

**ZONIFICACIÓN DE RIESGOS A INCENDIOS FORESTALES EN LA CUENCA  
DEL RIO COELLO EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA**

Ing. Carlos Eduardo Mejía Quesada  
**Ingeniero forestal**



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
MANIZALES  
2017**

**ZONIFICACIÓN DE RIESGOS A INCENDIOS FORESTALES EN LA CUENCA  
DEL RIO COELLO EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA**

Ing. Carlos Eduardo Mejía Quesada  
**Ingeniero Forestal**

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  
2017**

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	11
ÁREA PROBLEMÁTICA .....	12
1.1. DESCRIPCIÓN .....	12
1.1.1. DELIMITACIÓN.....	12
1.2. FORMULACIÓN.....	12
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. OBJETIVO GENERAL .....	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
3. JUSTIFICACIÓN .....	14
4. MARCO TEÓRICO .....	15
4.1. ZONIFICACIÓN .....	15
4.2. INCENDIO FORESTAL.....	15
4.3. CONCEPTUALIZACIÓN DEL RIESGO.....	16
4.4. NORMATIVIDAD.....	20
4.5. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA .....	21
4.6. ANTECEDENTES .....	23
5. METODOLOGÍA .....	25
5.1. TIPO DE TRABAJO .....	25
5.2. PROCEDIMIENTO.....	25
5.3. FASE 1. EVALUAR LA AMENAZA Y LA SUSCEPTIBILIDAD DE LA VEGETACIÓN FRENTE A LOS INCENDIOS FORESTALES. ....	25
5.4. FASE 2. EVALUAR LA VULNERABILIDAD HISTÓRICA, TERRITORIAL Y ECOSISTÉMICA DE LA CUENCA DEL RIO COELLO ANTE LOS INCENDIOS FORESTALES.....	44
5.5. GENERACIÓN DEL MAPA DE RIESGOS POR INCENDIOS FORESTALES .....	48
5.6. FASE 3. DEFINIR LAS ÁREAS DE MAYOR RIESGO, CUANTIFICARLAS Y REPORTARLAS.....	49
6. RESULTADOS.....	50

6.1.	DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS .....	50
6.2.	Generación del mapa de Amenaza por Incendios Forestales .....	50
6.3.	Generación del mapa de Vulnerabilidad a Incendios Forestales .....	64
6.4.	Generación del mapa de Riesgos por Incendios Forestales.....	70
6.5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	71
7.	CONCLUSIONES .....	75
8.	RECOMENDACIONES .....	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	78

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Representación del Triángulo de Fuego. & b. La gran Triada. ....	16
<b>Figura 2.</b> Modelo Digital del Terreno del área de estudio. ....	28
<b>Figura 3.</b> Comparación de métodos de interpolación en Isoyetas. ....	36
<b>Figura 4.</b> Comparación de métodos de interpolación en Isotermas.....	37
<b>Figura 5.</b> Cartografía básica de la zona de estudio .....	50
<b>Figura 6.</b> Cartografía temática del área de estudio.....	51
<b>Figura 7.</b> Mapa de pendientes en porcentajes originales del área de estudio .....	52
<b>Figura 8.</b> Reclasificación de pendientes en 10 clases propuestas.....	53
<b>Figura 9.</b> Cobertura de nubes en el área de estudio. ....	54
<b>Figura 10.</b> Mapa de isoyetas de precipitación Media Anual Multianual.....	55
<b>Figura 11.</b> Mapa de isotermas de temperatura Media Anual Multianual .....	55
<b>Figura 12.</b> Clasificación de las coberturas por Tipo de combustible. ....	56
<b>Figura 13.</b> Clasificación de coberturas por Duración de Combustibles.....	57
<b>Figura 14.</b> Clasificación de coberturas por Carga de Combustible .....	58
<b>Figura 15.</b> Susceptibilidad de la vegetación a incendios. ....	59
<b>Figura 16.</b> Reclasificación de Isoyetas en el área de estudio. ....	60
<b>Figura 17.</b> Reclasificación de Isotermas en el área de estudio.....	60
<b>Figura 18.</b> Reclasificación de las pendientes a las categorías prediseñadas .....	61
<b>Figura 19.</b> Frecuencia de incendios. ....	62
<b>Figura 20.</b> Mapa de accesibilidad de la zona de estudio .....	63
<b>Figura 21.</b> Mapa de Amenazas por Incendios Forestales .....	63
<b>Figura 22.</b> Mapa de vulnerabilidad poblacional. ....	64

<b>Figura 23.</b> Mapa de Vulnerabilidad Ecosistémica.....	65
<b>Figura 24.</b> Mapa de vulnerabilidad de la infraestructura.....	66
<b>Figura 25.</b> Mapa de Vulnerabilidad Patrimonial.....	67
<b>Figura 26.</b> Mapa de Vulnerabilidad Económica.....	68
<b>Figura 27.</b> Mapa de Vulnerabilidad Institucional.....	69
<b>Figura 28.</b> Mapa de Vulnerabilidad a Incendios Forestales.....	70
<b>Figura 29.</b> Mapa de Riesgos a Incendios Forestales.....	71

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
<b>Cuadro 1.</b> Normatividad vigente en el país.....	21
<b>Cuadro 2.</b> Relaciones entre mapa y terreno para las escalas estándar.....	26
<b>Cuadro 3.</b> Clases de gradiente de la pendiente .....	28
<b>Cuadro 4.</b> Listado de estaciones solicitadas al IDEAM .....	31
<b>Cuadro 5.</b> Listado de estaciones utilizadas para realizar el mapa de Isotermas...33	
<b>Cuadro 6.</b> Listado de estaciones utilizadas para realizar el mapa de Isoyetas.....	34
<b>Cuadro 7.</b> Cuadro de interpolación para valores de precipitación con presencia de error promedio .....	35
<b>Cuadro 8.</b> Cuadro de interpolación para valores de temperatura con presencia de error promedio .....	37
<b>Cuadro 9.</b> Reclasificación por tipo de combustibles según la metodología Corine Land Cover .....	39
<b>Cuadro 10.</b> Reclasificación por duración de combustibles según la metodología Corine Land Cover.....	39
<b>Cuadro 11.</b> Reclasificación por carga total de combustibles según la metodología Corine Land Cover.....	41
<b>Cuadro 12.</b> Precipitación media anual en milímetros a nivel nacional .....	41
<b>Cuadro 13.</b> Temperatura media anual en grados centígrados a nivel nacional ....	42
<b>Cuadro 14.</b> Pendiente media en porcentaje a nivel nacional.....	42
<b>Cuadro 15.</b> Presencia de eventos de incendios en el área de estudio .....	43
<b>Cuadro 16.</b> Distancia a la vía con un grosor de buffer cada 500 metros. ....	44
<b>Cuadro 17.</b> Población determinada por área por municipio.....	45
<b>Cuadro 18.</b> Vulnerabilidad Ecológica y Territorial.....	46
<b>Cuadro 19.</b> Vulnerabilidad Económica .....	47
<b>Cuadro 20.</b> Estimación en área de cada uno de los niveles de riesgo presentes en el área de estudio. ....	72



## GLOSARIO

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

**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.

**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

**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

**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.

**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

El presente trabajo de investigación consiste en la implementación e integración de información geográfica en formato raster y vectorial, así como información alfanumérica para determinar las áreas con mayor presencia de riesgos a incendios forestales en la cuenca del río Coello mediante un proceso de zonificación. La investigación se realizó mediante la aplicación de información raster y vectorial, datos alfanuméricos de precipitación, temperatura y puntos calientes de presencia histórica de incendios. Se definieron a lo largo de la investigación tres objetivos, que son: (i) Evaluar la amenaza y susceptibilidad de la vegetación a incendios mediante el análisis climatológico, identificación de pendientes, coberturas, frecuencia de incendios y combustibles, (ii) Evaluar la vulnerabilidad histórica, ecosistémica y territorial mediante el análisis de densidad de población, patrimonial, económico y ecológico del área de estudio, y finalmente (iii) Definir las áreas de mayor riesgo y cuantificarlas reportándolas a los diferentes organismos de gestión del riesgo. Mediante estos análisis se pudo inferir que el municipio de Ibagué es el más propenso a presentar una categoría de riesgo 'Muy Alto' a incendios forestales con un cubrimiento del 35,53% de la totalidad del área de estudio, caso contrario al municipio de Flandes el cual posee en consideración con la totalidad del área de su municipio un total de 49,76% en la categoría de riesgo 'Bajo'.

**PALABRAS CLAVES:** Incendios Forestales, Amenaza, Vulnerabilidad, Coberturas de la tierra

## ABSTRACT

The present research work consists in the implementation and integration of geographic information in raster and vectorial format, as well as alphanumeric information to determine the areas with greater presence of risks to forest fires in the Coello river basin through a zoning process. The research was carried out by the application of raster and vectorial information, alphanumeric data of precipitation, temperature and hot spots of historical fire attendance. Throughout the research, three objectives were defined: (i) To assess the threat and susceptibility of vegetation to fires by means of climatological analysis, identification of slopes, coverages, frequency of fires and fuels; (ii) Assess vulnerability (iii) Define the areas of greatest risk and quantify them by reporting them to the different risk management agencies. By means of these analyzes it was possible to infer that the municipality of Ibagué is the most likely to present a category of 'Very High' risk to forest fires with a coverage of 35.53% of the total area of study, in contrast to the municipality of Flandes which has a total of 49.76% in the 'Low' risk category.

**KEY WORDS:** Forest fires, Threat, Vulnerability, Land Cover

## INTRODUCCIÓN

La presencia de incendios forestales cada vez más se está acentuando a lo largo de las zonas tropicales, las cuales son en consecuencia las más afectadas por acción del calentamiento global, las entidades regionales encargadas de la gestión del riesgo se encargan de monitorear y espacializar la información recopilada en bases de datos, dicha información se suministra al IDEAM y se obtiene cartografía a nivel general, la cual puede indicar de buena forma el estado actual del país en esta categoría pero dificulta a la hora de entrar en detalle a una escala más reducida para generar planes de manejo y de ordenamiento territorial. El departamento del Tolima y más puntualmente el municipio de Ibagué, es un territorio rico en recursos naturales, sin embargo los elevados índices de deterioro ambiental han provocado la carencia de agua en áreas que antes se caracterizaban por la abundancia de este recurso; la pérdida de cobertura vegetal nativa, y en determinados casos la ocurrencia de eventos desastrosos, han venido impactando negativamente el bienestar y la calidad de vida de nuestra Población, limitando sus posibilidades de desarrollo y comprometiendo gravemente el de las generaciones futuras, siendo entre las principales causas de deterioro ambiental la ocupación de áreas de riesgo y áreas de delicado balance ecológico, la ampliación de la frontera agrícola comprometiendo el equilibrio de importantes zonas naturales y la sobre explotación de amplias franjas con fines ganaderos (Rico, R., 2011).

La finalidad de este trabajo de investigación es obtener una herramienta dinámica la cual se pueda integrar con todos los entes encargados en el territorio en velar por la conservación de los ecosistemas y mitigar la ocurrencia a un evento desastrosos, el cual pueda ser llevado a todos y cada uno de los municipios que tienen jurisdicción en la cuenca del Río Coello, implementándose variables climatológicas como precipitación y temperatura para determinar la incidencia de estos factores contrarrestándolos con los registros históricos de incendios para un periodo de 10 años, recopilando así mismo variables topográficas, ecológicas, demográficas, económicas y patrimoniales, identificando las respectivas categorías de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgos, generando la zonificación de incendios con la finalidad de integrarse al plan de ordenamiento territorial de los municipios afectados

## **ÁREA PROBLEMÁTICA**

### **1.1. DESCRIPCIÓN**

A nivel mundial, según los cálculos efectuados en el 2005 el total de la superficie forestal cubría el 30% de la superficie terrestre, es decir, casi 40 millones de km<sup>2</sup>. Esto equivale aproximadamente a 0.62 hectáreas (6200 m<sup>2</sup>) per cápita (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2005) de las cuales se han visto reducidas significativamente a la actualidad, en términos de cambio de uso del suelo, aprovechamiento para sostenibilidad comunitaria e incendios forestales. Estos últimos se estiman que entre el 80 y el 99 por ciento son causados por el hombre de forma intencionada para obtener tierras para la agricultura (FAO, 2007). En Colombia, en los periodos de menor precipitación, que se han intensificado en épocas del fenómeno del Niño y que han contribuido a la degradación de los ecosistemas boscosos del país, cada año afectan un promedio de 42.000 hectáreas. (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT], 2010)

El Departamento del Tolima tiene una extensión de 2.300.000 hectáreas, de los cuales tan solo 500.000 has o sea el 22% se encuentra con algún tipo de cubierta forestal (Gobernación del Tolima, 2002), de las cuales para el año 2015 se presentaron más de 8000 hectáreas arrasadas por incendios forestales, 4425 conflagraciones en 46 de los 47 municipios que tiene el departamento. (Gobernación del Tolima, 2015). Por consecuencia de estas alarmantes cifras es necesario generar herramientas de prevención a posibles tragedias que generen una disminución significativa a la cobertura boscosa.

#### **1.1.1. DELIMITACIÓN**

La zona de influencia donde se plantea realizar el estudio abarca la Cuenca del Rio Coello en el departamento del Tolima, la cual alberga los municipios de Ibagué, Cajamarca, Rovira, San Luis, Coello, Espinal, Piedras y Flandes.

### **1.2. FORMULACIÓN**

Es en este momento donde surge la necesidad de solucionar esta problemática y surge la pregunta: ¿Cómo definir las zonas más susceptibles y vulnerables a presentar incendios forestales para identificar el nivel de riesgo mediante una zonificación? La cual permitirá analizar datos geográficos y definir planes de acción a futuro.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Elaborar la zonificación de riesgos a incendios forestales en la Cuenca del Río Coello en el departamento del Tolima

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar la amenaza y la susceptibilidad de la vegetación frente a los incendios forestales.
- Evaluar la vulnerabilidad histórica, territorial y ecosistémica de la cuenca del Río Coello ante los incendios forestales.
- Definir las áreas de mayor riesgo, cuantificarlas y reportarlas.

### 3. JUSTIFICACIÓN

El aumento en la temperatura de la tierra aceleradamente ha sido uno de los temas más preocupantes para la comunidad científica en los últimos tiempos, donde las actividades antrópicas han desencadenado efectos irreversibles en las condiciones atmosféricas que afectan directamente el entorno. Es así como una de las zonas más afectadas por esta dinámica en la temperatura son los trópicos, los cuales reciben la máxima radiación solar aumentando radicalmente las épocas de sequía; Colombia cuenta con una posición geográfica clave, donde presenta pisos térmicos que van desde cálido hasta glacial, aun así teniendo conocimiento de esto, la poca gestión gubernamental y el nulo compromiso social ha generado a través de los tiempos alteraciones en estos pisos térmicos, principalmente por acción de la deforestación, ya sea para producción de madera, proyectos urbanísticos, cambios de uso del suelo, entre otros. Estos últimos han encendido las alarmas en las autoridades ambientales, especialmente en la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD)<sup>1</sup>, donde la deforestación para implementación de sistemas agrícolas o ganaderos se realiza frecuentemente por acción de incendios forestales.

La quema de la cobertura vegetal genera un debilitamiento en los individuos sobrevivientes, haciéndolos susceptibles al ataque de plagas, genera adicionalmente una disminución en la regulación del régimen hídrico y disminución de caudales, estos factores son preocupantes para la UNGRD, las cuales han generado protocolos y planes de acción contra riesgos de incendios forestales liderados por oficinas de planeación y gestión del riesgo municipales, las cuales no se encuentran disponibles con facilidad al público siendo estos los directamente afectados por estos fenómenos.

Es así como se planea generar con el desarrollo de esta investigación planes de acción y prevención en los puntos de mayor amenaza y vulnerabilidad ante la presencia de incendios forestales, con el fin de prevenir la aparición de estos siniestros en la cuenca del Río Coello y evitar en lo posible actuar para extinguirlos a la hora de la presencia de estas conflagraciones.

---

<sup>1</sup> Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). Respuesta ante incendios de la cobertura vegetal mediante el operativo nacional para incendios forestales, disponible en [http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/protocolo\\_incendicos\\_forestales.pdf](http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/protocolo_incendicos_forestales.pdf)

## **4. MARCO TEÓRICO**

Con el objetivo de generar una zonificación de riesgos a incendios forestales, es necesario definir algunos conceptos antes de desarrollar las actividades propuestas e integrar las tecnologías de información geográfica requeridas para espacializar las zonas de posible afectación

### **4.1. ZONIFICACIÓN**

El Centro de Estudios Agrarios y Ambientales (CEA) de Chile en el año 2013 define la zonificación como: “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. El modelo de zonificación es útil para distintos tipos de uso seleccionados, lo que implica una homogenización previa de las variables a detectar en terreno y un trabajo claro con respecto a la recopilación y análisis de esa información. Las variables son integradas en un modelo matricial de asociación de variables utilizando un programa de modelamiento aplicando un análisis multicriterio basado en la obtención de información base” por ejemplo:

- Singularidad, fragilidad y utilidad de los recursos naturales
- Potencialidades y limitantes para el uso público
- Uso actual y expectativas de los habitantes
- Riesgos naturales
- Carta ambiental
- Factores socioculturales y factores económicos
- Necesidades de administración de servicios, etc.

### **4.2. INCENDIO FORESTAL**

Se llama Incendio Forestal al fuego que afecta vegetación en bosques, selvas y zonas áridas o semiáridas y aéreas preferentemente forestales, ya sea por causas naturales o inducidas, con una ocurrencia y propagación no controlada o programada. Un incendio forestal puede afectar desde una superficie incipiente hasta miles de hectáreas, ocasionando diversos efectos al suelo, flora y fauna, así como a los bienes y servicios como agua disponible en el subsuelo, captura de carbono, emisión de oxígeno, alimentación, recreación y composición de la biodiversidad, así como, en términos globales, contribuyen al cambio climático mundial a través de las emisiones (“Incendios forestales”, 2015)

Según el manual de la Academia Nacional de Bomberos de Argentina (ANBA) en el 2006, se definen los elementos del triángulo del fuego

**4.2.1. Triángulo de Fuego.** Para que el fuego se pueda presentar se necesita de tres elementos: Combustible, calor y oxígeno. Si no llegase a presentarse uno de estos, la conflagración no se produciría. La (Figura 1) en el recuadro (a.) muestra esta representación.

- **Combustible.** El combustible se define como cualquier sólido, líquido o gas que puede ser oxidado. La mayoría de los combustibles o agentes reductores contienen un gran porcentaje de carbono e hidrógeno.
- **Oxígeno (Agente Oxidante).** En la mayoría de los casos, el agente oxidante será el oxígeno que se encuentra en el aire; sin embargo la combustión de nitrato de sodio y el cloruro de potasio liberan su propio oxígeno donde no exista un ambiente sin oxígeno.
- **Calor.** La temperatura es la medida de actividad molecular dentro de una sustancia. En presencia de una gente oxidante, un combustible con un nivel de energía lo suficientemente alto puede arder.
- **La Gran Triada.** Otra representación característica es la gran tríada en la cual se relacionan los combustibles, el tiempo atmosférico y la topografía, donde el primero de estos es el único elemento donde el hombre puede actuar directamente, a diferencia de los dos últimos, los cuales no pueden modificarse. La (Figura 1) en el recuadro (b.) muestra esta representación.

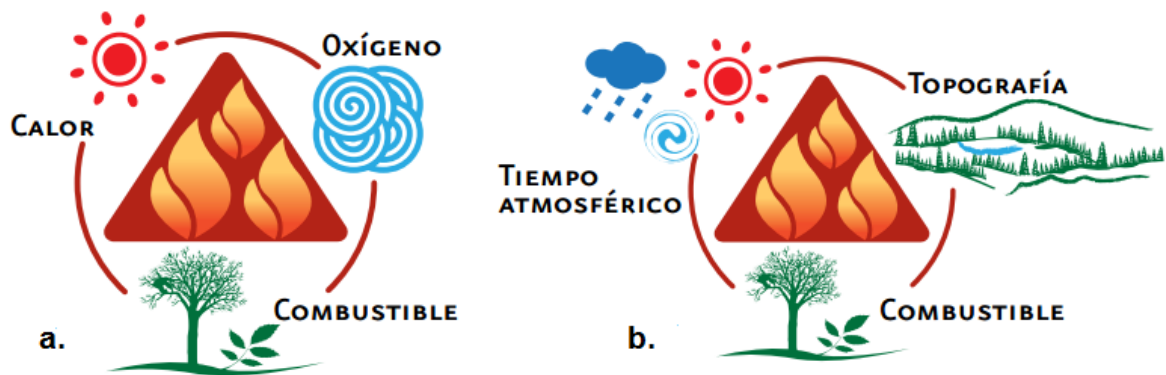


Figura 1. Representación del Triángulo de Fuego. & b. La gran Triada. Fuente: Comisión Nacional Forestal (2010). Incendios Forestales, guía práctica para comunicadores. (Tercera edición), 6-8.

### 4.3. CONCEPTUALIZACIÓN DEL RIESGO

Es necesario definir ciertos parámetros los cuales llevaran a resolver y entender la magnitud y el riesgo que se presenta en el área de estudio en cuestión, definiendo los parámetros que ocasionen un factor tanto antrópico como natural que actúe en contra de la integridad del ser humano y de la naturaleza, resolviendo los siguientes conceptos:



- Amenaza
- Vulnerabilidad
- Riesgo

La definición de todas y cada una de ellas se basa en la recopilación de varios autores y organismos estatales que rigen la prevención y mitigación del riesgo.

