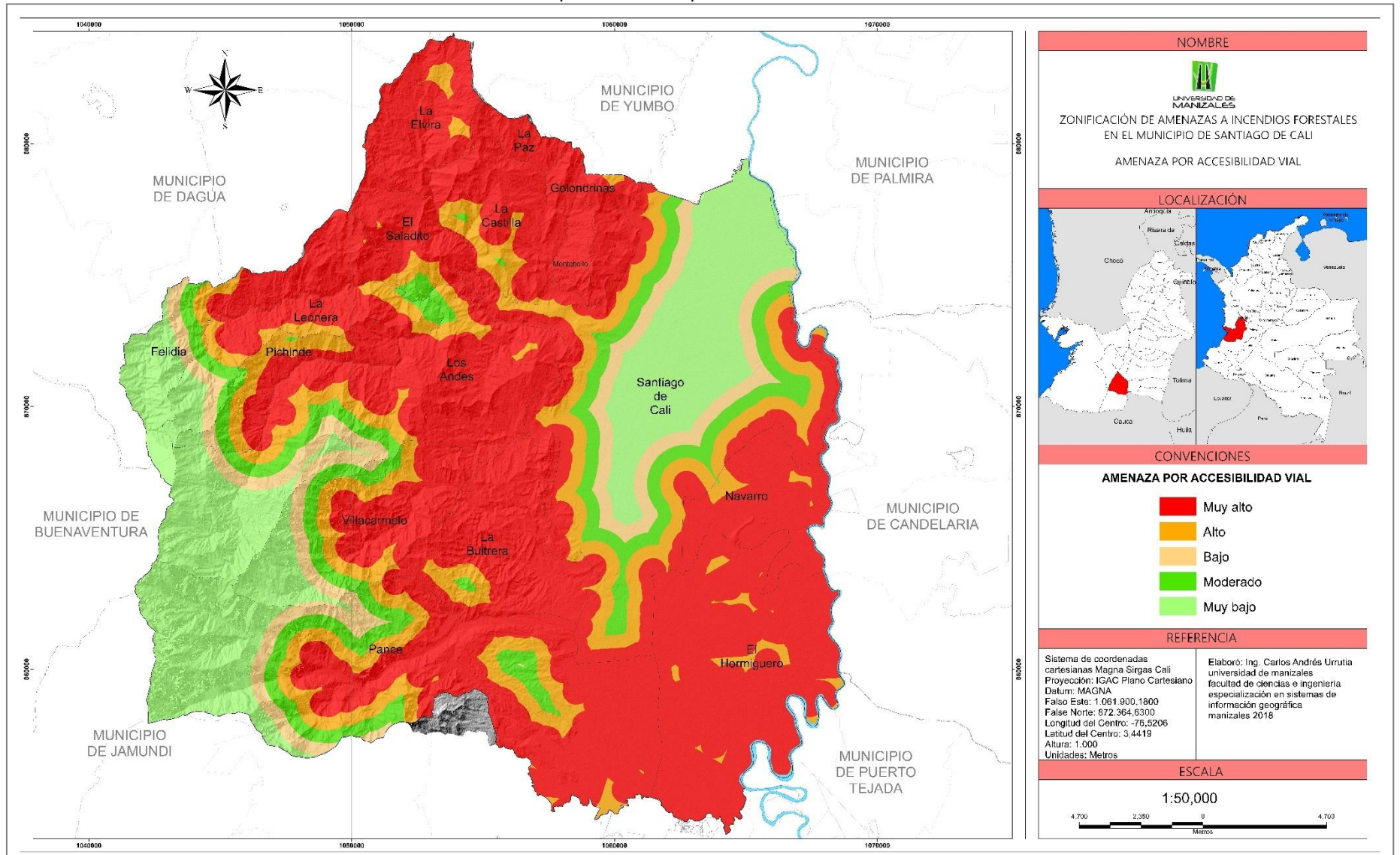
Anexo 8. Mapa de Amenaza por tipo de Combustible



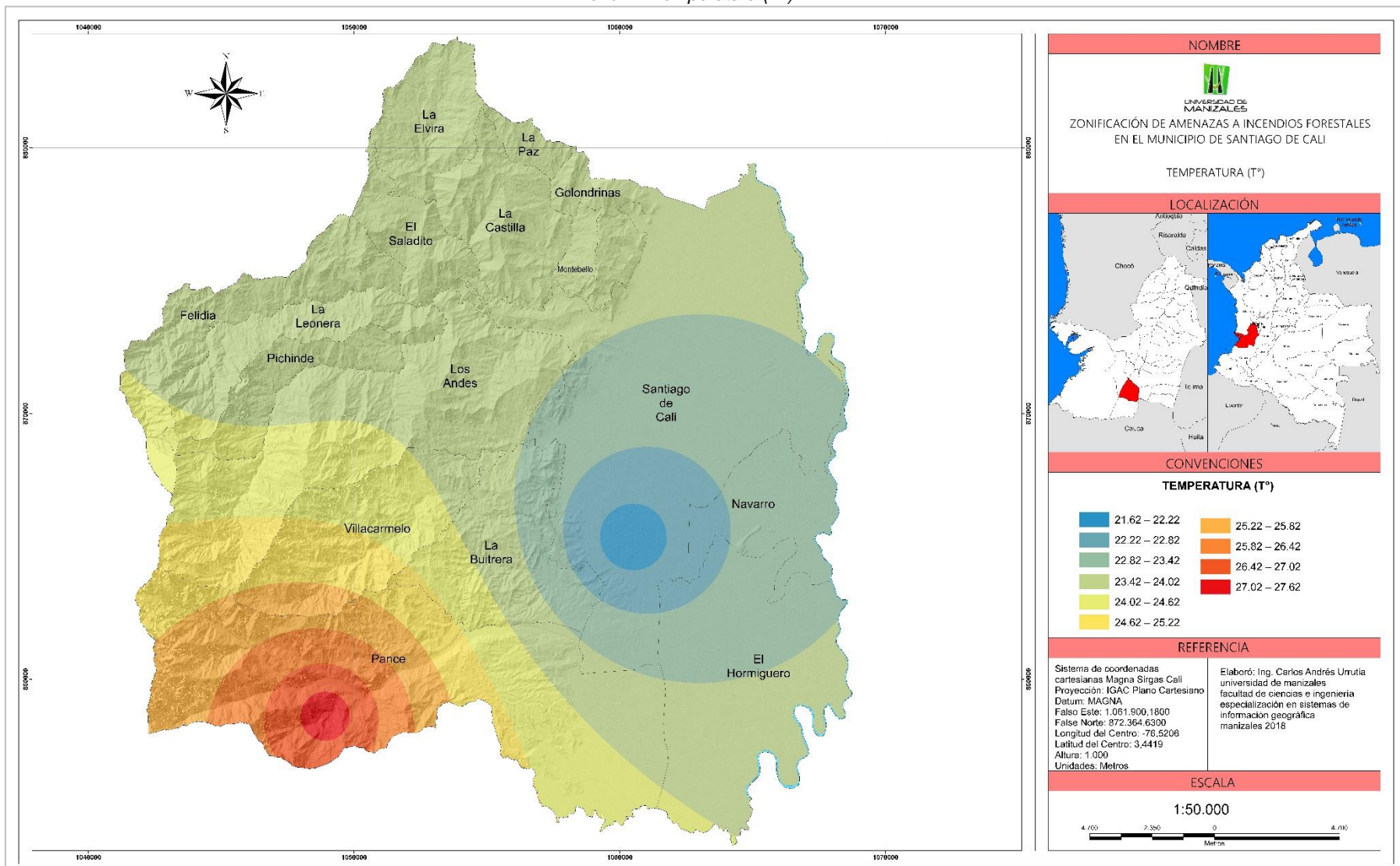
Anexo 9. Mapa de Amenaza por Carga de Combustible