#### 4.3.1. AMENAZA

Se define como:

“Probabilidad de ocurrencia de un evento natural o antrópico en un área específica dentro de un periodo de tiempo, que afecte desfavorablemente de manera directa o indirecta, a una comunidad o a los bienes de ésta” (Valencia, J. 2006)

“Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales” (Congreso de Colombia, 2012)

Esta última apreciación se sigue aplicando en las entidades de Gestión del Riesgo a nivel nacional. La Misión Sucre en Venezuela define la amenaza de forma muy similar al gobierno colombiano pero estableciendo los tipos de amenaza con el fin de establecer una mayor claridad de estos sucesos. Definido de la siguiente manera:

**Amenaza.** “Factor externo de riesgo, con respecto al sujeto o sistema expuesto vulnerable, representado por la potencial ocurrencia de un suceso de origen natural o generada por la actividad humana, con una magnitud dada, que puede manifestarse en un sitio específico y con una duración determinada, suficiente para producir efectos adversos en las personas, comunidades, producción, infraestructura, bienes, servicios, ambientes y demás dimensiones de la sociedad.”

Donde este grupo define 11 tipos de amenaza, de los cuales se seleccionaron los más representativos a continuación:

**Amenaza de origen natural.** “Procesos o fenómenos de la dinámica terrestre que tienen lugar en la biosfera y pueden transformarse en un evento perjudicial y destructor ante la exposición de personas o instalaciones físicas, que pueden causar la muerte, lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental de un territorio o comunidad.”

**Amenaza meteorológica.** “Potencial ocurrencia de procesos o fenómenos naturales de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico, tales como: ciclones tropicales, lluvias torrenciales, vientos intensos, descargas eléctricas, tormentas de nieve, granizos, sequias, tornados, trombas lacustres y marítimas, temperaturas extremas, tormentas de arena, que pueden causar muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental.”

**Amenaza socio-natural:** “Es aquella que puede presentar un peligro latente asociado a la probable ocurrencia de fenómenos físico-naturales cuya existencia, intensidad y recurrencia es exacerbada por procesos de degradación ambiental o por la intervención directa del hombre.”

**Amenaza de origen antrópico:** “Son aquellas relacionadas con el peligro latente generado por la actividad humana en el deterioro de los ecosistemas, la producción, distribución, transporte y consumo de bienes y servicios, así como la construcción y el uso de edificaciones.”

**Amenaza de incendio forestal.** “Potencial ocurrencia de incendios en comunidades forestales dada la presencia de combustible natural (ambiental) y oxígeno del aire, activado de manera natural o antrópica, capaz de afectar la vida, los bienes y el ambiente.”

Se resalta en el documento de Omar Darío Cardona publicado en el año 1993 llamado: Evaluación de la Amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo, la definición y acercamiento al término de vulnerabilidad donde:

#### **4.1.1. VULNERABILIDAD**

**Vulnerabilidad.** “Se define como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo, resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala que va de 0, o sin daño, a 1, o pérdida total” (citado de UNDRO, 1979; Cardona, O. 1993)

En términos generales, la "vulnerabilidad" puede entenderse, entonces, como “la predisposición intrínseca de un sujeto o elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas, y por lo tanto su evaluación contribuye en forma fundamental al conocimiento del riesgo mediante interacciones del elemento susceptible con el ambiente peligroso. Donde es bien visto y puede clasificarse como de carácter técnico y de carácter social, siendo la primera más factible de cuantificar en términos físicos y funcionales, por ejemplo en pérdidas potenciales referidas a los daños o la interrupción de los servicios, a diferencia de la segunda, que prácticamente sólo puede valorarse cualitativamente y en forma relativa, debido a

que está relacionada con aspectos económicos, educativos, culturales, ideológicos, etc. “

Cardona finaliza la conceptualización del término con lo siguiente. “En consecuencia, un análisis de vulnerabilidad es un proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos ante una amenaza específica, contribuyendo al conocimiento del riesgo a través de interacciones de dichos elementos con el ambiente peligroso.”

Otros autores, basados en el análisis y descripción de otras fuentes definieron este concepto y al día de hoy se siguen implementando:

“Características de una persona o grupo desde el punto de vista de su capacidad, para anticipar, sobrevivir, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza natural. Implica una combinación de factores que determinan el grado hasta el cual la vida y la subsistencia de alguien quedan en riesgo por un evento distinto e identificable de la naturaleza o de la sociedad” (Blaikie, P. 1996)

“Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos” (Congreso de Colombia, 2012).

#### **4.1.2. RIESGO**

El riesgo es el resultado de la relación intrínseca entre la amenaza y la vulnerabilidad, en la cual varios autores hacen referencia a su definición exacta la cual varía y se especifica con el pasar del tiempo.

Anne-Catherine Chardon y Juan Leonardo González del Instituto de Estudios Ambientales [IDEA] en el 2002, definieron citando al grupo Gravity (2001) al riesgo como: “La medida de las pérdidas esperadas debidas a un evento u ocurrencia de un evento (amenaza) de una magnitud particular que ocurre en un área dada y en un momento específico. Número de heridos y muertos debidos al evento. Es también el número “esperado” de víctimas al año, para un país dado.”

La definición que la UNGRD aplica y se dicta a nivel nacional es la aprobada por el Congreso Nacional a continuación:

**Riesgo.** “Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural,

tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.” (Congreso de Colombia, 2012).

Así mismo los tipos de riesgo que se presentan se dividen en natural y antrópico, con subdivisiones que alcanzan número de dos cifras. Se describen a continuación las definiciones que son objeto de uso en el desarrollo de esta investigación y de mismos autores planteados en los apartados de Amenaza y vulnerabilidad:

**Riesgo aceptable**, es definido por dos autores de la siguiente manera:

“Valor de probabilidad de consecuencias sociales, económicas o ambientales que, a juicio de la autoridad que regula este tipo de decisiones, es considerado lo suficientemente bajo para permitir su uso en la planificación, la formulación de requerimientos de calidad de los elementos expuestos o para fijar políticas sociales, económicas y ambientales afines” (Chardon, A. & Gonzales, J. 2002).

“Nivel de pérdidas o daños que una sociedad o comunidad puede considerar tolerable, dadas sus existentes condiciones sociales, económicas, políticas, culturales y ambientales por las cuales se puede recuperar después de un evento destructor” (Misión Sucre, 2016)

**Riesgo Forestal.** “Probabilidad de daño a personas, ambientes y bienes, ante la ocurrencia de incendio en comunidades forestales dada la presencia de combustibles natural (material) y oxígeno del aire, activado de manera natural, como consecuencia de una descarga atmosférica eléctrica (rayo)” (Misión Sucre, 2016).

#### 4.4. NORMATIVIDAD

Se presenta a continuación la normativa presente en el país para la gestión y prevención de riesgos y atención de desastres, así como la mitigación y protección a la aparición de incendios forestales.

NORMA/POLÍTICA	DESCRIPCIÓN
<b>Ley 46 de 1988</b>	Creación del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres
<b>Decreto 919 de 1989</b>	Reglamentación del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres
<b>Ley 99 de 1993</b>	Crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA) Asignación de funciones específicas a las

	autoridades ambientales en materia de atención y prevención de desastres con el propósito de proteger el medio ambiente
<b>Ley 322 de 1996</b>	Creación del Sistema Nacional de Bomberos
<b>Documento CONPES 2834 de 1996 “Política de Bosques”</b>	Establece la necesidad de formular y poner en marcha el “Programa Nacional para la Prevención, Control y Extinción de Incendios Forestales y rehabilitación de áreas afectadas”
<b>Decreto 2340 de 1997</b>	Conformación de las Comisiones Asesoras para la prevención y mitigación de Incendios Forestales en el nivel nacional, regional y local, y asignación de funciones y responsabilidades
<b>Documento CONPES 2948 de 1997</b>	Recomendó acciones para prevenir y mitigar los posibles efectos del Fenómeno del Niño 1997-1998
<b>Ley 599 de 2000 Código Penal</b>	Considera los incendios como delito de peligro común, que pueden ocasionar grave perjuicio para la comunidad y establece sanciones
<b>Documento CONPES 3125 de 2001 Plan Nacional de Desarrollo Forestal</b>	Estableció el Subprograma “Protección en Incendios Forestales”, determinando que deben formularse planes de contingencia regionales y municipales contra incendios forestales; la consolidación de la Red Nacional de los Centros Regionales de Respuesta Inmediata; y el Desarrollo e implementación de mecanismos y sistemas de detección y monitoreo de Incendios Forestales
<b>Documento CONPES 3146 de 2001</b>	Estableció que “El Ministerio del Medio Ambiente (MMA), en coordinación con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), la Dirección General para la Prevención y Atención de Desastres (DGPAD), Ministerio del Interior (MI), culminará la formulación del Plan Nacional de Acción para la Prevención, Control y Mitigación de Incendios Forestales y Restauración de las Áreas Afectadas

**Cuadro 1.** Normatividad vigente en el país. **Fuente:** Corporación Autónoma Regional del Cesar [CORPOCESAR] (2011), Mapa de riesgo por incendios forestales en el departamento del Cesar. Fecha de consulta 16/05/2017 disponible en [https://www.corpocesar.gov.co/files/INFORME%20FINAL%20MRIF\\_CESAR.pdf](https://www.corpocesar.gov.co/files/INFORME%20FINAL%20MRIF_CESAR.pdf) pp. 37

#### 4.5. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

Es necesario definir el proceso y las herramientas encargadas de transformar la información a beneficio del autor y los organismos competentes encargados de hacer uso de los resultados, es por eso que se definen los SIG de la siguiente manera:

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) permite relacionar cualquier tipo de dato con una localización geográfica, esto quiere decir que en un solo mapa el sistema muestra la distribución de recursos, edificios, poblaciones, entre otros datos de los municipios, departamentos, regiones o todo un país. Este es un conjunto que mezcla hardware, software y datos geográficos, y los muestra en una representación gráfica. Los SIG están diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar la información de todas las formas posibles de manera lógica y coordinada (Ministerio de Educación, 2014).

#### **4.5.1. MODELO LOGICO:**

Nivel de los técnicos en SIG que utilizan las herramientas del sistema para llevar a cabo, en el ordenador, las tareas requeridas por gestores o científicos. En lugar de trabajar con la realidad trabajan con representaciones de la misma que suelen ser de dos tipos: raster y vectorial. Deben decidir cuál es la más adecuada para representar las variables obtenidas en el desarrollo del modelo conceptual y cuáles son los procedimientos más adecuados para obtenerla con los datos de partida disponibles.

- **Modelo Raster.** Se divide el espacio en un conjunto regular de celdillas, cada una de estas celdillas contiene un número que puede ser el identificador de un objeto (si se trata de una capa que contiene objetos) o del valor de una variable (si la capa contiene esta variable) (Puebla, J. G., & Gould, M., 1994).
- **Modelo Vectorial.** Constituye la representación digital del componente espacial de un rasgo geográfico. Los conceptos definidos para entidad: atributo, ocurrencia e identificador, se aplican también para la representación geométrica (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática [INEGI] ,1993).
- **Modelo Alfanumérico.** El modelo alfanumérico comprende los datos tabulares y textuales, tales como los reportes de campo, o los resultados de análisis de muestras en laboratorio (INEGI, 1993).

#### **4.5.2. BASE DE DATOS GEOGRAFICA**

Una Base de Datos Geográfica (BDG) es un conjunto de datos geográficos organizados de tal manera que permiten la realización de análisis y la gestión del territorio dentro de aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Además, una BDG se utiliza de soporte para la implantación de servicios geográficos relacionados con las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), y su contenido es la base fundamental en los procesos de producción cartográficos. La espina dorsal de una BDG es el modelo de datos, que consiste en la formalización

conceptual (descripción) de las entidades geográficas del mundo real con el objeto de realizar una abstracción que permita satisfacer unas necesidades de información. La implementación del modelo debe de facilitar la explotación y optimizar el almacenamiento para conseguir el mejor rendimiento en las consultas (Instituto Geográfico Nacional, 2008)

- **Geodatabase de ArcGIS.** Una geodatabase de ArcGIS es una colección de datasets geográficos de varios tipos contenida en una carpeta de sistema de archivos común, una base de datos de Microsoft Access o una base de datos relacional multiusuario DBMS (por ejemplo Oracle, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, Informix o IBM DB2). Las geodatabases tienen diversos tamaños, distinto número de usuarios, pueden ir desde pequeñas bases de datos de un solo usuario generadas en archivos hasta geodatabases de grupos de trabajo más grandes, departamentos o geodatabases corporativas a las que acceden muchos usuarios (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2017).

#### 4.6. ANTECEDENTES

Son diversos los avances y estudios dedicados a controlar y prevenir la ocurrencia de incendios forestales, cada año los diferentes organismos encargados de controlar estas afectaciones generan cartografía precisa de las zonas más vulnerables a la presencia de estas conflagraciones

El siguiente proyecto se realizó como tesis de grado doctoral en la Universidad de Murcia en España

[1] El objetivo a la hora de desarrollar esta investigación era el de aplicar tecnología SIG en la predicción y prevención del riesgo de incendios forestales, donde se utilizaron índices y modelos de riesgo sobre módulos operativos dentro de un sistema elegido y se realizaron simulaciones con fines predictivos. Se realiza una síntesis de los principales conceptos, tipos de incendios y una revisión de la metodología a aplicar, en la cual se incluyen propuestas para el cálculo de índices de peligro y riesgo, presentación cartográfica y modelos de predicción y simulación del comportamiento del fuego. Se estudió la zona de la vertiente peninsular mediterránea y en conjunto a la Región de Murcia en España, pero haciendo énfasis y como eje central del trabajo, en un área conocida como Sierra Espuña, de reconocido interés medioambiental. En esta zona se estudió la evolución de los incendios forestales; así como su distribución espacial y temporal, las causas y orígenes del fuego, integrando un SIG el cual permitió disponer de una cartografía temática de las variables que intervinieron en estos sucesos. Se plantearon en el proceso tres etapas: 1) Se compararon los resultados entre índices de carácter general y los que permitían obtener una zonificación espacial, donde estos constituyeron una base fundamental para la elaboración de

cartografía específica de riesgos de incendios, donde se analizaron los diversos aspectos que indican en el comienzo y propagación del fuego. 2) Mediante un software se simuló a partir de información previa el avance del fuego bajo condiciones meteorológicas, topográficas y de vegetación, analizando en la zona de estudio la presencia de un determinado tipo de combustible para analizar el comportamiento de las cubiertas y su respectiva respuesta al fuego. 3) por último se aplican técnicas de tratamiento de imágenes de sensores remotos, analizando una imagen Landsat-TM del 4 de Julio de 1996, un mes después del incendio más grave que se encontraba documentado en los 15 años que duró la temporalidad del estudio.

El segundo estudio fue desarrollado por la Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR) en la realización del mapa de riesgos de incendios forestales en el departamento del Cesar en Colombia.

[2] El estudio se proyectó a generar cartografía de riesgo de incendios forestales en cubrimiento de la totalidad del departamento del Cesar, con el objetivo de evaluar la amenaza y vulnerabilidad ocasionada por estas conflagraciones, con el fin de obtener mediante la ponderación de estas dos variables el riesgo total a estos eventos. Tiene como finalidad determinar la prioridad de protección de las áreas que presenten mayor riesgo, donde se debe priorizar la atención a la hora de presentarse un incendio forestal, se analizaron distintos tipos de variables para definir los tipos e amenaza, en los cuales se definió la susceptibilidad de la cobertura vegetal mediante las clases de coberturas y los tipos de combustibles, la causalidad y registros históricos de estos eventos en el área de estudio, se realizaron mediciones en campo de biomasa e identificación de especies para determinar el grado y periodo de combustión que presentaban. Un aspecto muy importante que es la piedra angular de los estudios de incendios forestales es la medición y estimación muy precisa de las variables climatológicas, donde se midieron la mayor cantidad posible de datos sobre la zona, en los cuales se encontraban, precipitación, temperatura, evaporación, humedad relativa, brillo solar, nubosidad y recorrido del viento. Para el análisis de vulnerabilidad se tomaron variables demográficas y socioeconómicas, siendo estas, población expuesta, infraestructura expuesta, ecosistemas expuestos, patrimonio expuesto y sistemas productivos expuestos. Toda esta información resultante se concatenó y se desarrolló el mapa de riesgos de incendios forestales, donde se actualizó el plan de contingencia del departamento, la respuesta en tiempos razonables a la ocurrencia de los eventos y un análisis exhaustivo a las cabeceras municipales, los resultados se almacenaron en un Sistema de Información Geográfico, para poder ser actualizado periódicamente mediante las alertas y reportes que se realizaron en una fase posterior.



## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. TIPO DE TRABAJO

Este proyecto corresponde a una investigación aplicada, mediante la implementación de una metodología estandarizada establecida por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), en el año 2011, tomando como eje principal la cuenca del río Coello para definir una zonificación de riesgos a incendios forestales en esta área de estudio.

### 5.2. PROCEDIMIENTO

A continuación se evaluarán y describirán cada una de las fases que hacen parte del desarrollo regular de la zonificación de riesgos a incendios forestales

### 5.3. FASE 1. EVALUAR LA AMENAZA Y LA SUSCEPTIBILIDAD DE LA VEGETACIÓN FRENTE A LOS INCENDIOS FORESTALES.

Para poder definir situaciones propensas a un posible riesgo es necesario identificar y enfrentar las posibles amenazas que se puedan presentar, los diferentes tipos de vegetación, vías de acceso, topografía del terreno, y análisis histórico de estos eventos, son piezas fundamentales en el desarrollo y gestión de una buena zonificación y posibles planes de acción para enfrentar eventos de esta índole, por esta razón la calidad de la información cumple una importante labor en cualquier tipo de investigación, la información recopilada en su totalidad es secundaria, obtenida de los organismos encargados de gestionar el libre acceso de ella para fines académicos e investigativos.

#### 5.3.1. Definir la escala de trabajo

Es necesario a la hora de establecer un criterio en cuanto a la implementación de una escala de trabajo, definir en un principio el área de estudio, su tamaño e influencia. La clasificación de cuenca hidrográfica, según Manco, J., & Jiménez Otárola, F. en el año 2000, define al sistema en cuestión y a trabajar en esta investigación como 'Subcuenca Hidrográfica', la cual se presenta cuando posee un área mayor de 2000 kilómetros cuadrados. Cabe destacar que el área de estudio comprende un área de 1791,04 km<sup>2</sup> y al definir los autores como una clasificación relativa que dependiendo la importancia que está presente, se define y se ha venido definiendo al sistema en general como '**Cuenca Hidrográfica**'. Una vez conocido el área de trabajo y según las especificaciones técnicas aportadas por el protocolo guía de esta investigación, se define una escala de trabajo de '**1:100.000**', soportada con la siguiente tabla del IGAC, donde, para un área

geográfica de 2000km<sup>2</sup> es recomendable trabajar una escala del mapa resultante a 1:100.000.

ID	Escala del Mapa	Tamaño del mapa en cm	Distancia terrestre equivalente a 1 cm en el mapa	Área geográfica cubierta por cada plancha para varias unidades de medición		
				m <sup>2</sup>	Ha	km <sup>2</sup>
1	1:500	75cm x 50cm	5m	93750	9,375	0,09375
2	1:1000	75cm x 50cm	10m	375000	37,5	0,0375
3	1:2000	75cm x 50cm	20m	1500000	150	1,5
4	1:5000	75cm x 50cm	50m	9375000	937,5	9,375
5	1:10000	75cm x 50cm	100m	37500000	3750	37,5
6	1:25000	60cm x 40cm	250m	150000000	15000	150
7	1:50000	60cm x 40cm	500m	600000000	60000	600
8	1:100000	60cm x 40cm	1000m	2000000000	200000	2000
9	1:200000	52,5cm x 40cm	2000m	8400000000	840000	8400
10	1:500000	66cm x 48cm	5000m	79200000000	7920000	79200

**Cuadro 2.** Relaciones entre mapa y terreno para las escalas estándar. **Fuente:** Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC] (2015). *Formatos y escalas de mapas*. Fecha de consulta 21/06/2017 disponible en [http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/AreasEstrategicas!/ut/p/c4/04\\_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hHT3d\\_JydDRwN3t0BXA0\\_vUKMwf28PIwMzE\\_2CbEdFAPsOM0s!/?WCM\\_PORTLET=PC\\_7\\_AIGOB1A08FQE0IKHRGNJ320A0\\_WCM&WCM\\_GLOBAL\\_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Web+-+Areas+Estrategicas/Areas+Estrategicas/Areas+Estrategicas/Subdireccion+de+Geografia+y+Cartografia/Formatos+y+Escalas+de+Mapas/](http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/AreasEstrategicas!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hHT3d_JydDRwN3t0BXA0_vUKMwf28PIwMzE_2CbEdFAPsOM0s!/?WCM_PORTLET=PC_7_AIGOB1A08FQE0IKHRGNJ320A0_WCM&WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Web+-+Areas+Estrategicas/Areas+Estrategicas/Areas+Estrategicas/Subdireccion+de+Geografia+y+Cartografia/Formatos+y+Escalas+de+Mapas/)

### 5.3.2. Obtener la cartografía básica de la zona de estudio.

La zona de estudio debe estar influenciada por un tipo de cartografía básica, la cual debe contener información puntual del sector a intervenir, dicha información es de libre acceso y puede ser obtenida a diferentes escalas por la plataforma online del IGAC, la cual para el desarrollo de este trabajo, se obtuvo la Geodatabase disponible a escala 1:100.000, de allí se generó dicha cartografía la cual contiene la siguiente información:

- Hidrografía
- Vías de acceso
- Curvas de nivel
- División político administrativa
- Centros poblados

### 5.3.3. Obtener información requerida y cartografía temática de la zona de estudio

El insumo de mayor importancia para la realización del estudio es el archivo en formato shapefile de la Cuenca del Río Coello, esta solicitada a la Corporación

Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA), la cual se obtiene del documento de las cuencas hidrográficas del departamento y se extrae la de interés obteniendo así, el área a intervenir. Así mismo es necesario identificar en el área de estudio la cobertura de la tierra definida por el IDEAM, la cual se puede obtener de forma libre de la plataforma del Sistema de Información Ambiental para Colombia (SIAC), esta obtenida en formato shapefile pero con la limitante de la fecha de obtención ya que se encuentra para el periodo 2010-2012. Finalmente, para el apartado de la evaluación de la Amenaza y Susceptibilidad, se debe tener en consideración las condiciones climáticas del área de estudio, como pilares fundamentales las variables pluviométricas y meteorológicas, en un periodo mínimo y recomendado de 10 años, esta información es suministrada por el IDEAM mediante la solicitud por estaciones de las variables requeridas