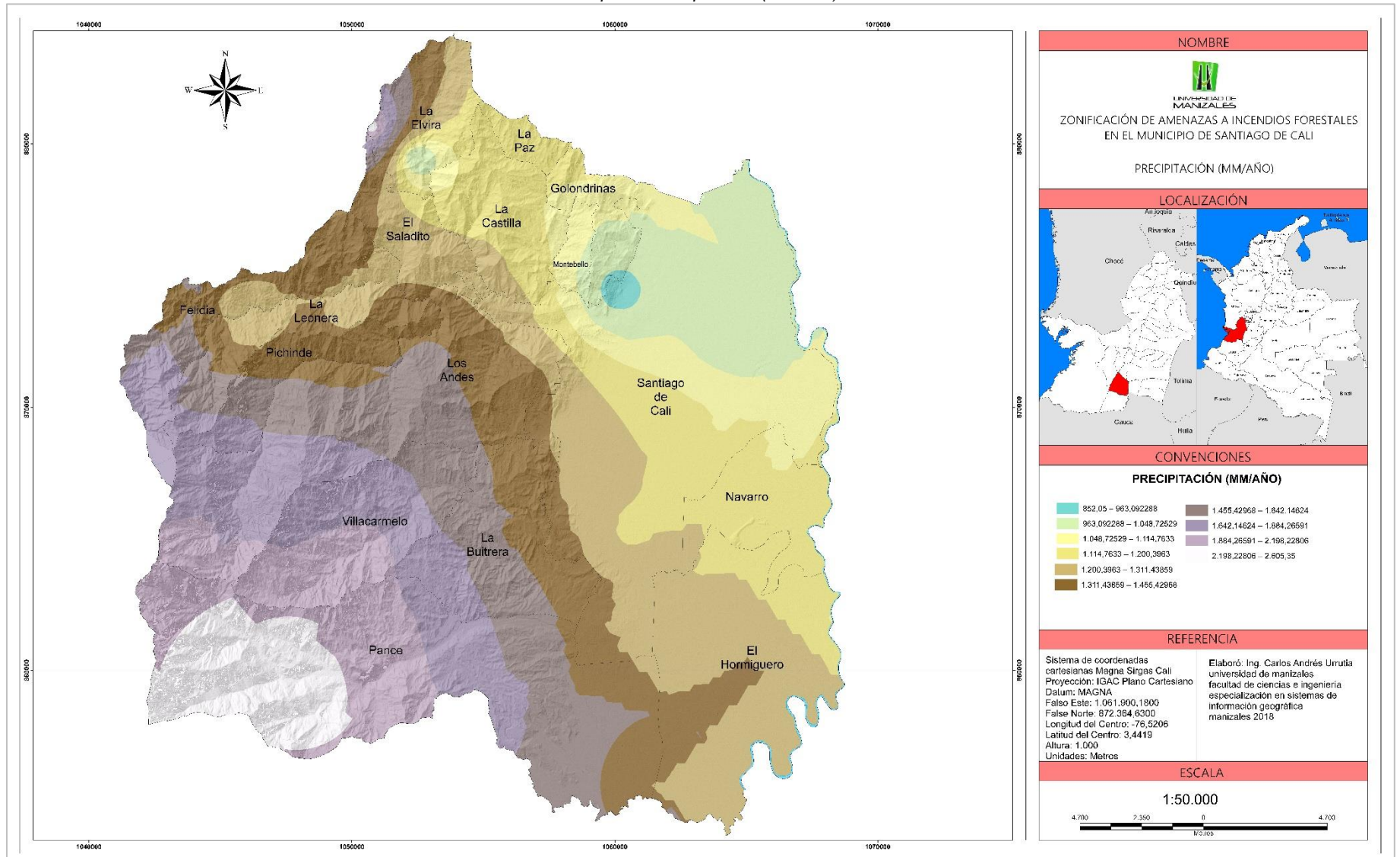
Anexo 10. Mapa de Amenaza por Accesibilidad Vial