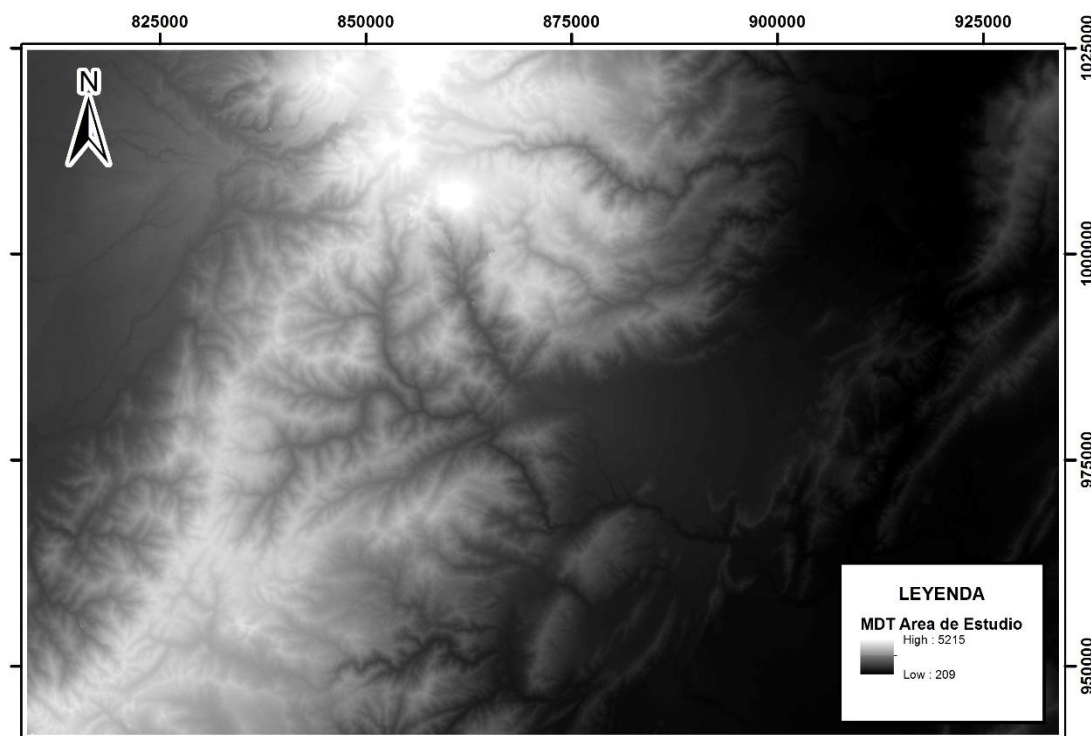
Recapitulando la información requerida es la siguiente:

- Shapefile de cuencas del departamento del Tolima suministrado por CORTOLIMA
- Shapefile de coberturas y uso de la tierra suministrado por el IDEAM, disponible en la página del SIAC
- Información de precipitación y temperatura de las estaciones del área de estudio suministrado por el IDEAM

#### **5.3.4. Obtener el Modelo Digital del Terreno**

Una vez obtenida la cartografía básica, es necesario empezar a depurarla, uno de los principales factores que ocasionan la propagación acelerada del fuego es determinado por el porcentaje de pendiente que se presente, por esta razón es necesario determinar mediante un Modelo Digital de Terreno (MDT), el respectivo mapa de pendientes del área de estudio con la aplicación del Software ArcGIS y Global Mapper.

En primera instancia se se crea un área de influencia rectangular que abarque la cuenca del río Coello, pero con una extensión mayor para la presentación final cartográfica, esta area de influencia se carga en el software Global Mapper, y se descarga una vista del satélite radar SRTM del área de estudio cargada anteriormente, esta con una resolución de pixel de 30m, al tener el área seleccionada, se exporta como formato de grilla de elevación (GeoTIFF), la cual genera el modelo digital de elevación, observado en la Figura 2



**Figura 2.** Modelo Digital del Terreno del área de estudio. **Fuente:** El autor

Después de obtener el MDT, es necesario establecer mediante el modelo raster la información del porcentaje de pendientes del área de estudio, para poder definir mediante pasos posteriores la influencia de esta variable con la propagación acelerada del fuego. Mediante la herramienta denominada ‘Slope’ se adjunta el raster base para determinar los niveles de pendiente, se define la ruta que contiene toda la información del proyecto y la medida de salida, en este caso, porcentaje; el raster de salida contiene información porcentual de todas las pendientes en unas categorías definidas por defecto por el software, por eso es necesario definir las categorías de pendientes mediante la bibliografía expuesta por la FAO en el 2009 como se cita en el Cuadro 3.

CLASE	DESCRIPCIÓN	%
01	PLANO	0 – 0,2
02	NIVEL	0,2 – 0,5
03	CERCANO AL NIVEL	0,5 – 1
04	MUY LIGERAMENTE INCLINADO	1 – 2
05	LIGERAMENTE INCLINADO	2 – 5
06	INCLINADO	5 - 10
07	FUERTEMENTE INCLINADO	10 - 15
08	MODERADAMENTE ESCARPADO	15 - 30
09	ESCARPADO	30 – 60
10	MUY ESCARPADO	>60

**Cuadro 3.** Clases de gradiente de la pendiente. **Fuente:** FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. Fecha de consulta 26/06/2017 disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>

Mediante la información obtenida en el Cuadro 3, se realiza un proceso de reclasificación de las pendientes en porcentaje, obteniendo el mapa base de esta variable, que sirve como insumo para determinar el grado de amenaza.

### **5.3.5. Definir las reglas topológicas para la digitalización**

Se definieron distintos lineamientos los cuales debían cumplir ciertos criterios y normas en la Geodatabase según lo expresado por el documento “Reglas de Topología de las Geodatabase de ArcGIS”, siendo estas bien relacionadas y descritas al pie de la letra, se definieron dichas reglas para polígonos, líneas y puntos:

#### **Polígonos:**

**No debe superponerse:** Requiere que el interior de los polígonos no se superponga. Los polígonos pueden compartir ejes o vértices.

**No debe haber huecos:** Esta regla precisa que no haya vacíos dentro de un polígono simple o entre polígonos adyacentes.

**Debe estar cubierto por la clase de entidad:** Requiere que un polígono en una clase (o subtipo) de entidad comparta toda su área con los polígonos en otra clase (o subtipo) de entidad.

**Deben cubrirse entre sí:** Requiere que los polígonos en una clase (o subtipo) de entidad compartan toda su área con los polígonos de otra clase (o subtipo) de entidad.

#### **Líneas:**

**Debe ser mayor que su tolerancia cluster:** Es necesario que una entidad no se colapse durante el proceso de validación.

**No debe intersectarse:** Requiere que las entidades de línea desde la misma clase (o subtipo) de entidad no se crucen ni se superpongan entre sí.

**No deben quedar nodos colgados:** Requiere que una entidad de línea deba tocar las líneas desde la misma clase (o subtipo) de entidad en ambos extremos.

**No debe superponerse:** Requiere que las líneas no se superpongan con las líneas en la misma clase (o subtipo) de entidad.

## **Puntos**

**Debe estar separado:** Requiere que los puntos se encuentren separados espacialmente de otros puntos en la misma clase (o subtipo) de entidad.

**Debe estar incluida correctamente:** Requiere que los puntos se encuentren dentro de las entidades de área.

**El punto debe estar cubierto por la línea:** Requiere que los puntos en una clase de entidad deben cubrirse con las líneas en otra clase de entidad.

### **5.3.6. Actualizar el archivo de la metodología Corine Land Cover para disminuir la cobertura de nubes en el área de estudio**

Es necesario determinar y conocer los tipos de coberturas de la tierra que se presentan en la zona de estudio, por esta razón es indispensable tener lo más confiable este tipo de información, por lo que una gran cantidad de cobertura de nubes no garantiza datos fidedignos, y la calidad del dato resultante disminuirá. El archivo de la metodología Corine Land Cover data del periodo 2010 - 2012, por esta razón para garantizar una buena información se recurre a la implementación de imágenes de alta resolución de Google Maps obtenidas gratuitamente con la implementación del software SAS Planet

### **5.3.7. Depurar la información recopilada del IDEAM**

Para realizar la respectiva solicitud de la información al instituto, en primera instancia se debe obtener la ubicación geográfica de las estaciones, tanto meteorológicas, hidrológicas e hidrometeorológicas. A disposición de los usuarios el instituto provee un catálogo en formato shape de las estaciones que tiene a su disposición, detallado con todas las características que esta posee, haciendo uso de este insumo y con la ayuda de la cuenca delimitada, se establecieron en total 37 estaciones que cumplieran con las características necesarias para el desarrollo del trabajo, dividiéndose en 22 estaciones dentro de la cuenca y 15 por fuera de esta como se puede observar en el Cuadro 4.

N°	COD ESTACIÓN	NOMBRE	POSICIÓN	CATEOGRÍA	CLASE
1	21170020	DOS AGUAS LAS	AFUERA	PM	MET
2	21180040	ROVIRA 2	AFUERA	PM	MET
3	21180210	VALLE DE SAN JUAN	AFUERA	PM	MET
4	21185020	NATAIMA	AFUERA	AM	MET
5	21185040	APTO SANTIAGO VILA	AFUERA	SS	MET
6	21185080	VALLE DE SAN JUAN	AFUERA	CO	MET

7	21210020	JUNTAS LAS	ADENTRO	PG	MET
8	21210030	PASTALES	ADENTRO	PG	MET
9	21210080	SECRETO EL	ADENTRO	PG	MET
10	21210110	PLACER EL	ADENTRO	PG	MET
11	21210120	ESMERALDA LA	ADENTRO	PG	MET
12	21210130	DELICIAS LAS	ADENTRO	PM	MET
13	21210140	PLAN EL	ADENTRO	PM	MET
14	21210150	CASCADA LA	ADENTRO	PM	MET
15	21210160	DARIEN EL	ADENTRO	PG	MET
16	21210170	PALOGRANDE HDA	ADENTRO	PM	MET
17	21210180	TOCHE	ADENTRO	PG	MET
18	21210190	RESACA LA	AFUERA	PG	MET
19	21210200	BUENOS AIRES	ADENTRO	PM	MET
20	21210220	PALMAR EL	ADENTRO	PG	MET
21	21210240	INTERLAKEN	ADENTRO	PM	MET
22	21210260	SILENCIO EL	ADENTRO	PG	MET
23	21215080	CHICORAL	ADENTRO	CO	MET
24	21215100	CAJAMARCA	ADENTRO	CO	MET
25	21215130	CUCUANA HDA	ADENTRO	CO	MET
26	21215140	CEMENTOS DIAMANTE	ADENTRO	ME	MET
27	21220050	ACEITUNO EL	ADENTRO	PM	MET
28	21230060	NARIÑO	AFUERA	PM	MET
29	21230110	NARIÑO RADIO	AFUERA	PM	MET
30	21240030	SAN JUAN DE CHINA	AFUERA	PM	MET
31	21245010	PERALES HATO OPIA	ADENTRO	CO	MET
32	21245040	APTO PERALES	AFUERA	SS	MET
33	21255080	SALTO EL	ADENTRO	CP	MET
34	22070030	STA HELENA	AFUERA	PM	MET
35	22075030	RIOMANSO	AFUERA	CO	MET
36	26120160	SALENTO	AFUERA	PM	MET
37	26120170	PIJAO	AFUERA	PM	MET
38	26135140	LAGUNA LA	AFUERA	CO	MET

**Cuadro 4.** Listado de estaciones solicitadas al IDEAM. *CATEGORIA:* PM: Pluviométrica; AM: Agrometeorológica; SS: Sinóptica secundaria; CO: Climatológica ordinaria; PG: Pluviográfica; ME: Meteorológica especial; CP: Climatológica principal. *CLASE:* MET: Meteorológica. **Fuente:** El Autor

Se solicitó al instituto para determinar las variables de periodos de lluvias, los valores de precipitación totales mensuales y máximos mensuales; para la variable de temperatura se solicitaron valores medios mensuales, máximos mensuales, mínimos mensuales, media – mínima mensuales y media – máxima mensuales en un periodo de 11 años (2006 – 2016). Dicha información suministrada por el

instituto es suministrada en un formato complejo y de difícil depuración, es necesario modificar el archivo de origen en un formato de hoja de cálculo de Excel, esto con el fin de generar un orden a los valores e identificar las estaciones que tienen o no datos faltantes, una cuestión importante para determinar una alta calidad del dato. En situaciones normales se presentan estaciones con valores faltantes, por eso es indispensable escoger el método más adecuado para realizar el llenado de estos datos, para este estudio se utilizó el método por regresión lineal

#### **5.3.7.1. Método por regresión lineal.**

Está definido de la siguiente manera por Pizarro, R., Ausensi, P., Aravena, D., & Sangüesa, C. en el año 2005. “Este método es uno de los más utilizados; se recomienda para la estimación de datos mensuales y anuales de la estación de estudio y las de una estación pluviométrica cercana, que cuente con una estadística consistente y observada. Para ello se requiere establecer una regresión y correlación lineal entre una estación patrón y la estación que tenga carencia de información, mediante una ecuación lineal de dos variables” se define la ecuación utilizada a continuación:

$$\bar{Y} = (a + b) * x$$

Donde;

$\bar{Y}$  = Valor estimado de la precipitación para la estación carente (mm)

$x$  = Valor de precipitación registrado en la estación patrón

$a, b$  = Constantes de regresión.

Los autores además aseguran que, “con la determinación del coeficiente de correlación  $R$ , se puede estimar el grado de correlación lineal que existe entre las estaciones de estudio, en términos hidrológicos, se considera aceptable una regresión cuyo valor de  $R$  sea mayor a 0,8 o menor que -0,8” (Pizarro, R., Ausensi, P., Aravena, D., & Sangüesa, C, citado de Pizarro et al, 1993).

#### **5.3.8. Realizar mapas de isoyetas e isothermas medias anuales multianuales**

Una vez llenada la serie de datos de las 38 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 isothermas 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 37 estaciones que conforman el área de estudio; paso seguido se establecieron las estaciones que contenían datos para cada una de las variables a utilizar, pues no todas proporcionaban la misma información, para el caso de las



isotermas solo se definieron un total de 12 estaciones en la totalidad del área de estudio que cumplían con valores puntuales para un periodo de 11 años, el cual se observa en el Cuadro 5. Con respecto a los valores de precipitación casi la totalidad de las estaciones arrojaron datos de lluvia, a excepción de la estación LA LAGUNA de código 26135140, el cual no presento valores para ese rango de fecha, solo arrojando para temperatura, estos datos se pueden observar en el Cuadro 6.

N°	COD ESTACIÓN	NOMBRE	TEMP. MED. MENS. M-A	ALTITUD	X	Y
1	21185040	APTO SANTIAGO VILA	<b>28,978</b>	282	920014,797	964568,003
2	21185020	NATAIMA	<b>28,325</b>	370	901965,723	954931,403
3	21215080	CHICORAL	<b>27,331</b>	422	898097,379	959734,417
4	21185080	VALLE DE SAN JUAN	<b>26,164</b>	580	885057,395	955372,964
5	21215140	CEMENTOS DIAMANTE	<b>28,948</b>	737	888640,021	970781,292
6	21245040	APTO PERALES	<b>23,939</b>	943	882132,027	981057,504
7	21245010	PERALES HATO OPIA	<b>25,367</b>	1128	875349,619	981678,865
8	21255080	SALTO EL	<b>28,598</b>	1180	874184,195	982206,001
9	21215100	CAJAMARCA	<b>18,988</b>	1790	850477,876	983029,184
10	22075030	RIOMANSO	<b>17,217</b>	2053	851431,311	957064,603
11	21215130	CUCUANA HDA	<b>15,960</b>	2210	840020,654	971975,002
12	26135140	LAGUNA LA	<b>6,006</b>	3950	851888,711	1020072,32

**Cuadro 5.** Listado de estaciones utilizadas para realizar el mapa de Isotermas, con la columna de Temperatura Media Anual Multianual ya definida con respecto al llenado de datos definido anteriormente. **Fuente:** El Autor

N°	COD ESTACIÓN	NOMBRE_ES	PREC. MED. TOT. MENS. M-A	ALTITUD	X	Y
1	21170020	DOS AGUAS LAS	<b>1206,378</b>	270	921610,516	962668,079
2	21180040	ROVIRA 2	<b>2035,887</b>	903	870657,787	960984,787
3	21180210	VALLE DE SAN JUAN	<b>1546,314</b>	591	885057,395	955372,964
4	21185020	NATAIMA	<b>1550,427</b>	393	901965,723	954931,403
5	21185040	APTO SANTIAGO VILA	<b>1202,732</b>	305	920014,797	964568,003
6	21185080	VALLE DE SAN JUAN	<b>1565,943</b>	591	885057,395	955372,964
7	21210020	JUNTAS LAS	<b>1489,059</b>	1765	861927,954	995707,47
8	21210030	PASTALES	<b>1898,322</b>	1602	864228,831	990698,586

9	21210080	SECRETO EL	<b>2076,592</b>	1482	865434,435	988840,846
10	21210110	PLACER EL	<b>2140,280</b>	2170	866777,506	991788,112
11	21210120	ESMERALDA LA	<b>2191,628</b>	1965	871042,588	988459,987
12	21210130	DELICIAS LAS	<b>1161,015</b>	2095	840787,608	976281,407
13	21210140	PLAN EL	<b>1010,421</b>	3088	842441,448	976656,195
14	21210150	CASCADA LA	<b>1450,042</b>	3280	837371,382	965674,923
15	21210160	DARIEN EL	<b>2177,880</b>	1920	863838,261	985789,538
16	21210170	PALOGRANDE HDA	<b>1627,219</b>	2212	853037,601	970900,424
17	21210180	TOCHE	<b>1429,327</b>	1991	852131,061	991653,86
18	21210190	RESACA LA	<b>1835,104</b>	1250	881109,483	964508,894
19	21210200	BUENOS AIRES	<b>1632,170</b>	728	889442,393	971204,191
20	21210220	PALMAR EL	<b>1296,544</b>	2200	861485,455	998341,314
21	21210240	INTERLAKEN	<b>2303,035</b>	1174	873124,232	980726,777
22	21210260	SILENCIO EL	<b>1471,277</b>	2500	855095,592	1004239,62
23	21215080	CHICORAL	<b>1418,131</b>	432	898097,379	959734,417
24	21215100	CAJAMARCA	<b>1364,037</b>	1920	850477,876	983029,184
25	21215130	CUCUANA HDA	<b>1001,558</b>	2229	840020,654	971975,002
26	21215140	CEMENTOS DIAMANTE	<b>1302,410</b>	780	888640,021	970781,292
27	21220050	ACEITUNO EL	<b>1347,259</b>	680	891708,568	973225,779
28	21230060	NARIÑO	<b>1216,512</b>	289	916969,005	978191,928
29	21230110	NARIÑO RADIO	<b>1210,738</b>	277	915544,785	976995,302
30	21240030	SAN JUAN DE CHINA	<b>1693,653</b>	1980	889257,428	994131,975
31	21245010	PERALES HATO OPIA	<b>1434,533</b>	826	875349,619	981678,865
32	21245040	APTO PERALES	<b>1641,643</b>	943	882132,027	981057,504
33	21255080	SALTO EL	<b>1308,335</b>	1180	874184,195	982206,001
34	22070030	STA HELENA	<b>2257,917</b>	2606	842092,572	947986,143
35	22075030	RIOMANSO	<b>2257,917</b>	2053	851431,311	957064,603
36	26120160	SALENTO	<b>2465,068</b>	26	834470,442	1004606,01
37	26120170	PIJAO	<b>2532,480</b>	1685	819176,648	971061,601

**Cuadro 6.** Listado de estaciones utilizadas para realizar el mapa de Isoyetas, con la columna de Precipitación Media Total Anual Multianual ya definida con respecto al llenado de datos definido anteriormente. **Fuente:** El Autor

Una vez determinadas las estaciones y definidos los valores de precipitación y temperatura se generan los métodos de interpolación que más se ajusten a las necesidades de la investigación, 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 denominada *‘Geostatistical*

*Analyst'* del software ArcGIS se definieron los métodos de interpolación, el cual provee una visualización previa al resultado final.

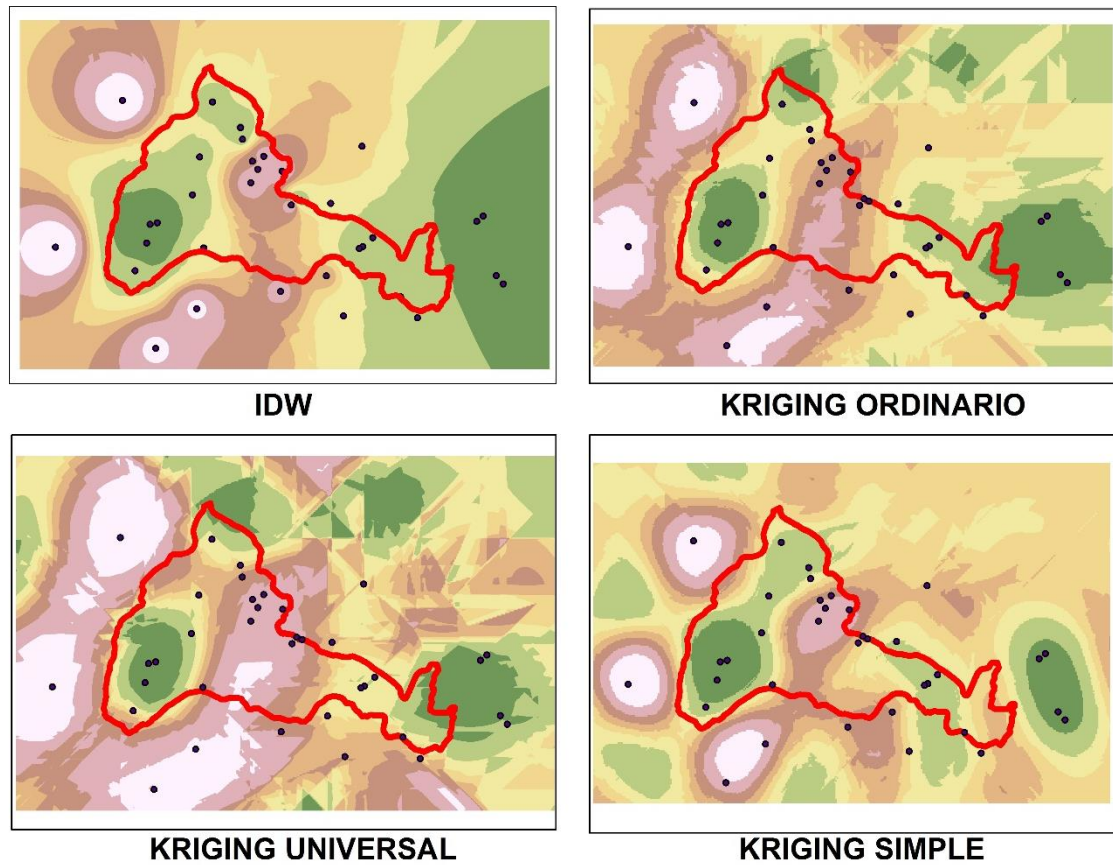
### 5.3.8.1. ISOYETAS

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 3 muestra la comparación visual en cuanto al desarrollo obtenido, definiendo como mejor método el de **Kriging Simple**, el cual, aunque no presente un suavizado tan característico como el IDW, presenta un error promedio menor a los otros presentados con una menor sectorización de los datos dando mayor fidelidad de la información (ver Cuadro 7), y una clasificación de los datos más acertada en comparación a los otros 3 visualizados

Método Interpolación	Tipo Interpolación	N° Sectores	Error Promedio
<b>IDW</b>	N/A	N/A	<b>313,51</b>
<b>Kriging Ordinario</b>	Hole Effect	8	<b>337,49</b>
<b>Kriging Simple</b>	J-Bessel	4	<b>309,05</b>
<b>Kriging Universal</b>	J-Bessel	8	<b>325,2</b>

**Cuadro 7.** Cuadro de interpolación para valores de precipitación con presencia de error promedio.

**Fuente:** El autor



**Figura 3.** Comparación de métodos de interpolación en Isoyetas. **Fuente:** El autor

Se puede observar en el Figura 3, el polígono delineado en color rojo como el área de influencia (Cuenca del río Coello) y en formato puntos de color negro, las estaciones climatológicas presentes, tanto fuera como dentro del área mencionada anteriormente.

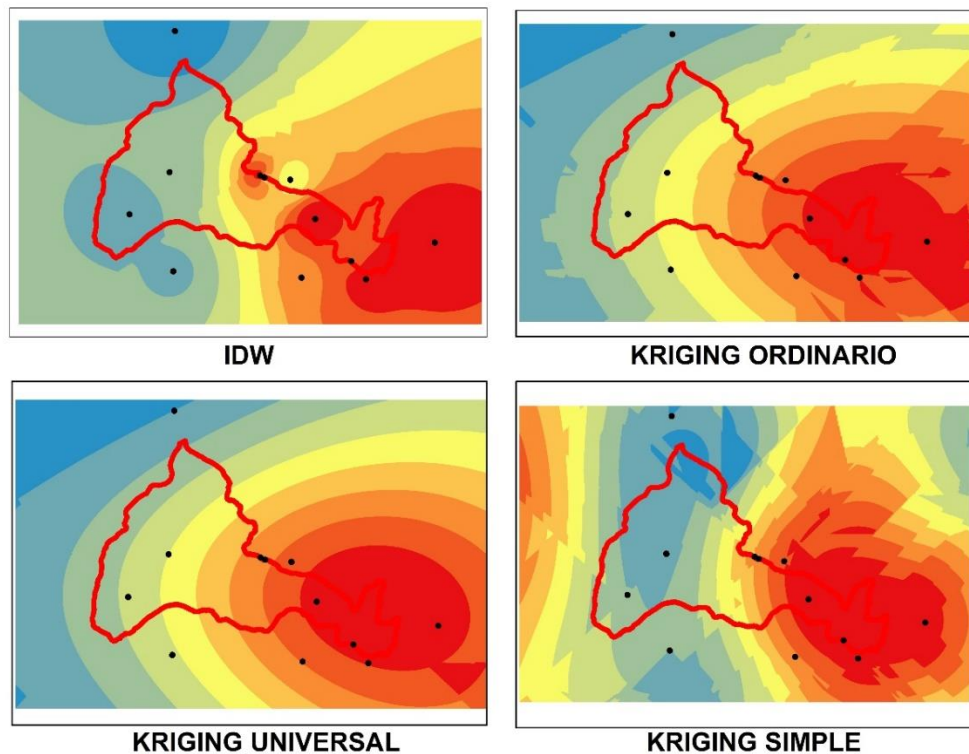
### 5.3.8.2. ISOTERMAS

Se definieron de igual manera los 4 tipos de interpolación, obteniendo de la misma forma 4 archivos en formato raster con valores de pixel de temperatura, se ilustra en la Figura 4, la comparación visual en los 4 métodos, dando una mayor dispersión de los valores en el IDW dependiendo la distribución de las estaciones, caso contrario con el Kriging simple el cual muestra una dispersión abrupta y confusa de los valores, en temas estadísticos, el Cuadro 8, muestra un error promedio similar en 3 metodos de interpolación dando el más acertado el IDW, con un error de 3,01.

Método Interpolación	Tipo Interpolación	N° Sectores	Error Promedio
----------------------	--------------------	-------------	----------------

<b>IDW</b>	N/A	N/A	<b>3,01</b>
<b>Kriging Ordinario</b>	Gaussian	8	<b>3,07</b>
<b>Kriging Simple</b>	J-Bessel	4	<b>5,37</b>
<b>Kriging Universal</b>	Stable	8	<b>3,05</b>

**Cuadro 8.** Cuadro de interpolación para valores de temperatura con presencia de error promedio.  
**Fuente:** El autor



**Figura 4.** Comparación de métodos de interpolación en Isotermas. **Fuente:** El Autor

Se evidencian valores muy similares en la Figura 4 en el método IDW y el Kriging universal, dichos métodos presentan un suavizado adecuado, pero se denota mayor detalle por estación en el método IDW, escogiéndose este como cartografía base para medir las variables climatológicas en el sitio.

En resumidas cuentas se tomaron para ambas variables las siguientes consideraciones

- Isoyetas, método Kriging simple
- Isotermas, método IDW

**5.3.9. Generar el mapa de tipo, duración y carga de combustibles, mediante la reclasificación de las coberturas vegetales**

Con la información de Coberturas de la tierra del IGAC desprovista de nubes, se procedió a realizar la reclasificación de dichas coberturas según el protocolo utilizado del IDEAM, con el fin de determinar los insumos necesarios para determinar el grado de amenaza

### 5.3.9.1. Mapa de tipo de combustibles

Según lo presentado en el Cuadro 9, a cada tipo de cobertura (Nivel 3 Corine Land Cover) se le asigna un tipo de combustible, una categoría de amenaza y una calificación. Con el fin de ponderar la información recopilada e integrarla a la zonificación.

Nivel Corine	TIPO DE COBERTURA	TIPO DE COMBUSTIBLE	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
1.1.1.	Tejido urbano continuo	Áreas urbanas	Muy Baja	1
1.1.2.	Tejido urbano discontinuo	Áreas urbanas	Muy Baja	1
1.2.1.	Zonas industriales o comerciales	No combustibles	Muy Baja	1
1.3.1.	Zonas de extracción minera	No combustibles	Muy Baja	1
1.4.2.	Instalaciones recreativas	Pastos	Muy Alta	5
2.1.1.	Otros cultivos transitorios	Hierbas	Alta	4
2.1.2.	Cereales	Hierbas	Alta	4
2.1.3.	Oleaginosas y leguminosas	Hierbas	Alta	4
2.2.2.	Cultivos permanentes arbustivos	Arbustos	Alta	4
2.2.3.	Cultivos permanentes arbóreos	Arboles	Baja	2
2.3.1.	Pastos limpios	Pastos	Muy Alta	5
2.3.2.	Pastos arbolados	Pastos	Muy Alta	5
2.3.3.	Pastos enmalezados	Pastos	Muy Alta	5
2.4.1.	Mosaico de cultivos	Hierbas	Alta	4
2.4.2.	Mosaico de pastos y cultivos	Pastos/Hierbas	Muy Alta	5
2.4.3.	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Pastos/Hierbas	Muy Alta	5
2.4.4.	Mosaico de pastos con espacios naturales	Pastos/Hierbas	Muy Alta	5
2.4.5.	Mosaico de cultivos con espacios naturales	Pastos/Hierbas	Muy Alta	5
3.1.1.	Bosque denso	Arboles	Baja	2
3.1.3.	Bosque fragmentado	Arboles	Baja	2
3.1.4.	Bosque de galería y ripario	Arboles	Baja	2
3.1.5.	Plantación forestal	Arboles	Baja	2
3.2.1.	Herbazal	Hierbas	Alta	4
3.2.2.	Arbustal	Arbustos	Alta	4
3.2.3.	Vegetación secundaria o en transición	Arboles/Arbustos	Moderada	3
3.3.1.	Zonas arenosas naturales	No combustibles	Muy Baja	1
3.3.2.	Afloramientos rocosos	No combustibles	Muy Baja	1
3.3.5.	Zonas glaciares y nivales	No combustibles	Muy Baja	1
5.1.1.	Ríos (50m)	No combustibles	Muy Baja	1

**Cuadro 9.** Reclasificación por tipo de combustibles según la metodología Corine Land Cover. **Fuente:** IDEAM, Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000, Bogotá, D. C., 2011. Pp 35-36

### 5.3.9.2. Mapa de duración de combustibles

El Cuadro 10 muestra la reclasificación de la cobertura original de la metodología Corine Land Cover, pero asignándole esta vez un peso diferente, lo que corresponde a la variable del tipo de combustible.

Nivel Corine	TIPO DE COBERTURA	DURACIÓN DEL COMBUSTIBLE	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
1.1.1.	Tejido urbano continuo	Áreas urbanas	Muy Baja	1
1.1.2.	Tejido urbano discontinuo	Áreas urbanas	Muy Baja	1
1.2.1.	Zonas industriales o comerciales	No combustibles	Muy Baja	1
1.3.1.	Zonas de extracción minera	No combustibles	Muy Baja	1
1.4.2.	Instalaciones recreativas	1 Hora	Alta	4
2.1.1.	Otros cultivos transitorios	10 Horas	Moderada	3
2.1.2.	Cereales	10 Horas	Moderada	3
2.1.3.	Oleaginosas y leguminosas	10 Horas	Moderada	3
2.2.2.	Cultivos permanentes arbustivos	10 Horas	Moderada	3
2.2.3.	Cultivos permanentes arbóreos	100 horas	Baja	2
2.3.1.	Pastos limpios	1 Hora	Alta	4
2.3.2.	Pastos arbolados	1 Hora	Alta	4
2.3.3.	Pastos enmalezados	1 Hora	Alta	4
2.4.1.	Mosaico de cultivos	10 Horas	Moderada	3
2.4.2.	Mosaico de pastos y cultivos	1 Hora	Alta	4
2.4.3.	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1 Hora	Alta	4
2.4.4.	Mosaico de pastos con espacios naturales	1 Hora	Alta	4
2.4.5.	Mosaico de cultivos con espacios naturales	1 Hora	Alta	4
3.1.1.	Bosque denso	100 horas	Baja	2
3.1.3.	Bosque fragmentado	100 horas	Baja	2
3.1.4.	Bosque de galería y ripario	100 horas	Baja	2
3.1.5.	Plantación forestal	100 horas	Baja	2
3.2.1.	Herbazal	10 Horas	Moderada	3
3.2.2.	Arbustal	10 Horas	Moderada	3
3.2.3.	Vegetación secundaria o en transición	10 Horas	Moderada	3
3.3.1.	Zonas arenosas naturales	No combustibles	Muy Baja	1
3.3.2.	Afloramientos rocosos	No combustibles	Muy Baja	1
3.3.5.	Zonas glaciares y nivales	No combustibles	Muy Baja	1
5.1.1.	Ríos (50m)	No combustibles	Muy Baja	1

**Cuadro 10.** Reclasificación por duración de combustibles según la metodología Corine Land Cover. **Fuente:** IDEAM, Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000, Bogotá, D. C., 2011. Pp 36

### 5.3.9.3. Mapa de Carga de combustibles

Para la carga total de combustibles se le asignan unos pesos dependiendo de la biomasa presente en cada cobertura expresada en toneladas por hectárea como se puede apreciar en el Cuadro 11.

Nivel Corine	TIPO DE COBERTURA	CARGA TOTAL DEL COMBUSTIBLE	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
1.1.1.	Tejido urbano continuo	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	Muy Baja	1
1.1.2.	Tejido urbano discontinuo	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	Muy Baja	1
1.2.1.	Zonas industriales o comerciales	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	Muy Baja	1
1.3.1.	Zonas de extracción minera	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	Muy Baja	1
1.4.2.	Instalaciones recreativas	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	2
2.1.1.	Otros cultivos transitorios	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	2
2.1.2.	Cereales	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	2
2.1.3.	Oleaginosas y leguminosas	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	2
2.2.2.	Cultivos permanentes arbustivos	Moderada (50-100 ton/ha)	Moderada	3
2.2.3.	Cultivos permanentes arbóreos	Moderada (50-100 ton/ha)	Moderada	3
2.3.1.	Pastos limpios	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	2
2.3.2.	Pastos arbolados	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	2
2.3.3.	Pastos enmalezados	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	2
2.4.1.	Mosaico de cultivos	Moderada (50-100 ton/ha)	Moderada	3
2.4.2.	Mosaico de pastos y cultivos	Moderada (50-100 ton/ha)	Moderada	3
2.4.3.	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Moderada (50-100 ton/ha)	Moderada	3
2.4.4.	Mosaico de pastos con espacios naturales	Moderada (50-100 ton/ha)	Moderada	3
2.4.5.	Mosaico de cultivos con espacios naturales	Moderada (50-100 ton/ha)	Moderada	3
3.1.1.	Bosque denso	Muy Alta (más de 100 ton/ha)	Alta	4
3.1.3.	Bosque fragmentado	Muy Alta (más de 100 ton/ha)	Alta	4
3.1.4.	Bosque de galería y ripario	Muy Alta (más de 100 ton/ha)	Alta	4
3.1.5.	Plantación forestal	Muy Alta (más de 100 ton/ha)	Alta	4
3.2.1.	Herbazal	Baja (1-50 ton/ha)	Baja	2
3.2.2.	Arbustal	Moderada (50-100 ton/ha)	Moderada	3
3.2.3.	Vegetación secundaria o en transición	Moderada (50-100 ton/ha)	Moderada	3
3.3.1.	Zonas arenosas naturales	No combustibles	Muy Baja	1
3.3.2.	Afloramientos rocosos	No combustibles	Muy Baja	1
3.3.5.	Zonas glaciares y nivales	No combustibles	Muy Baja	1
5.1.1.	Ríos (50m)	No combustibles	Muy Baja	1



**Cuadro 11.** Reclasificación por carga total de combustibles según la metodología Corine Land Cover expresada en toneladas por hectárea. **Fuente:** *Ibíd.*, Pp 37

### 5.3.10. Generación de mapa de susceptibilidad a incendios

Con las respectivas variables determinadas (Tipo de combustible, duración de combustible y Carga de combustible) se procede a realizar la respectiva cartografía de la Susceptibilidad a los Incendios Forestales con la incorporación de la calculadora raster en el software ArcGIS, la cual está determinada por la siguiente fórmula:

$$Susc = CAL(tc) + CAL(dc) + CAL(ct)$$

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 los combustibles

### 5.3.11. Incorporación de factores climatológicos

Se realiza la ponderación de las variables de forma similar a como se ha realizado anteriormente, ajustando los variables a la categorización de cada uno de los conjuntos de datos. Por consiguiente la información se depuraría de la siguiente manera:

#### 5.3.11.1. Precipitación media anual multianual

La bibliografía muestra una distribución en seis categorías de precipitación a nivel nacional, a nivel local, el área de estudio sólo presenta 2 de estas seis distribuciones (Seco [1000mm-2000mm] y Húmedo [2000mm-3000mm]), por lo cual la categorización y posterior representación gráfica es más simple, el Cuadro 12 describe dichas variabilidades:

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Árido (0-500)	Muy Baja	1
Pluvial (>7000)	Muy Baja	1
Muy Húmedo (3000-7000)	Moderada	2
Húmedo (2000-3000)	Moderada	3
Seco (1000-2000)	Alta	4
Muy Seco (500-1000)	Muy Alta	5

**Cuadro 12.** Precipitación media anual en milímetros a nivel nacional. **Fuente:** *Ibíd.*, Pp. 39.

#### 5.3.11.2. Temperatura Media Anual Multianual

A diferencia de lo observado con las variables de precipitación, la temperatura media anual presente en el área de estudio, se observa un poco más distribuido con relación a la clasificación presentada a nivel nacional por el protocolo del IDEAM, se puede observar un total de 4 categorías de 6 existentes, como lo muestra el Cuadro 13.

TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Nival (<-1.5)	Muy Baja	1
Extremadamente Frío (1.5 - 6)	Muy Baja	1
Muy Frío (6 - 12)	Moderada	2
Frío (12 - 18)	Moderada	3
Templado (18 - 24)	Alta	4
Cálido (>24)	Muy Alta	5

**Cuadro 13.** Temperatura media anual en grados centígrados a nivel nacional. **Fuente:** Ibíd., Pp. 39.

### 5.3.12. Incorporación del factor relieve

Con el insumo generado de acuerdo al modelo digital del terreno visto del capítulo 5.3.4., es necesario realizar una nueva reclasificación, para dicho insumo se tenía una clasificación diferente a la que se necesita para poder homogeneizar la información en calificaciones similares a las de los diferentes apartados, que van desde 1 (Muy baja amenaza) a 5 (muy alta amenaza). La nueva distribución, según el IDEAM, muestra dicha clasificación en el Cuadro 14.

PENDIENTE MEDIA (%)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
0 – 7 %	Muy Baja	1
7 – 12 %	Baja	1
12 – 25 %	Moderada	2
25 – 75 %	Alta	3
>75 %	Muy Alta	4

**Cuadro 14.** Pendiente media en porcentaje a nivel nacional. **Fuente:** Ibíd., Pp. 40.

### 5.3.13. Incorporación del factor histórico

Para poder obtener información correspondiente a los eventos presentados en el periodo 2006 – 2016, se realiza la respectiva solicitud al servicio que cuenta la National Aeronautics and Space Administration (NASA), más exactamente proveniente del satélite MODIS, el cual monitorea en tiempo real de puntos calientes e incendios (Fire Information for Resource Management [FIRMS]), este cuenta a su disposición información libre en formato shp, de los eventos ocurridos en el periodo de tiempo que se requiera. En el periodo 2006 – 2016 se presentaron, según la información arrojada por el programa FIRMS 193 eventos de magnitud (Brightness) media – alta como se muestra en el Cuadro 15

AÑO	N° EVENTOS	MAGNITUD PROMEDIO (°K)
-----	------------	------------------------

2006	35	298,58
2007	10	301,59
2008	12	296,38
2009	22	292,01
2010	12	297,51
2011	13	292,54
2012	13	296,07
2013	8	295,22
2014	11	296,00
2015	44	298,89
2016	13	289,17

**Cuadro 15.** Presencia de eventos de incendios en el área de estudio con intensidad por pixel expresada en grados Kelvin. **Fuente:** El autor

A partir de las estadísticas históricas, es necesario realizar el análisis de frecuencias de incendios para luego por método de interpolación (Distancia Inversa ponderada) determinar la distribución de los incendios en formato raster. La fórmula expresada para poder hallar esta frecuencia es expresada a continuación

$$Fi = \frac{1}{a} \sum_{1}^{a} ni$$

Donde:

*Fi*: Frecuencia de incendio

*a*: Número de años

*ni*: Número de incendios de cada año

#### 5.3.14. Incorporar variable de accesibilidad

Como último insumo para generar el mapa de amenaza total a incendios, es necesario obtener a partir de la geodatabase del IGAC a escala 1:100.000 el archivo de vías que este aporta, en el cual mediante un geoprocésamiento, se extraen las vías primarias y secundarias, que son las que tienen influencia en un resultado final para la escala a trabajar. Una vez obtenidas las vías se procede a realizarles un buffer cada 500m con el fin de determinar una categoría de amenaza de acuerdo a estos valores. El cuadro 16, muestra la distribución por categorías de acuerdo a la distancia de la vía.

DISTANCIA A LA VÍA (GROSOR DEL BUFFER EN m)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
0 - 500	Muy Alta	5
500 - 1000	Alta	4
1000 - 1500	Moderada	3
1500 - 2000	Baja	2

Más de 2000	Muy Baja	1
-------------	----------	---

**Cuadro 16.** Distancia a la vía con un grosor de buffer cada 500 metros. **Fuente:** IDEAM, Op. cit., Pp. 41.

### 5.3.15. Generación del mapa de Amenaza por Incendios forestales

Según el panel de expertos consultado por el IDEAM se definieron variables a la hora de integrar cada uno de los componentes para poder determinar el mapa de amenaza total a incendios forestales, esta información debe ser consolidada mediante la utilización de la calculadora raster y aplicando la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}
 AMENAZA = & (Susceptibilidad\ de\ la\ vegetación * (0,17)) \\
 & + (Precipitación * (0,25)) + (Temperatura * (0,25)) \\
 & + (Pendientes * (0,03)) + (Frecuencia\ incendios * (0,05)) \\
 & + (Accesibilidad * (0,03))
 \end{aligned}$$

Luego de generar el nuevo raster, se realiza la respectiva categorización mediante 5 clases que van desde 1 (Muy Baja) a 5 (Muy Alta)

## 5.4. FASE 2. EVALUAR LA VULNERABILIDAD HISTÓRICA, TERRITORIAL Y ECOSISTÉMICA DE LA CUENCA DEL RIO COELLO ANTE LOS INCENDIOS FORESTALES.