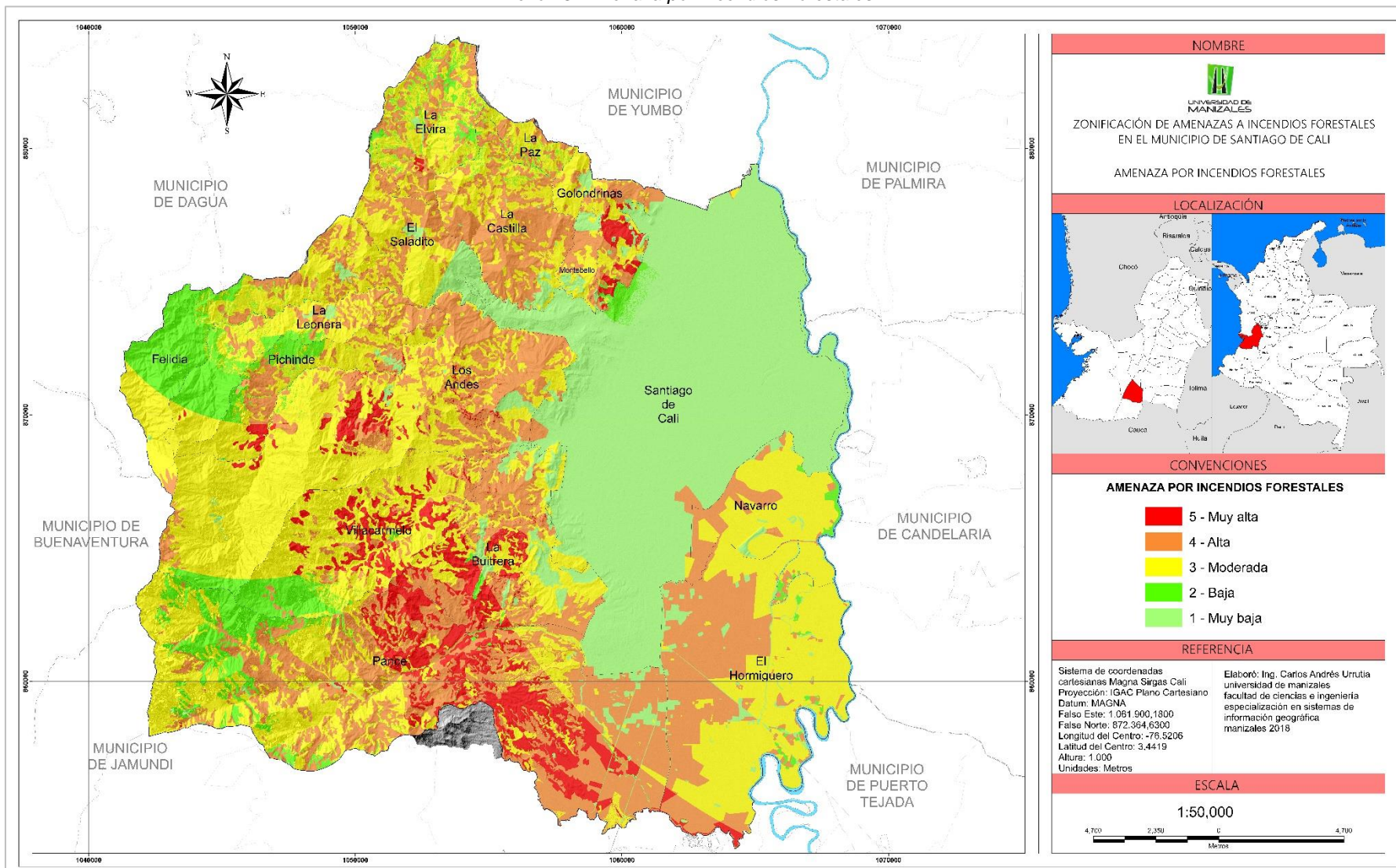
Anexo 11. Temperatura (T°)



Anexo 12. Mapa de Precipitación (mm/año)



Anexo 13. Amenaza por Incendios Forestales



NOMBRE

UNIVERSIDAD DE MANIZALES

ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS A INCENDIOS FORESTALES EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI

AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES

LOCALIZACIÓN

CONVENCIONES

AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES

- 5 - Muy alta
- 4 - Alta
- 3 - Moderada
- 2 - Baja
- 1 - Muy baja

REFERENCIA

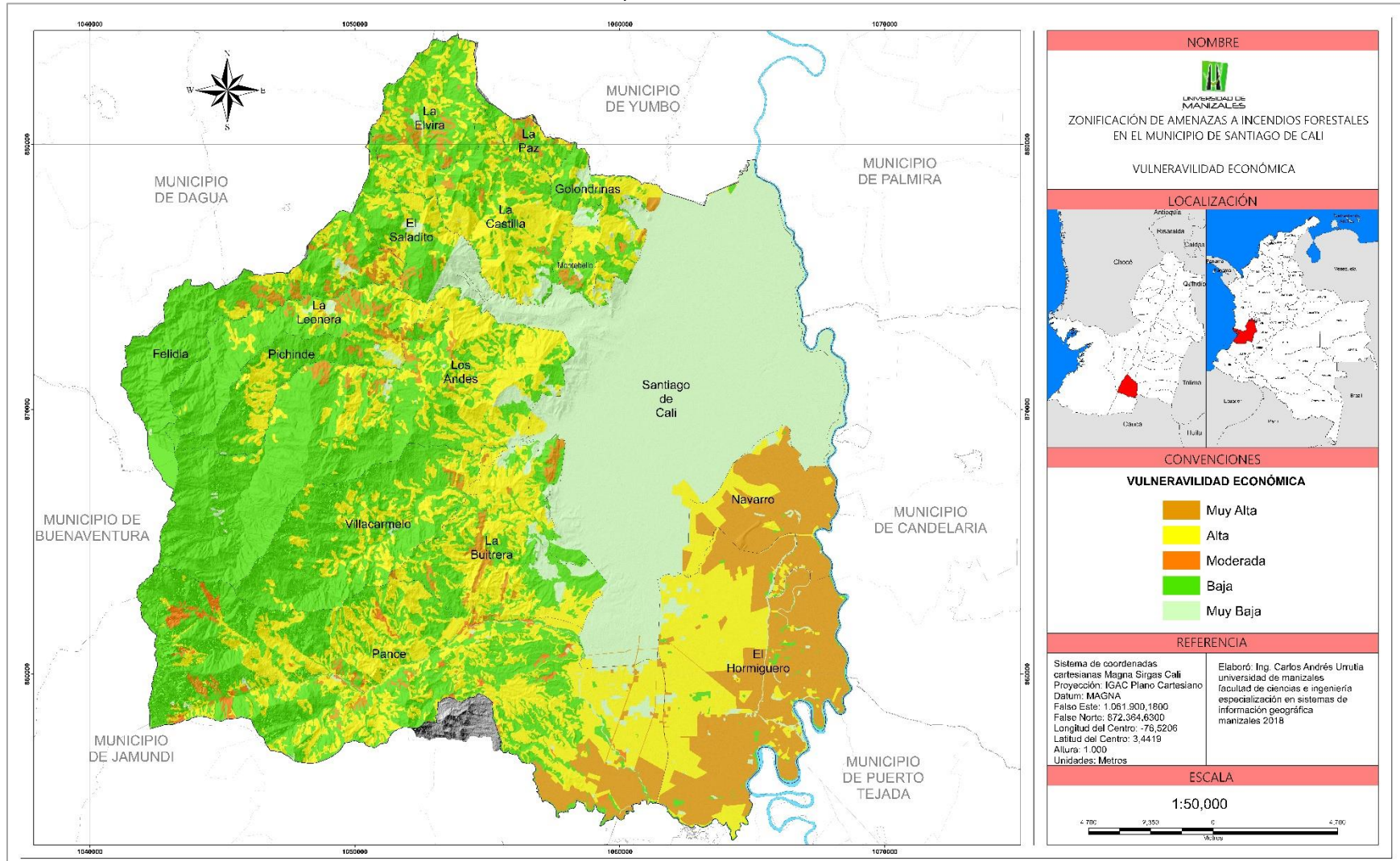
Sistema de coordenadas cartesianas Magna Sirgas Cali
 Proyección: IGAC Plano Cartesiano
 Datum: MAGNA
 Falso Este: 1.081.900,1800
 Falso Norte: 872.364.6300
 Longitud del Centro: -76.5206
 Latitud del Centro: 3.4419
 Altura: 1.000
 Unidades: Metros