Con el fin de poder determinar el grado o probabilidad de ocurrencia de un evento desastroso es necesario determinar todas las variables del área de estudio que puedan verse afectadas, esa así como deben evaluarse variables poblacionales, ecosistémica, territorial, patrimonial, infraestructura, institucional y económica

### 5.4.1. Vulnerabilidad Poblacional

Es necesario determinar la vulnerabilidad de este factor dependiendo de la densidad de población por un determinado área, para realizar la cartografía de este factor es necesario contar con el área final de cada municipio que se ve afectado en el área de estudio, fue necesario obtener del servicio web del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) los datos del censo demográfico del año 2005 y que arrojan una proyección al año 2014 sobre la población total y la densidad de población por municipio, insumos indispensables para determinar el grado de vulnerabilidad poblacional en el área de estudio, así mismo mediante la utilización de la herramienta 'Calculate Geometry' se realiza la recalculación de las unidades de área de cada municipio en km<sup>2</sup>, esto con el fin de integrarlo con la densidad poblacional y determinar un estimado de esta categoría en el sitio, el Cuadro 17, muestra la distribución de la población en los municipios afectados y las variables determinadas. Una vez generadas estas

variables se realiza la categorización y calificación de cada una de ellas para observar el tipo de amenaza según la proyección de población que se presenta.

MUNICIPIO	DENSIDAD DE POBLACIÓN (hab/km <sup>2</sup> )	POBLACIÓN TOTAL (hab)	AREA RECALCULADA (km <sup>2</sup> )	POBLACIÓN DETERMINADA POR AREA (hab)
<b>CAJAMARCA</b>	37,9	19656	507,53	<b>19237,66</b>
<b>COELLO</b>	67,8	9740	136,43	<b>9249,95</b>
<b>ESPINAL</b>	352,3	76227	16,49	<b>5812,95</b>
<b>FLANDES</b>	300,5	29104	3,46	<b>1042,73</b>
<b>IBAGUÉ</b>	402	553524	990,88	<b>398337,78</b>
<b>PIEDRAS</b>	15,9	5619	4,32	<b>68,68</b>
<b>ROVIRA</b>	28,3	20641	105,19	<b>2977,16</b>
<b>SAN LUIS</b>	46,4	19164	26,7	<b>1238,88</b>

**Cuadro 17.** Población determinada por área por municipio. **Fuente datos estadísticos crudos:** Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) Indicadores de estructura demográfica basado en proyecciones de población (2014) recuperado el 06/06/2017 de <https://geoportal.dane.gov.co/laboratorio/estimaciones/indicador2.html>. **Fuente Población por área:** El Autor

#### 5.4.2. Vulnerabilidad Ecológica y Territorial

Se tienen en cuenta dos variables para la identificación de este tipo de vulnerabilidad, el aspecto físico y ecológico, donde para el primero se identifican los conflictos de uso del suelo que puedan ocasionar un evento, y para el segundo la adaptación al fuego de los tipos de cobertura vegetal. Este tipo de información se puede obtener del archivo de coberturas y usos de la tierra de la Metodología Corine Land Cover, así como se realizó para la implementación de los tipos de amenaza por carga, tipo y duración de combustible, es necesario clasificar y categorizar esta metodología asignándole una ponderación y calificación de 1 a 5 (Baja – Muy alta) respectivamente como se muestra en el Cuadro 18.

Nivel Corine	TIPO DE COBERTURA	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
1.1.1.	Tejido urbano continuo	Muy Baja	1
1.1.2.	Tejido urbano discontinuo	Baja	2
1.2.1.	Zonas industriales o comerciales	Muy Baja	1
1.3.1.	Zonas de extracción minera	Muy Baja	1
1.4.2.	Instalaciones recreativas	Baja	2
2.1.1.	Otros cultivos transitorios	Moderada	3
2.1.2.	Cereales	Baja	2
2.1.3.	Oleaginosas y leguminosas	Baja	2
2.2.2.	Cultivos permanentes arbustivos	Moderada	3
2.2.3.	Cultivos permanentes arbóreos	Moderada	3
2.3.1.	Pastos limpios	Moderada	3
2.3.2.	Pastos arbolados	Muy Alta	5
2.3.3.	Pastos enmalezados	Muy Alta	5
2.4.1.	Mosaico de cultivos	Moderada	3

2.4.2.	Mosaico de pastos y cultivos	Moderada	3
2.4.3.	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Alta	4
2.4.4.	Mosaico de pastos con espacios naturales	Alta	4
2.4.5.	Mosaico de cultivos con espacios naturales	Alta	4
3.1.1.	Bosque denso	Muy Alta	5
3.1.3.	Bosque fragmentado	Muy Alta	5
3.1.4.	Bosque de galería y ripario	Muy Alta	5
3.1.5.	Plantación forestal	Moderada	3
3.2.1.	Herbazal	Muy Alta	5
3.2.2.	Arbustal	Muy Alta	5
3.2.3.	Vegetación secundaria o en transición	Alta	4
3.3.1.	Zonas arenosas naturales	Muy Baja	1
3.3.2.	Afloramientos rocosos	Muy Baja	1
3.3.5.	Zonas glaciares y nivales	Muy Baja	1
5.1.1.	Ríos (50m)	Muy Baja	1

**Cuadro 18.** Vulnerabilidad Ecológica y Territorial. **Fuente:** IDEAM, Op. cit., Pp. 53.

### 5.4.3. Vulnerabilidad de la infraestructura

Es necesario determinar el posible grado de afectación que puedan tener las diferentes obras civiles, las instalaciones, edificaciones e infraestructuras que influyen en la zona de estudio. Se identificaron para la totalidad de la cuenca tipos de infraestructura como Aeropuertos, Vías Férreas, Poliductos y Líneas eléctricas, a las cuales se les generó una zona de influencia en intervalos de 500 m hasta los 2000m, integrándose en un solo archivo de salida raster. Cabe resaltar que una vez obtenidos estos valores se realizó una respectiva ‘unión’ con el resultante del archivo de amenaza por accesibilidad, generando un raster robusto de vulnerabilidad de la infraestructura.

### 5.4.4. Vulnerabilidad Patrimonial

Para poder determinar este tipo de vulnerabilidad se necesita contar con toda la información de la cuenca donde haya presencia de Parques Nacionales Naturales, Reservas Forestales, Áreas de manejo especial, entre otras, mediante la revisión literaria y búsqueda de información relacionada con este tipo se obtiene solo un archivo de la plataforma del SIGOT(Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial) de Parques Nacionales Naturales Concesionados, el cual solo ilustra una pequeña porción en la parte alta del área de estudio, con la integración de este archivo se categorizó mediante los niveles de vulnerabilidad siendo integrados con la división político administrativa.

### 5.4.5. Vulnerabilidad Económica

La conflagración es un evento que, cuando sucede, deja considerables daños en la producción y explotación de los recursos naturales, por esta razón se debe tener claridad sobre las áreas de importancia en la producción de bienes y servicios, estas se clasifican mediante la cartografía de cobertura y uso de la tierra Corine Land Cover, asignándole como en pasos anteriores, una calificación del grado de vulnerabilidad que presente a un evento en particular. El Cuadro 19, muestra la categorización asignada por cobertura en el área de estudio.

Nivel Corine	TIPO DE COBERTURA	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
1.1.1.	Tejido urbano continuo	Muy Baja	1
1.1.2.	Tejido urbano discontinuo	Muy Baja	1
1.2.1.	Zonas industriales o comerciales	Muy Alta	5
1.3.1.	Zonas de extracción minera	Muy Alta	5
1.4.2.	Instalaciones recreativas	Alta	4
2.1.1.	Otros cultivos transitorios	Muy Alta	5
2.1.2.	Cereales	Muy Alta	5
2.1.3.	Oleaginosas y leguminosas	Muy Alta	5
2.2.2.	Cultivos permanentes arbustivos	Muy Alta	5
2.2.3.	Cultivos permanentes arbóreos	Muy Alta	5
2.3.1.	Pastos limpios	Alta	4
2.3.2.	Pastos arbolados	Alta	4
2.3.3.	Pastos enmalezados	Alta	4
2.4.1.	Mosaico de cultivos	Muy Alta	5
2.4.2.	Mosaico de pastos y cultivos	Moderada	3
2.4.3.	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Alta	4
2.4.4.	Mosaico de pastos con espacios naturales	Alta	4
2.4.5.	Mosaico de cultivos con espacios naturales	Alta	4
3.1.1.	Bosque denso	Baja	2
3.1.3.	Bosque fragmentado	Moderada	3
3.1.4.	Bosque de galería y ripario	Baja	2
3.1.5.	Plantación forestal	Muy Alta	5
3.2.1.	Herbazal	Baja	2
3.2.2.	Arbustal	Baja	2
3.2.3.	Vegetación secundaria o en transición	Moderada	3
3.3.1.	Zonas arenosas naturales	Muy Baja	1
3.3.2.	Afloramientos rocosos	Muy Baja	1
3.3.5.	Zonas glaciares y nivales	Muy Baja	1
5.1.1.	Ríos (50m)	Muy Baja	1

**Cuadro 19.** Vulnerabilidad Económica. Fuente: IDEAM, Op. cit., Pp. 55.

#### 5.4.6. Vulnerabilidad Institucional

Este último tipo de vulnerabilidad es evaluado por la capacidad que tienen los diferentes organismos de socorro en afrontar una situación de riesgo eventual, se identificaron las diferentes instituciones que tienen jurisdicción en el área de estudio y las cuales no tienen presencia en la totalidad municipal, estas instituciones fueron: Bomberos, defensa civil, policía nacional, cruz roja, secretaría del ambiente y gestión del riesgo del departamento del Tolima. Para la espacialización de estas instituciones, se integró junto a la cartografía de la división político-administrativa la cobertura municipal por cada unidad de atención a la gestión del riesgo, estableciendo donde se presentaba una mayor y menor cobertura de estos diferentes organismos, categorizándolos y calificándolos por un valor de vulnerabilidad (1– Muy bajo, 2 – Bajo, 3 – Moderado, 4 – Alto y 5 – Muy alto).

#### **5.4.7. Generación del mapa de Vulnerabilidad por Incendios forestales**

Para poder definir el grado de vulnerabilidad total a incendios forestales es necesario integrar cada una de los tipos de vulnerabilidades que se mencionaron en los capítulos posteriores mediante una suma ponderada, no antes de asignarle unos valores a cada uno de los factores dependiendo del grado de afectación que pueda generar, mediante la calculadora raster se realiza el cálculo de la vulnerabilidad total por incendios forestales con la aplicación de la siguiente formula:

$$\begin{aligned}
 &VULNERABILIDAD \\
 &= (Vulnerabilidad poblacional * (0,31)) \\
 &+ (Vulnerabilidad ecologica y territorial * (0,20)) \\
 &+ (Vulnerabilidad de la infraestructura * (0,06)) \\
 &+ (Vulnerabilidad patrimonial * (0,20)) \\
 &+ (Vulnerabilidad económica * (0,18)) \\
 &+ (Vulnerabilidad institucional * (0,04))
 \end{aligned}$$

#### **5.5. GENERACIÓN DEL MAPA DE RIESGOS POR INCENDIOS FORESTALES**

Una vez determinadas las dos variables estratégicas para obtener la cartografía de riesgos a incendios forestales es necesario integrarlas para su posterior análisis y generación de planes estratégicos para mitigar la ocurrencia de algún evento. Se determina dicha cartografía con la ayuda de la calculadora raster mediante la siguiente formula:

$$RIESGO = Amenaza * Vulnerabilidad$$



### 5.6. FASE 3. DEFINIR LAS ÁREAS DE MAYOR RIESGO, CUANTIFICARLAS Y REPORTARLAS.

De acuerdo a la cartografía resultante es necesario identificar y definir las zonas más susceptibles a presentar un evento como lo es un incendio forestal, para esto se definen diferentes tipos de riesgos, los cuales son presentados por la metodología del IDEAM, identificando las zonas de mayor importancia patrimonial, económica, ecológica entre otras, presentes en las zonas de riesgo alto a muy alto definidas de la siguiente manera:

- **Riesgo Territorial:** Áreas con alto valor patrimonial en zonas de alto a muy alto riesgo
- **Riesgo Sociodemográfico:** Áreas con alta densidad poblacional en zonas de alto a muy alto riesgo
- **Riesgo Socioeconómico:** Áreas con alto valor productivo y de infraestructura en zonas de alto a muy alto riesgo
- **Riesgo Ecológico:** Áreas con presencia de bosques densos protectores en zonas de alto a muy alto riesgo
- **Riesgo institucional:** Áreas desprotegidas por la acción institucional en zonas de alto a muy alto riesgo (falta de coordinación, falta de organismos de control de incendios o de equipamiento adecuado, falta de sistemas eficientes de alertas)

## 6. RESULTADOS

### 6.1. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

Mediante la implementación de la metodología propuesta se muestra la cartografía resultante para el desarrollo de la zonificación de los riesgos.

### 6.2. Generación del mapa de Amenaza por Incendios Forestales

Realizando la integración de la información recopilada se obtiene el primer insumo para la obtención de la cartografía de riesgos a incendios forestales

#### 6.2.1. Cartografía básica zona de estudio

Se necesitó para este estudio la respectiva cartografía de estudio la cual contenía información de las vías, curvas de nivel, centros poblados, hidrografía y la división político-administrativa, toda esta información depurada y definida dentro del área de estudio como se ilustra en la Figura 5

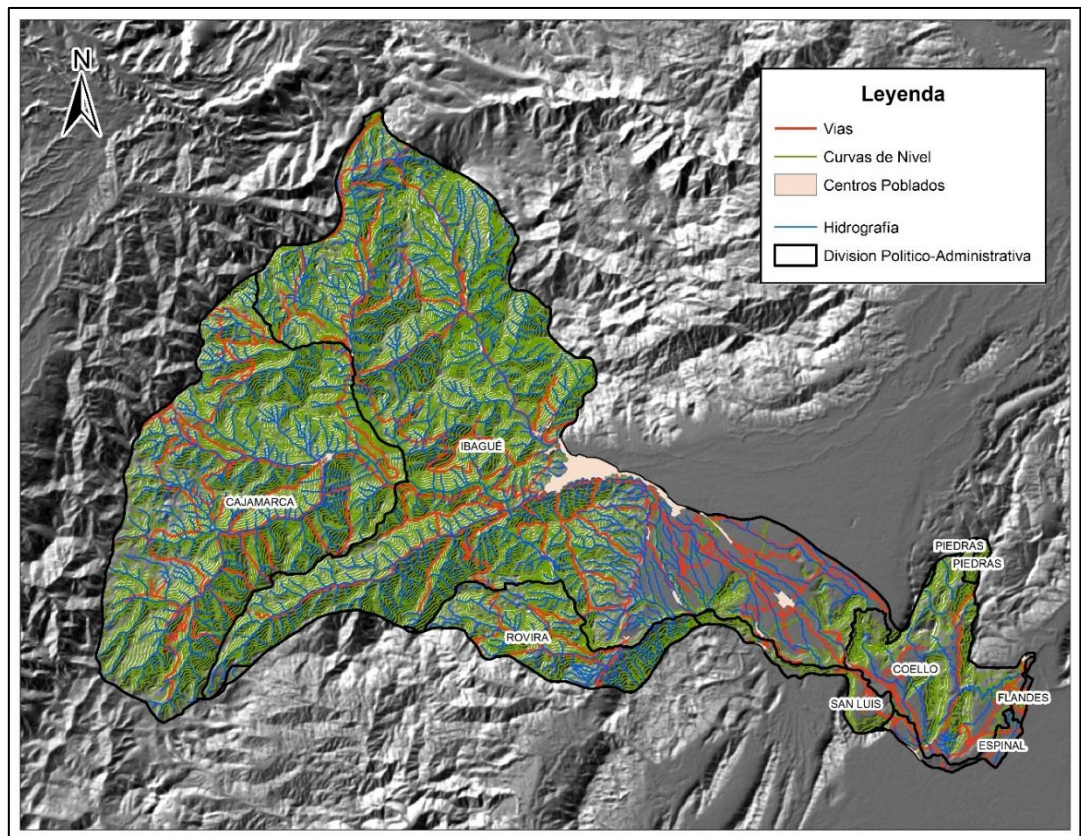


Figura 5. Cartografía básica de la zona de estudio. Fuente: El autor

### 6.2.2. Obtención de cartografía Temática

Se despliega la información obtenida del SIAC a escala 1:100.000 y se realiza el respectivo recorte con el área de influencia (Cuenca de Coello) tal como se ilustra en la Figura 6

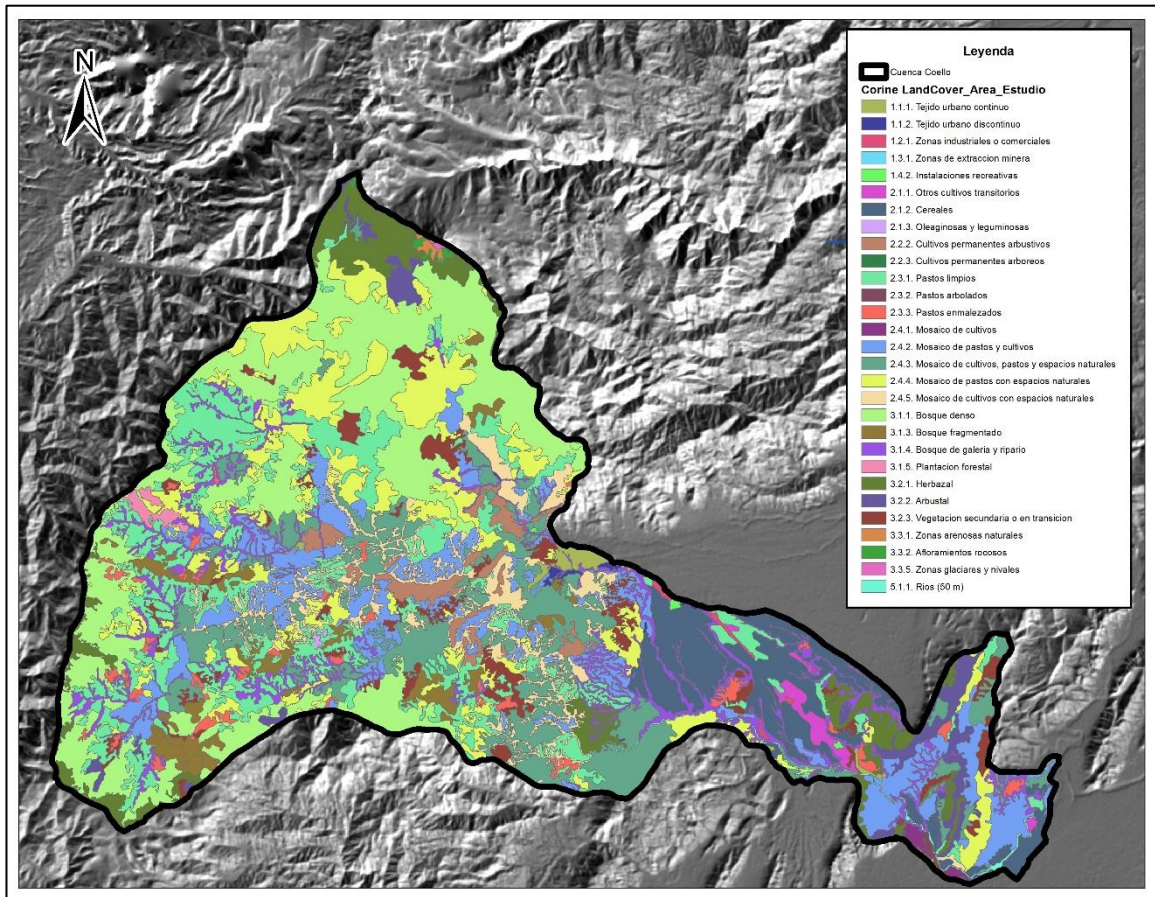
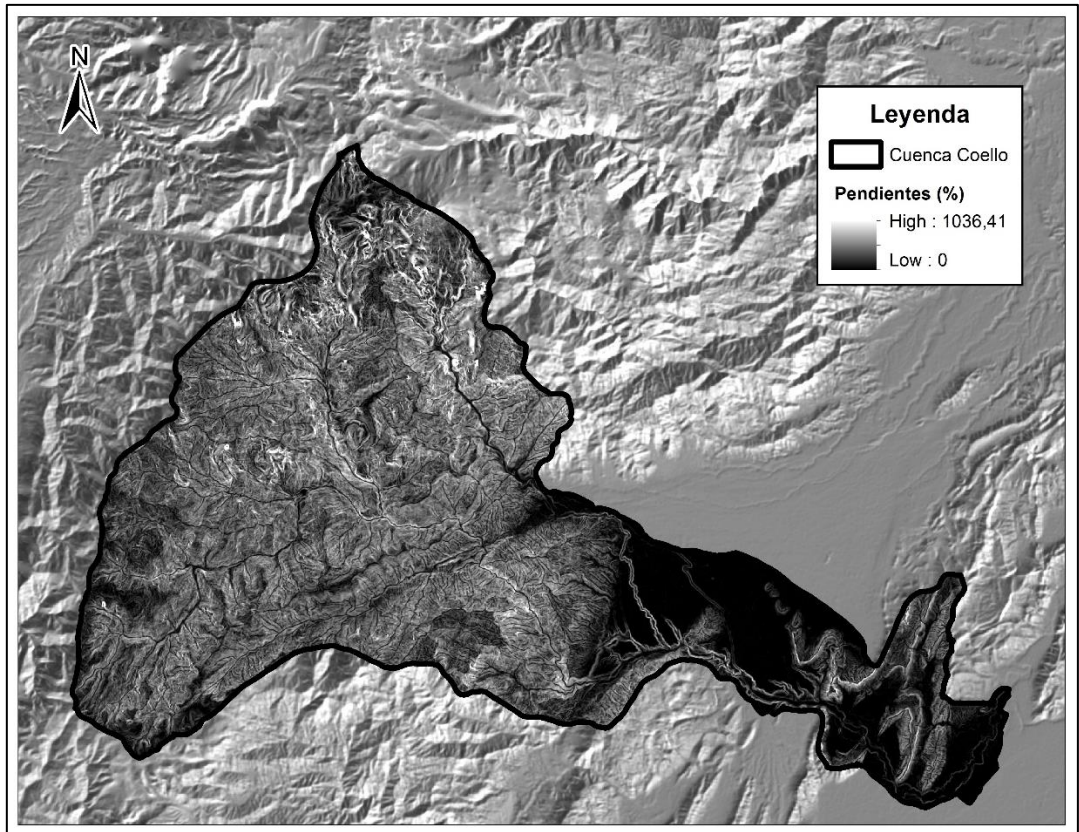