Elaboró: Ing. Carlos Andrés Urrutia
 Universidad de Manizales
 Facultad de Ciencias e Ingeniería
 especialización en sistemas de información geográfica
 manizales 2018

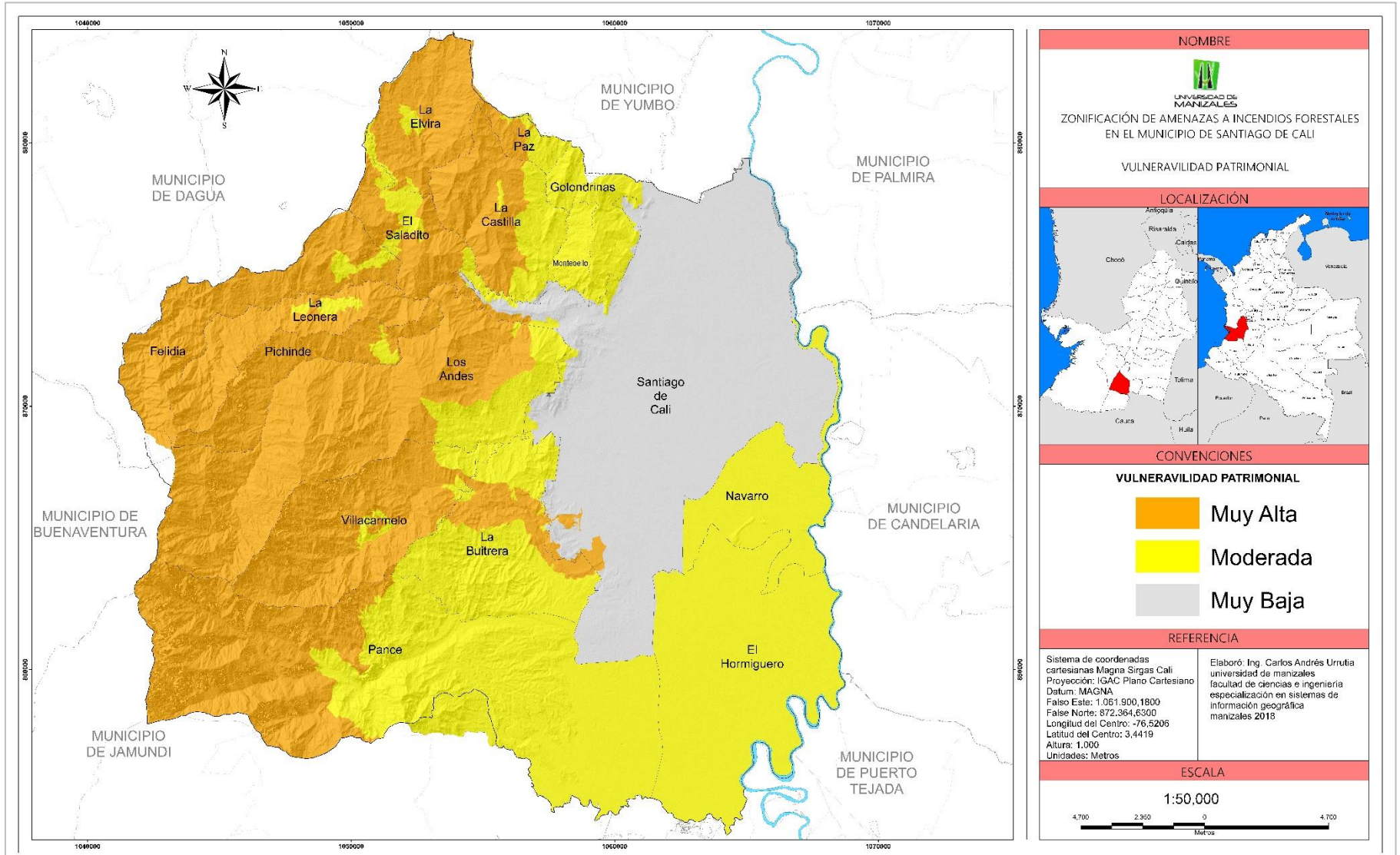
ESCALA

1:50,000

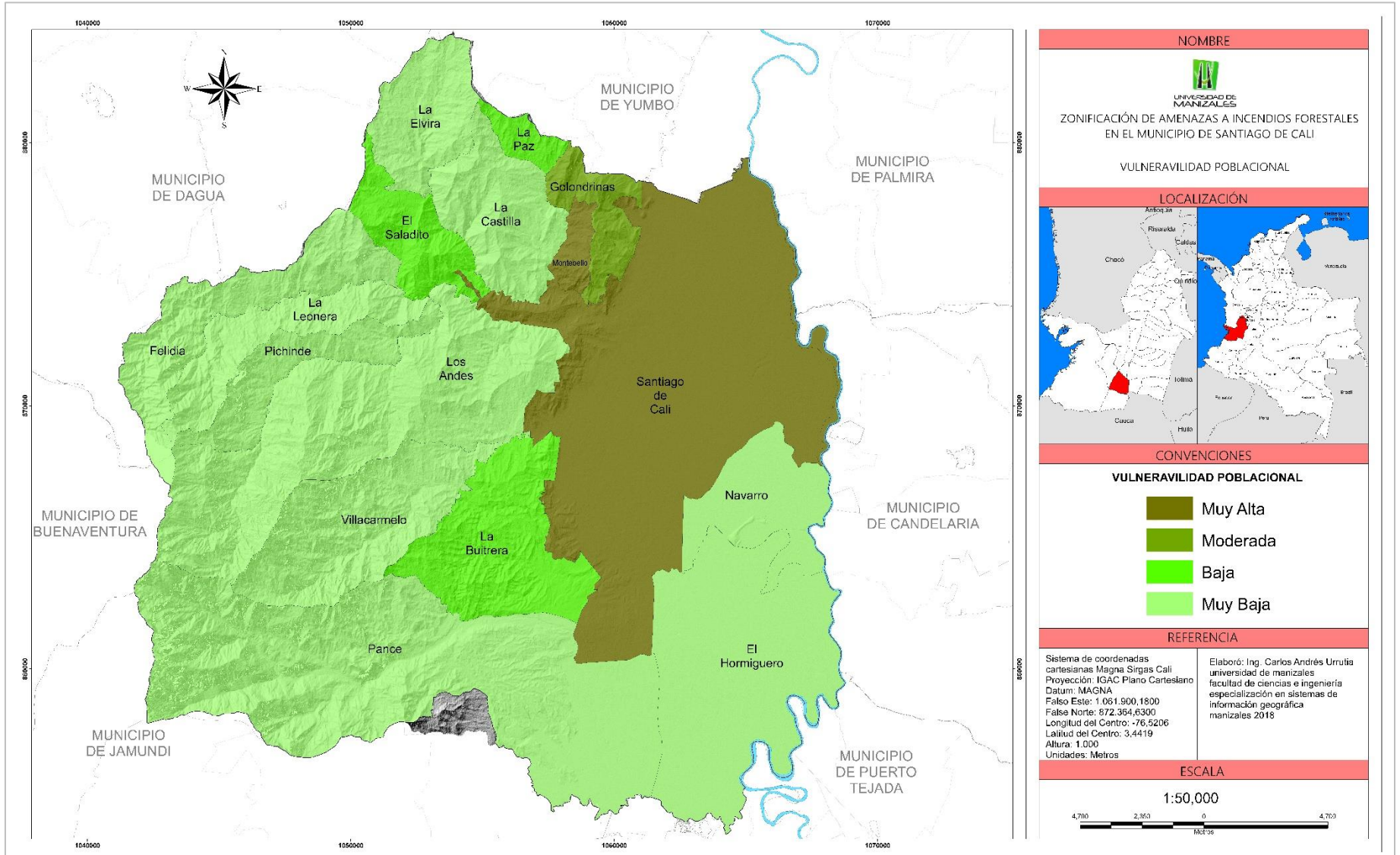
Anexo 14. Mapa de Vulnerabilidad Económica



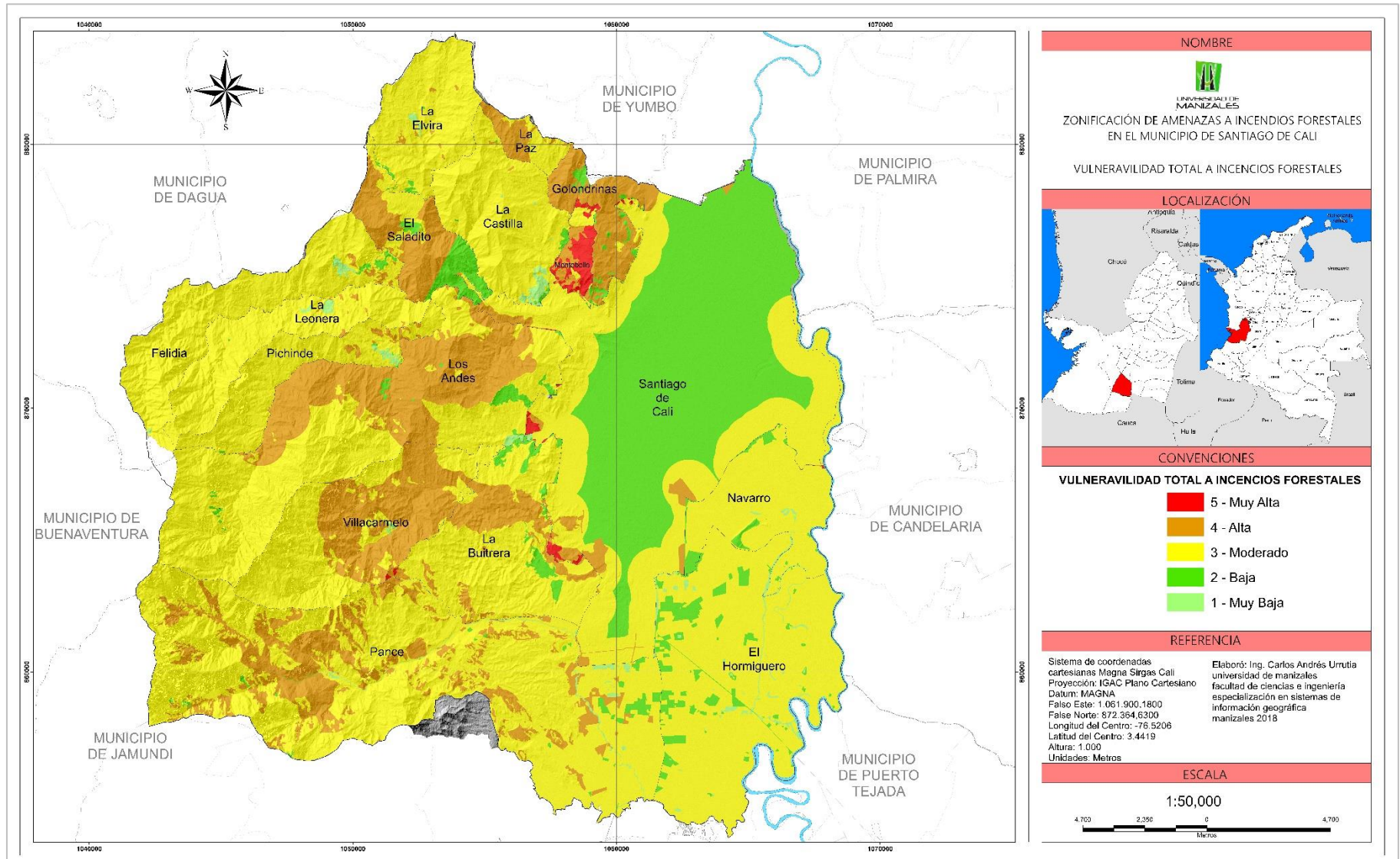
Anexo 15. Mapa de Vulnerabilidad Patrimonial



Anexo 16. Vulnerabilidad Poblacional



Anexo 17. Vulnerabilidad Total a Incendios Forestales



Anexo 18. Riesgo a Incendios Forestales