Figura 6. Cartografía temática del área de estudio. Fuente: El Autor

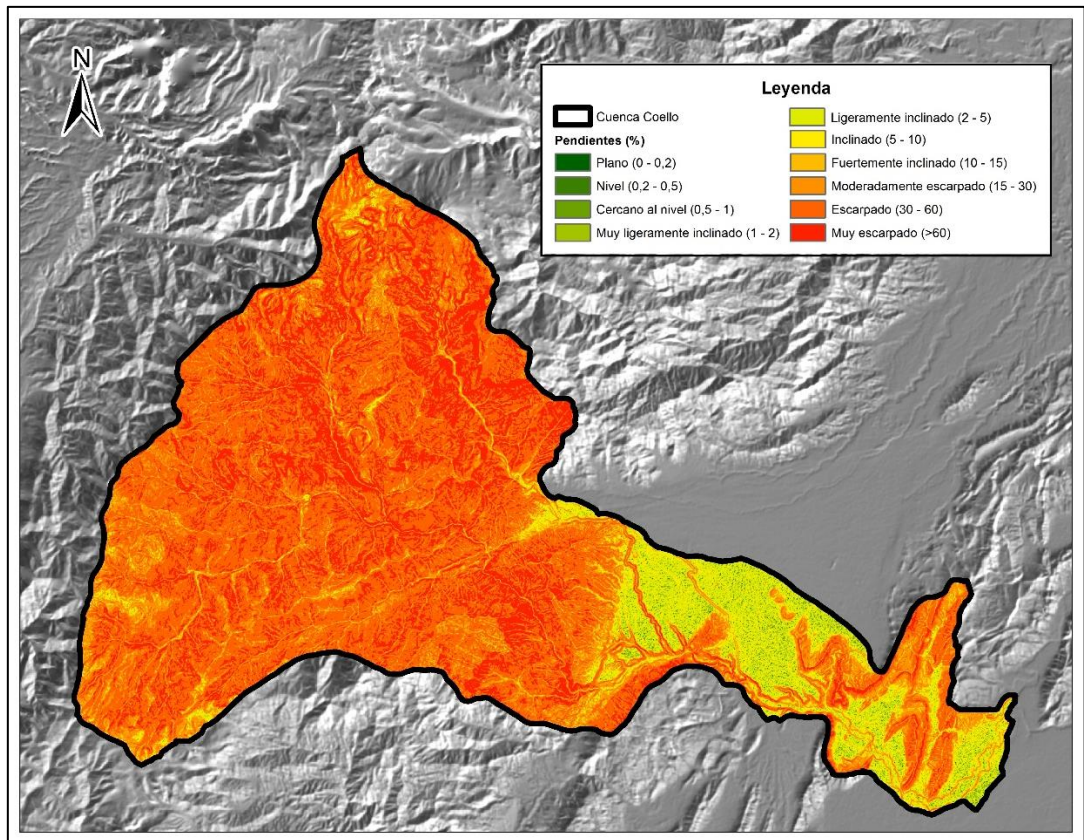
### 6.2.3. Mapa de Pendientes

Una vez obtenido el insumo del Modelo Digital del Terreno y la posterior utilización del comando 'Slope' en ArcGIS, se obtiene el mapa de pendientes en porcentaje, como se muestra en la Figura 7, la cual, muestra una distribución muy acentuada en la totalidad del área, la cual se observa desde terrenos completamente planos (0%) que conforman el llamado Abanico de Ibagué, hasta terrenos de alta montaña y pendientes Muy Escarpadas hacia la parte alta de la zona de estudio con valores que alcanzan hasta el 1036%.



**Figura 7.** Mapa de pendientes en porcentajes originales del área de estudio. **Fuente:** El Autor

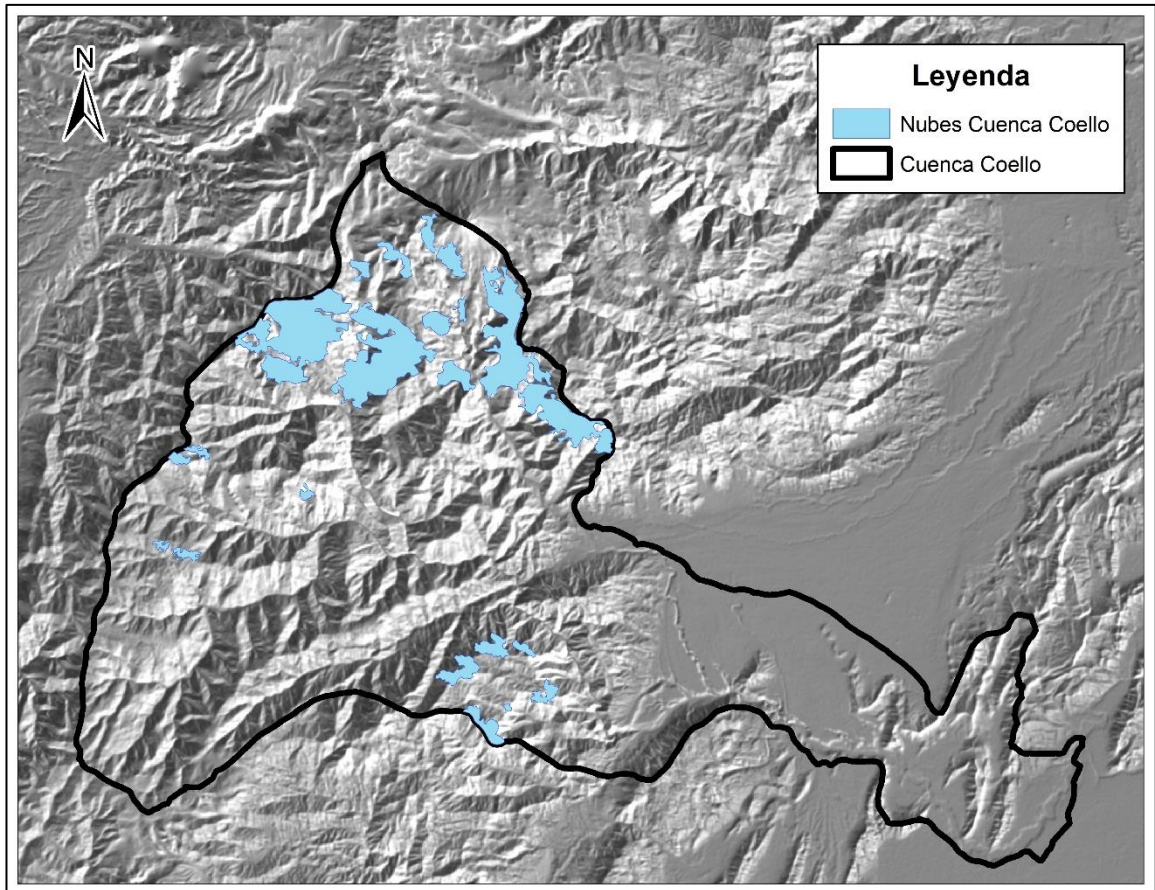
Para la realización de la respectiva homogeneización de los datos es necesario categorizar dichas pendientes en ciertas clases, como se observó en el Cuadro 3, se definieron 10 categorías según la FAO, la cual con una respectiva reclasificación en el Análisis 3D de ArcGIS, genera una nueva vista, como se ilustra en la Figura 8. Según esta nueva clasificación, la predominancia en la zona de estudio se nota a simple vista, la cuenca cuenta con una presencia considerable de terrenos con pendientes entre 10 – 60%, que van desde Fuertemente inclinado (10 – 15%), Moderadamente escarpado (15 – 30%) y Escarpado (30 – 60 %), este último con una presencia absoluta y predominante hacia las demás con un total de 557320 pixeles, cada uno de 900m<sup>2</sup> para un total de 501'588.000 m<sup>2</sup>, o lo que es igual a 50.158 hectáreas.



**Figura 8.** Reclasificación de pendientes en 10 clases propuestas. **Fuente:** El Autor

#### 6.2.4. Actualizar mapa de cobertura y uso del suelo

La cobertura de nubes siempre ha sido considerada un problema en el estudio de los SIG, por esta razón este factor es indispensable reducirlo lo máximo posible, para estudiar los tipos de combustibles, carga y duración fue necesario depurar esta información, es así como la información obtenida de la metodología Corine LandCover del año 2010 se integró con información actualizada de imágenes digitales obtenidas gratuitamente de Google Maps, mediante un filtro se extrajeron las nubes que correspondían al área de estudio y se descargaron las diferentes escenas para poder digitalizar la nueva información del software SAS Planetet, debido a que la mayoría de las nubes estaban presentes en las zonas de alta montaña y de difícil consecución de información confiable, se realizaba el montaje del archivo en formato .kmz en el software Google Earth, el cual tiene a su disposición imágenes sin estas coberturas y de un acercamiento bastante amplio, lo cual facilitó el proceso y determinación de los nuevos valores para estos errores. En la Figura 9, se muestra el shape resultante de cobertura de nubes que fue insumo para generar la nueva clasificación de dichas coberturas vegetales a escala 1:100.000



**Figura 9.** Cobertura de nubes en el área de estudio. **Fuente:** El Autor

### 6.2.5. Mapa de Isoyetas e Isotermas

Una vez determinadas las variables climatológicas mediante los métodos de llenado de series estocásticas, se organizan los datos en un archivo de Excel con las respectivas coordenadas de cada una de las estaciones, las cuales se importaron a ArcGIS y se crearon dos nuevos archivos de puntos denominados "Isoyetas" e "Isotermas". Con cada uno de estos shapes, se genera mediante el método de interpolación más apropiado los archivos raster necesarios para depurar la información de incendios, para el cálculo del mapa de Isoyetas se utilizó el método de interpolación Kriging simple, el cual arroja el menor error y una distribución más acercada a la realidad como se puede observar en la Figura 10. Con respecto al mapa de Isotermas se utilizó el método de interpolación de la Distancia Inversa Ponderada (IDW), la cual presenta el suavizado más representativo y la distribución de los datos ligados a la topografía del terreno como se ilustra en la Figura 11

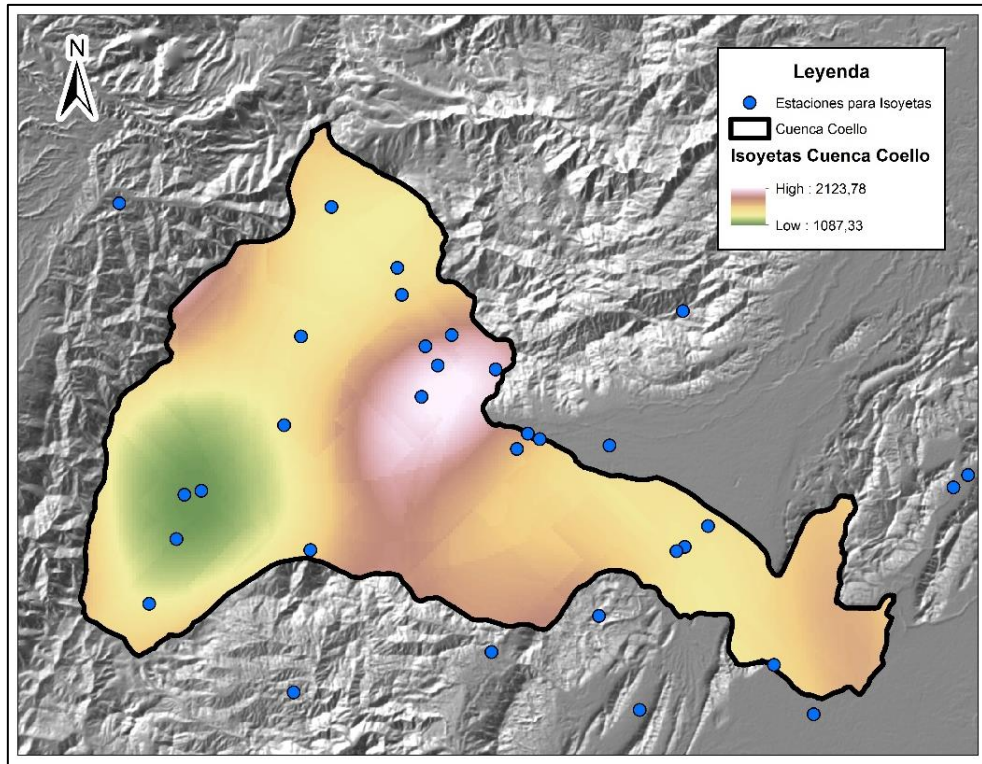


Figura 10. Mapa de isoyetas de precipitación Media Anual Multianual. Fuente: El Autor

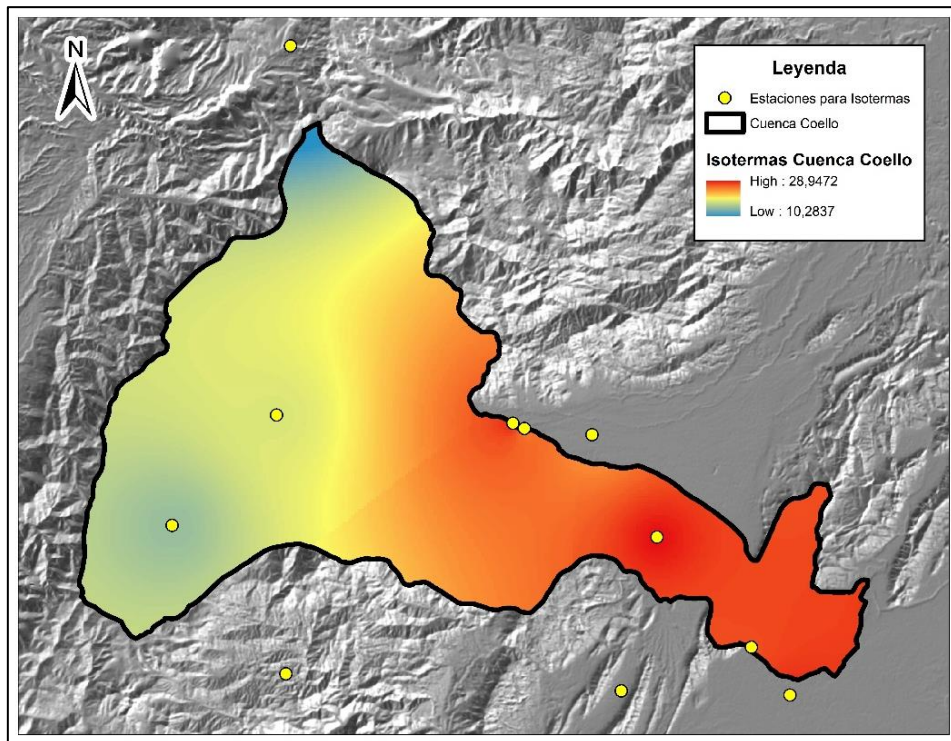


Figura 11. Mapa de isothermas de temperatura Media Anual Multianual. Fuente: El Autor

### 6.2.6. 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.

#### 6.2.6.1. Mapa de tipo de combustibles

Según la categorización dada, la alta presencia de pastos limpios, arbolados o enmalezados, así como todos los tipos de cultivos, son una gran fuente de combustión, aplicándoles a esta categoría la Calificación de 'Muy Alta', caso contrario con el tejido urbano continuo y discontinuo, los afloramientos rocosos y zonas arenosas, son las que menor impacto tiene en el tipo de combustible, calificándose como Muy Baja. La Figura 12 representa esta clasificación de la siguiente manera

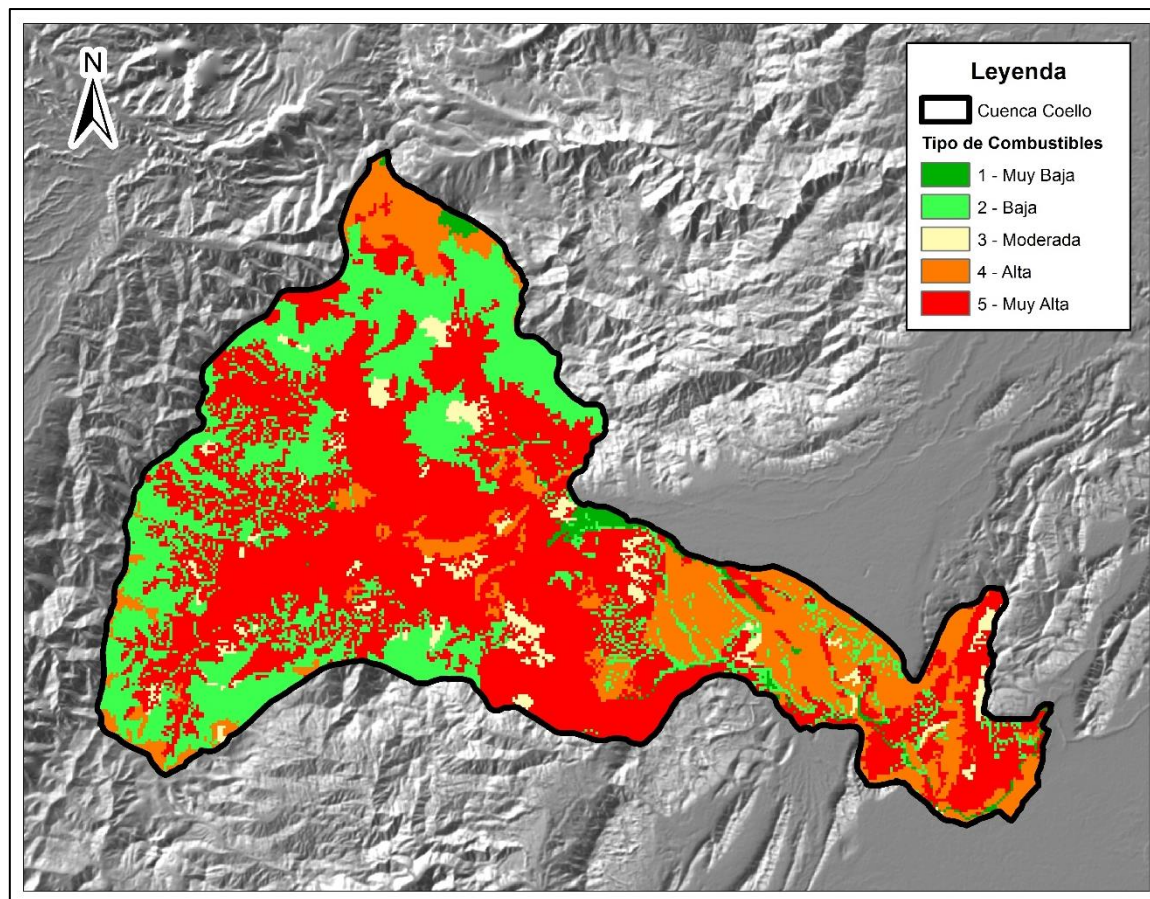


Figura 12. Clasificación de las coberturas por Tipo de combustible. Fuente: El Autor



### 6.2.6.2. Mapa de duración de combustibles

Para la medición de la duración de los combustibles, se asignan solo 4 categorías de clasificación, dándole solo la clasificación de Muy Alta a la categoría de los tipos de combustible de tipo 5. Se puede analizar con respecto a la Figura 13 que los cultivos y herbazales, son las coberturas que menor tiempo demoran para iniciar la ignición con un lapso de 1 hora, haciéndolos bastantes susceptibles, en cambio, las coberturas boscosas, tales como cultivos permanentes arbóreos, bosques densos, fragmentados y plantaciones, demoran hasta 100 horas para generar combustión, clasificándolos en la categoría Baja.

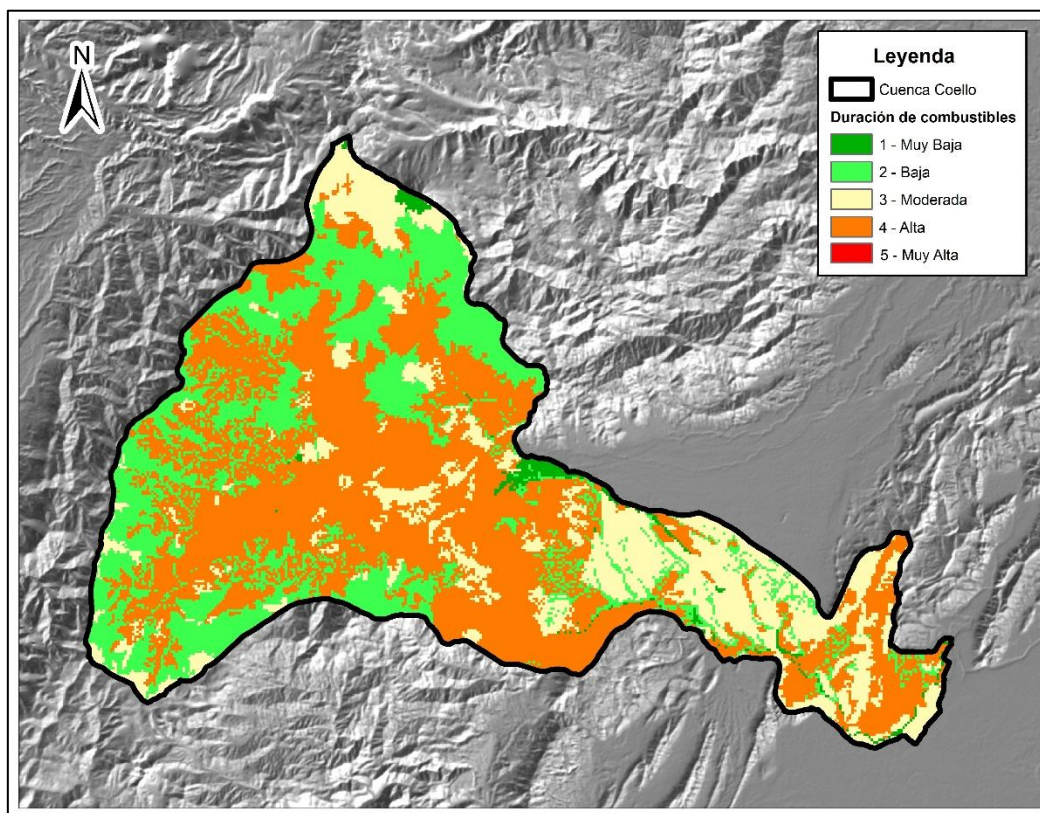
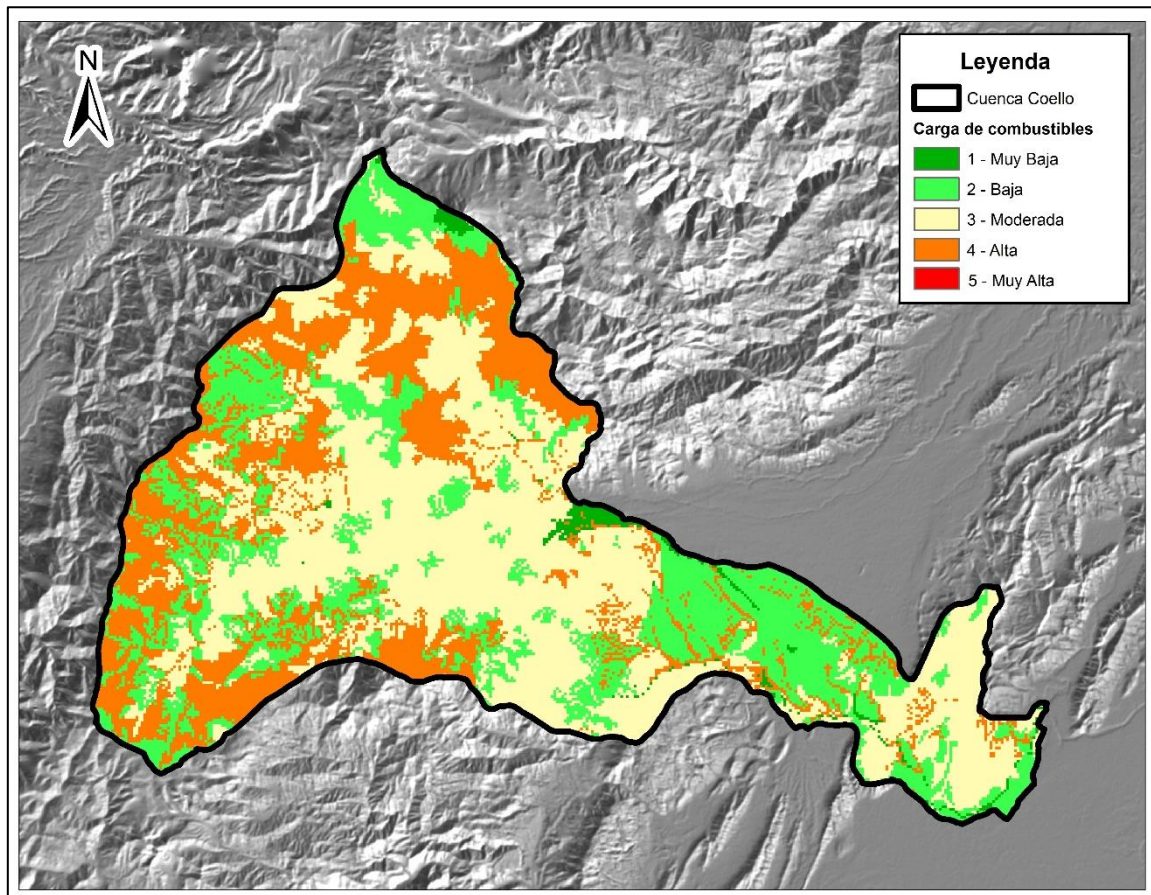


Figura 13. Clasificación de coberturas por Duración de Combustibles. Fuente: El Autor

### 6.2.6.3. Mapa de carga de combustibles

Así mismo como se explica en el apartado 6.1.6.2., ésta categoría tampoco presenta calificación de Muy Alta amenaza, solo presentando en la cartografía una ponderación hasta el cuarto (4) grado de amenaza, en este punto se miden las coberturas que más biomasa aportan al área de estudio expresado en toneladas sobre hectareas, donde, contrario a lo observado se presenta un mayor grado de amenaza a las grandes extensiones de vegetación densa, es decir, los bosques y plantaciones forestales, alcanzando la calificación de 'Alta' amenaza, y por el otro

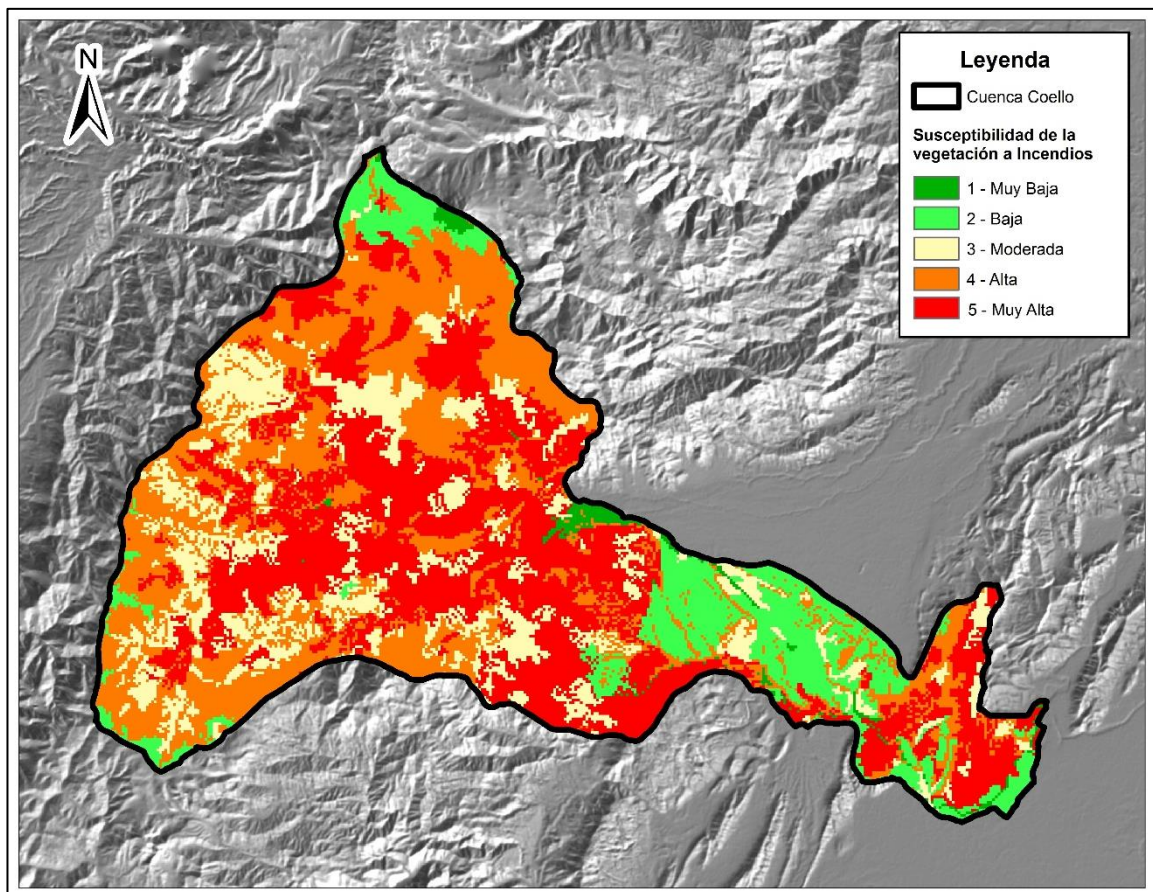
lado, los cultivos transitorios y las diferentes categorías de pastos, presentaron una clasificación de 'Baja' como se ilustra en la Figura 14.



**Figura 14.** Clasificación de coberturas por Carga de Combustible. **Fuente:** El Autor

### 6.2.7. Mapa de Susceptibilidad de la vegetación a incendios

Una vez obtenidas estos tres insumos es necesario generar la susceptibilidad que se presenta por la suma ponderada de estos factores, es así como se aplica la fórmula propuesta en el apartado 5.3.9. A partir de la utilización de la calculadora raster, generando una nueva clasificación e estas 5 categorías de amenaza, (Muy Bajo, Bajo, Moderado, Alto y Muy Alto) como se puede apreciar en la Figura 15.



**Figura 15.** Susceptibilidad de la vegetación a incendios. **Fuente:** El Autor

### 6.2.8. Factores climatológicos

Para continuar con la incorporación de estas variables, es necesario reclasificar la cartografía resultante del apartado 6.1.8., con el fin de generar dos nuevos raster de isoyetas e isotermas ponderados con la calificación de amenaza que se ha venido generando en relación a lo establecido por la metodología expuesta por el IDEAM. Es de aclarar que la metodología está presente a nivel Nacional y que los nuevos archivos no cuentan con la totalidad de los niveles definidos. En consideración, se tiene que en la categoría de precipitación solo se presentan dos clasificaciones (Moderada amenaza y Alta amenaza), ya que se presentan lapsos de 1000mm – 3000mm. Para la temperatura, se presentan 4 calificaciones, que van desde (Muy frío a Cálido). La Figura 16, muestra la nueva reclasificación de Isoyetas, y la Figura 17, ilustra el archivo resultante de Isotermas.

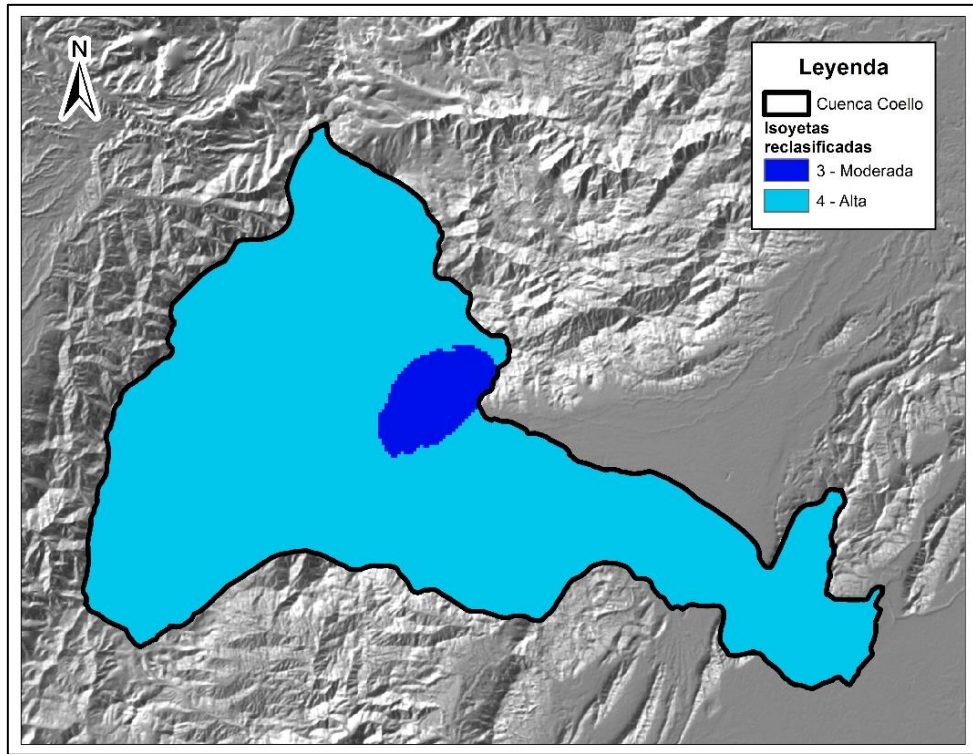


Figura 16. Reclasificación de Isoyetas en el área de estudio. Fuente: El Autor

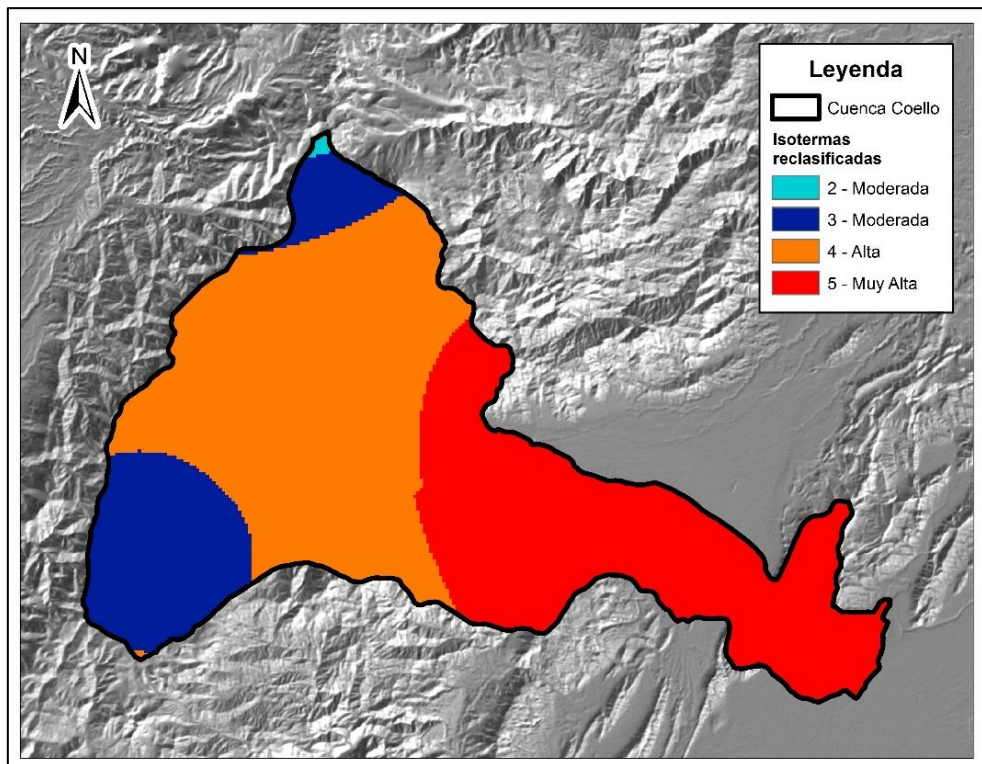


Figura 17. Reclasificación de Isotermas en el área de estudio. Fuente: El Autor

### 6.2.9. Factor Relieve

Se obtuvo para el Factor 6.1.3., la clasificación de las pendientes en 10 categorías según la FAO a nivel nacional, esta es bien tomada para situaciones a nivel de ordenamiento territorial y estudios de suelo, para el desarrollo de este trabajo se necesitó clasificar la información en las mismas 5 categorías de amenaza. La Figura 18 muestra dicha distribución en las nuevas categorías planteadas

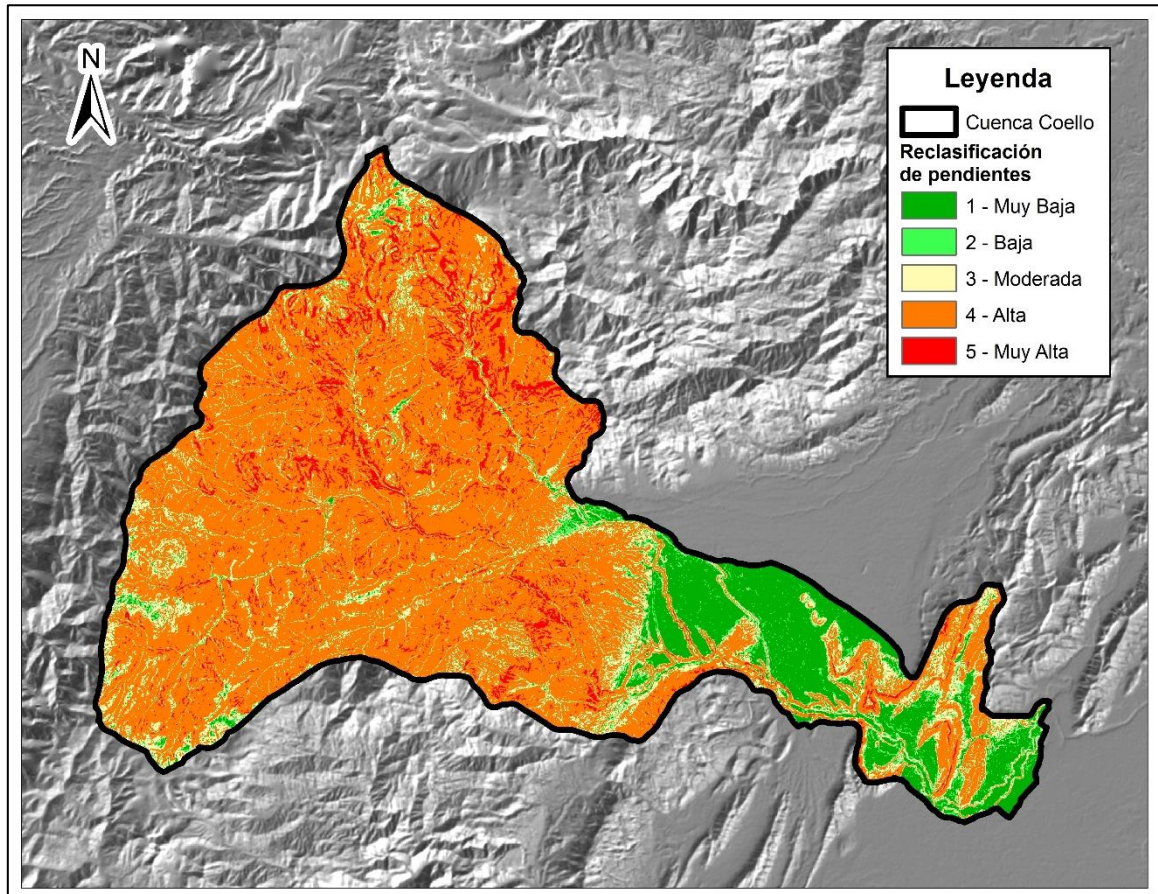
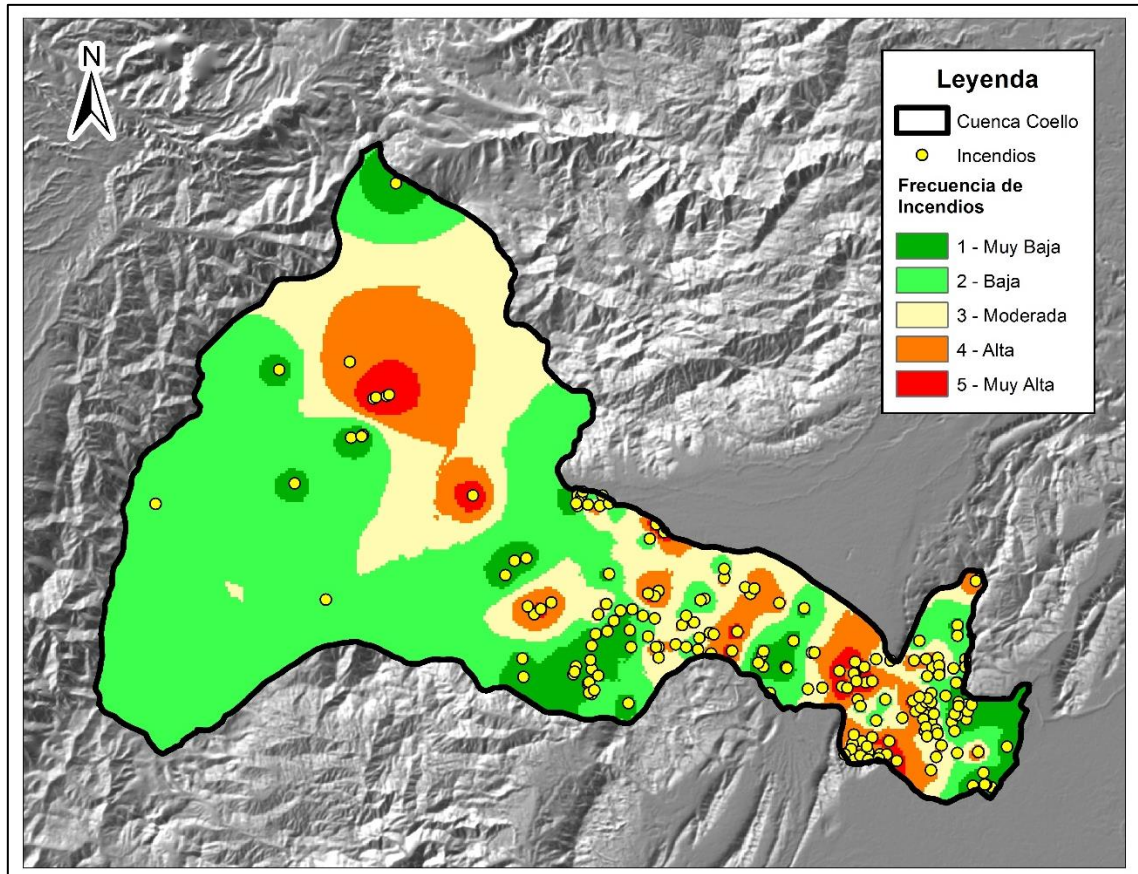


Figura 18. Reclasificación de las pendientes a las categorías prediseñadas. Fuente: El autor

### 6.2.10. Factor histórico

Una vez obtenida la información del satélite MODIS, se realizó la fórmula de frecuencia de incendios por año, y con este resultado la respectiva interpolación por el método de Distancia Inversa Ponderada (IDW), esto mostrando la distribución de los incendios en el área de estudio, y generando, como se muestra en la Figura 19, la dispersión de los incendios y la ocurrencia mediante la distribución de los puntos en la cuenca del Río Coello.



**Figura 19.** Frecuencia de incendios. **Fuente:** El Autor

#### **6.2.11. Accesibilidad**

Se requirió depurar la información de las vías y obtener de allí las que corresponden a primarias y secundarias, con esta información se generó un buffer o zona de influencia cada 500m, la Figura 20 muestra este último insumo para generar la amenaza total a incendios forestales

#### **6.2.12. MAPA DE AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES**

Con la implementación de todos y cada uno de las clasificaciones de las cartografías desplegadas en los anteriores capítulos, se procede a realizar una suma ponderada mediante la calculadora raster de acuerdo a la fórmula planteada anteriormente, asignándole unos mayores pesos e influencia a las variables climatológicas, las cuales intervienen drásticamente en la ocurrencia de estos eventos, se ilustra en la Figura 21, el primero de los insumos, que luego se integrará con el de vulnerabilidad, para determinar el mapa de riesgos a incendios forestales.

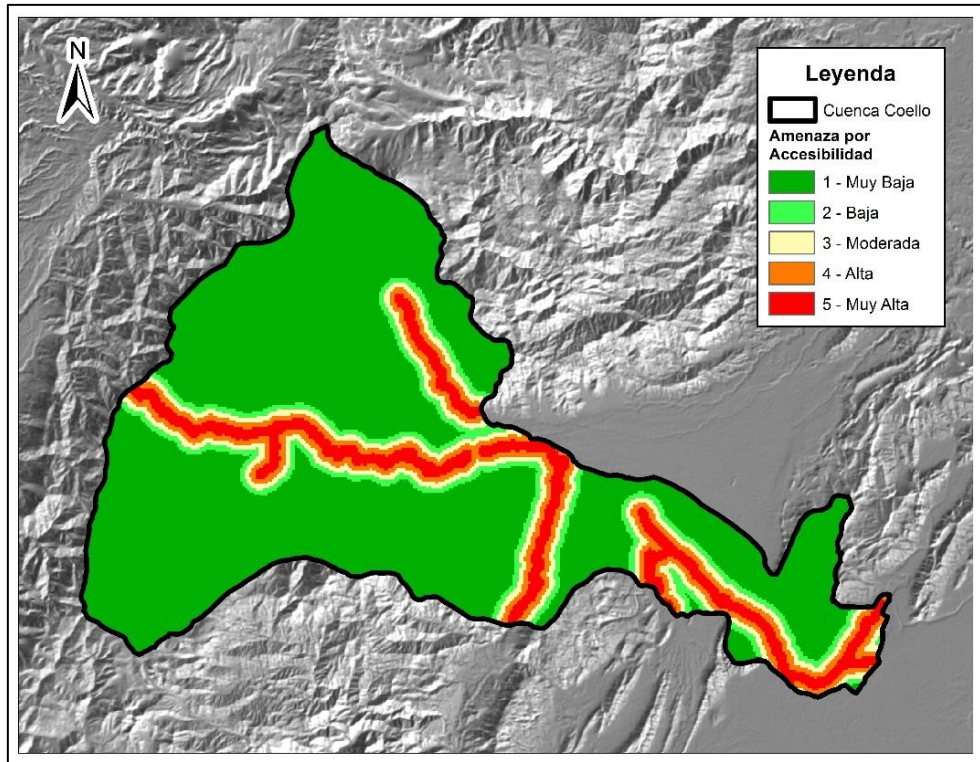


Figura 20. Mapa de accesibilidad de la zona de estudio. Fuente: El Autor

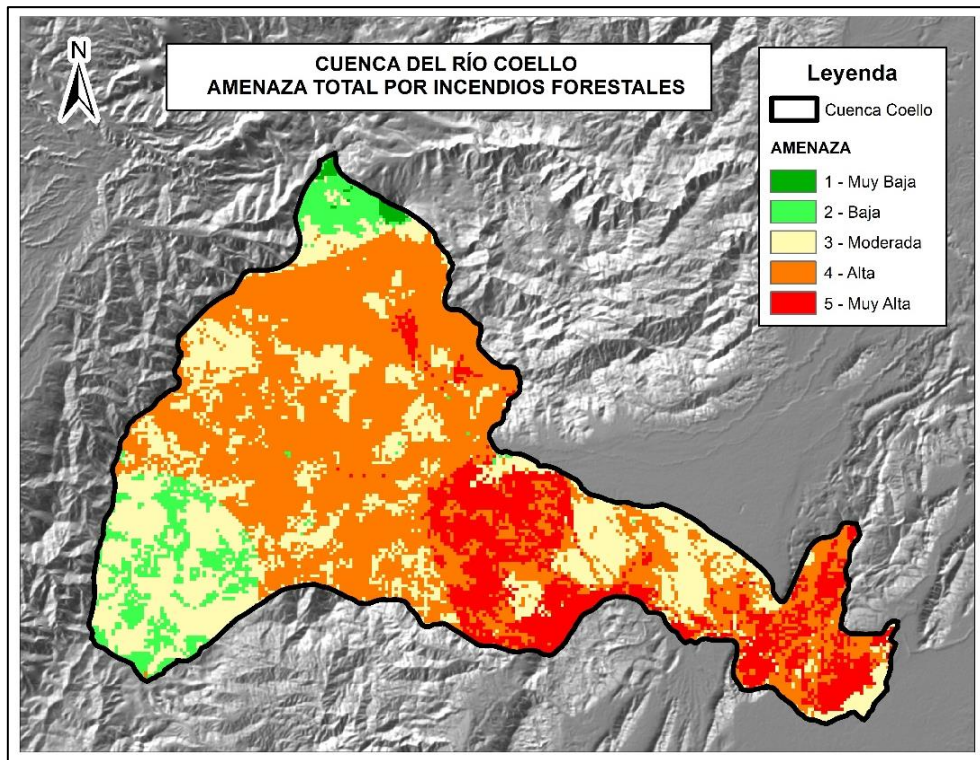


Figura 21. Mapa de Amenazas por Incendios Forestales. Fuente: El Autor

### 6.3. Generación del mapa de Vulnerabilidad a Incendios Forestales

La generación de cartografía de vulnerabilidad tiene correlación con la división político administrativa, casi la totalidad de las variables medidas fueron integradas con este archivo, donde se puede apreciar la importancia de las cabeceras municipales, la densidad poblacional y el campo de acción de organismos de socorro por municipio en la definición de vulnerabilidades por incendios forestales.

#### 6.3.1. Mapa de Vulnerabilidad Poblacional

Una vez determinada la densidad de población, la población total municipal, y el área que comprende cada municipio dentro de la cuenca del río Coello, se realizó el respectivo cálculo de la población por área de estudio, en las cuales se encontraron dos picos característicos: Para el municipio de Ibagué los valores más altos de vulnerabilidad (Muy Alta) con un número de 398388 habitantes en el área de estudio, y para el resto de los municipios (Muy Baja) con valores que no superan los 79723 habitantes, se ilustra en la Figura 22 la distribución de los datos en cuanto a la vulnerabilidad de población.

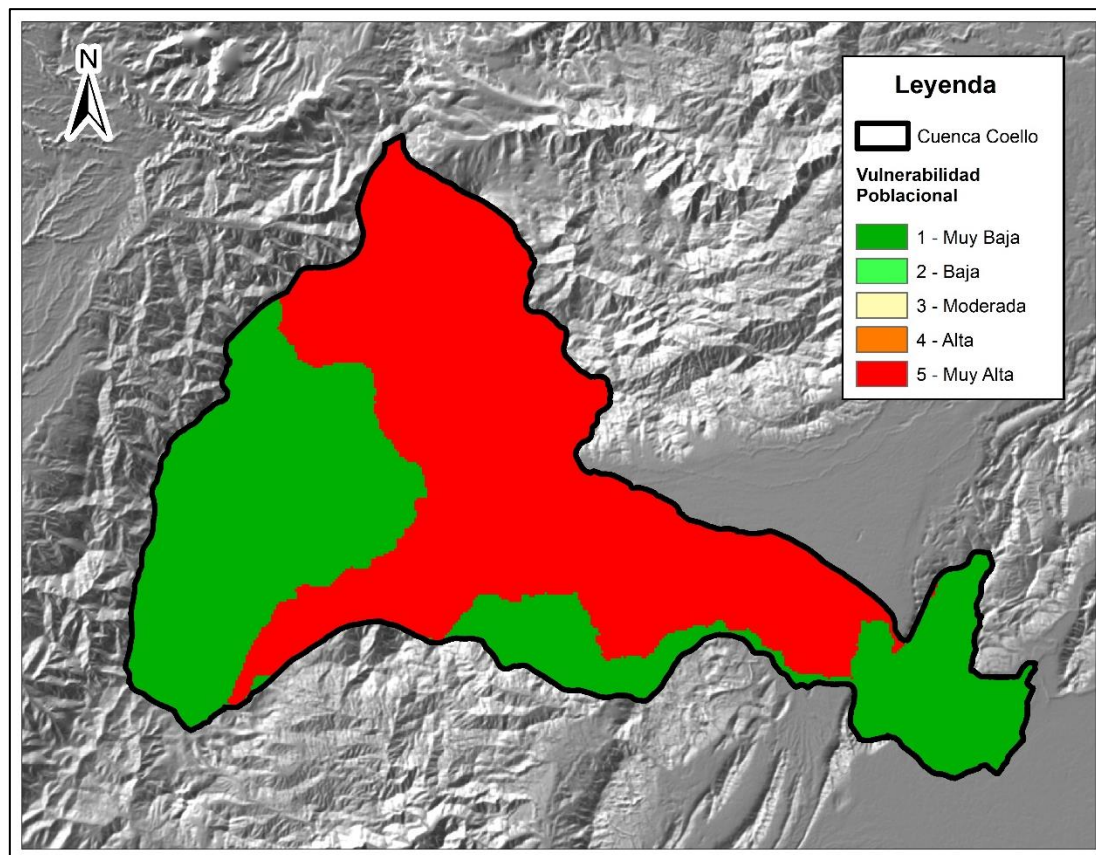


Figura 22. Mapa de vulnerabilidad poblacional. Fuente: El autor



### 6.3.2. Mapa de Vulnerabilidad Ecosistémica

Para la determinación de este tipo de vulnerabilidad fue necesario depurar la información de cobertura y uso de la tierra del IDEAM, en el cual se evaluaron dos factores: El físico y el ecológico, se determinó para el primer factor los conflictos de uso del suelo y para el segundo la adaptación al fuego de los diferentes tipos de cobertura, estos siendo clasificados y calificados por el tipo de vulnerabilidad establecida según se ilustra en la Figura 23, la cual muestra en los asentamientos urbanos una clasificación de muy baja, la cual no tiene cierto grado de influencia en la vulnerabilidad ecológica, en cambio, las coberturas boscosas, herbazales, arbustales y vegetación densa, se encuentra categorizada en las clasificaciones de Muy alta – Alta, la cual comprende casi la totalidad del área de estudio.

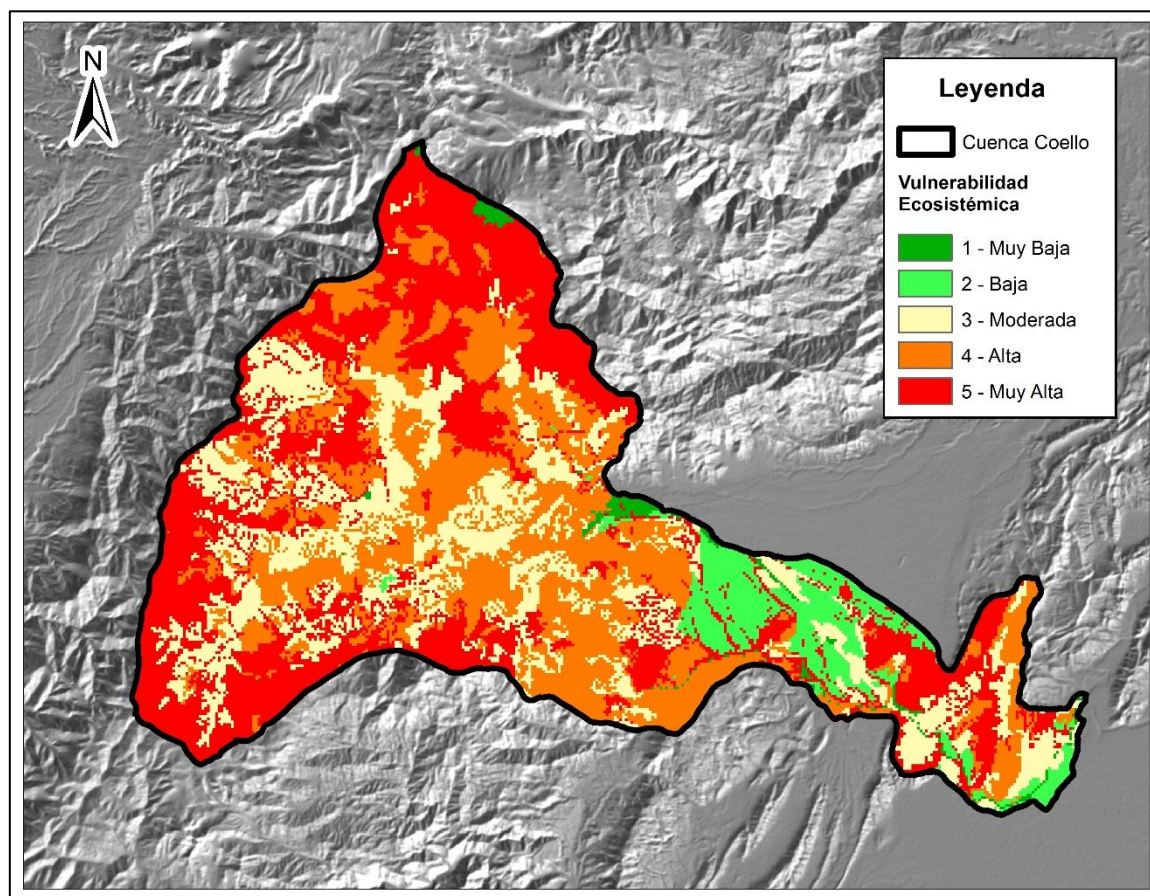


Figura 23. Mapa de Vulnerabilidad Ecosistémica. Fuente: El Autor

### 6.3.3. Mapa de vulnerabilidad de la Infraestructura

La ponderación y calificación de este tipo de vulnerabilidad es básicamente igual a la metodología utilizada en el Mapa de amenaza por accesibilidad, donde para este caso, además de utilizar las vías primarias y secundarias, se integraron diferentes tipos de infraestructuras, siendo estas: Aeropuertos, vías férreas, Poliductos y líneas eléctricas, a las cuales se les asignó igualmente un área de influencia cada 500m hasta alcanzar los 2000m, se ilustra en la Figura 25 la clasificación del grado de vulnerabilidad oscilando desde Muy Bajo (>2000m) y Muy Alto (>=500m).

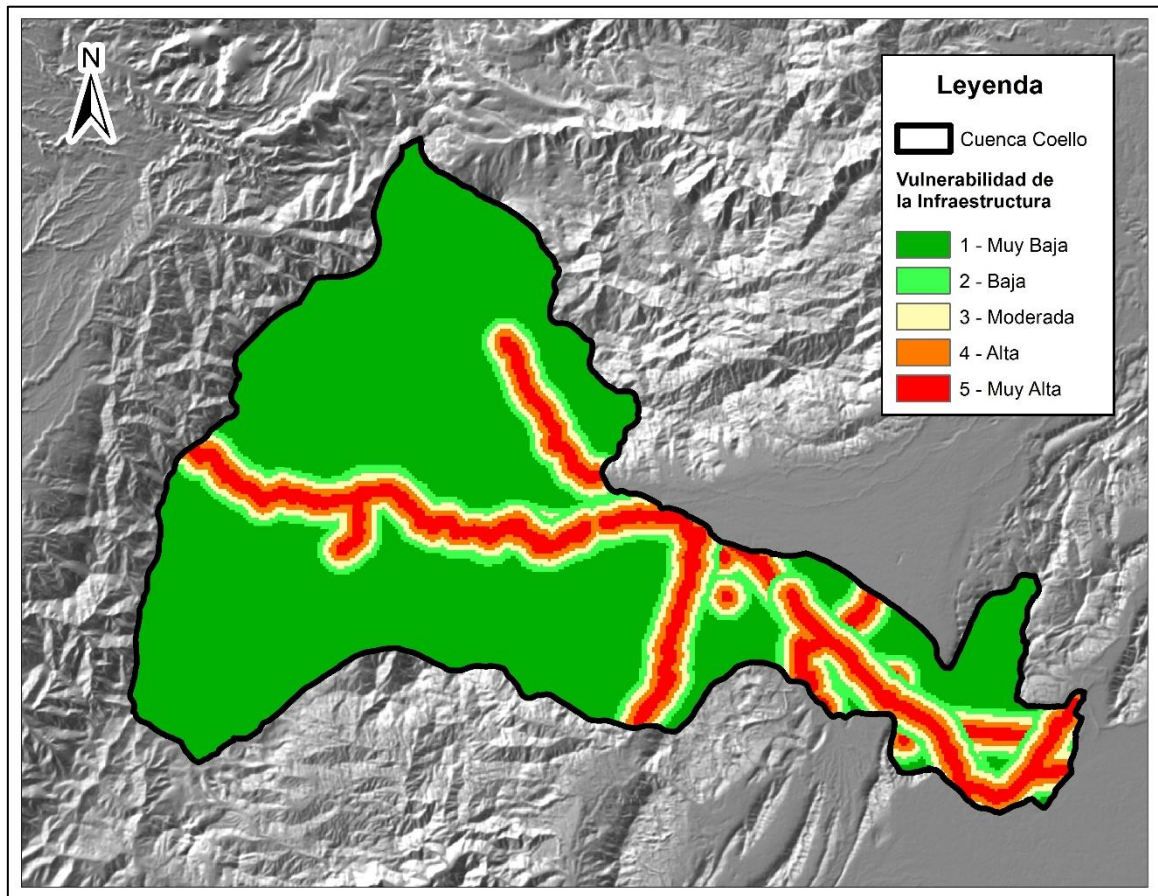
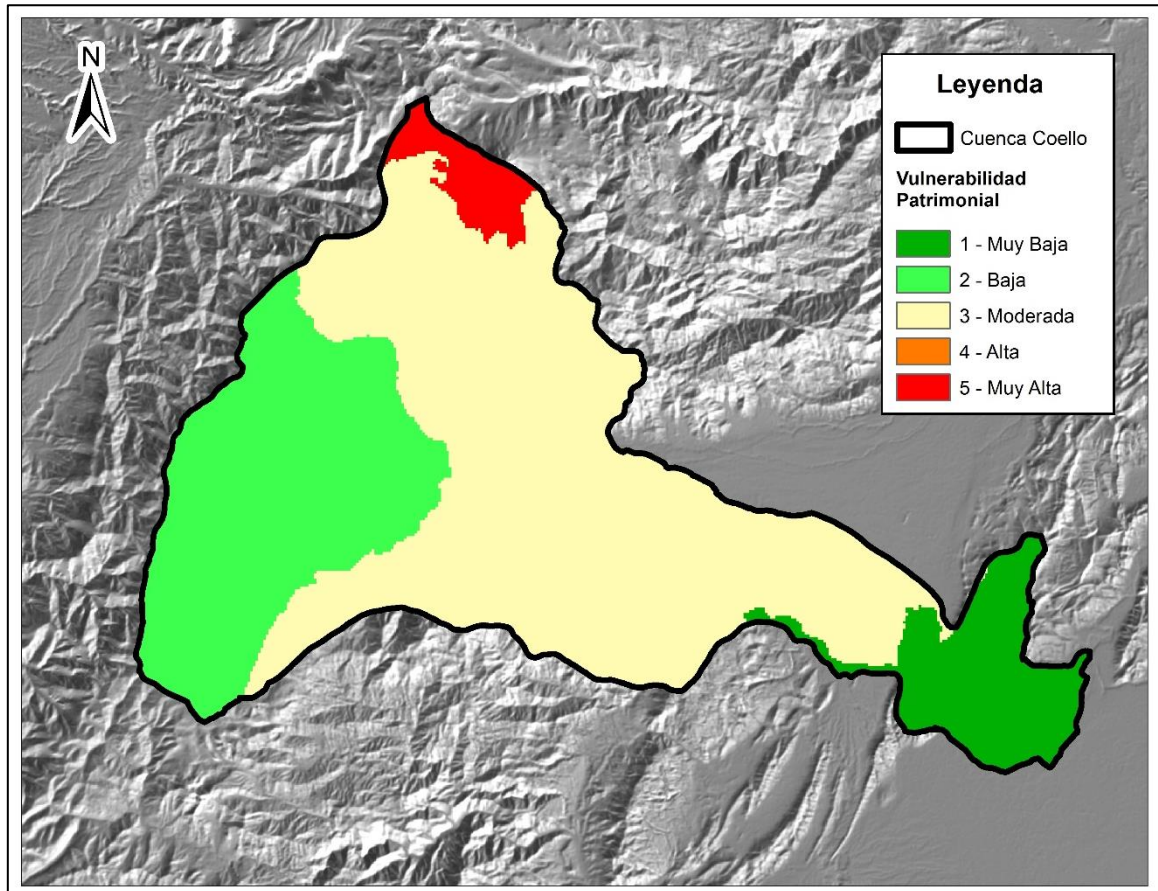


Figura 24. Mapa de vulnerabilidad de la infraestructura. Fuente: El Autor

### 6.3.4. Mapa de Vulnerabilidad Patrimonial

Está definido por el grado de afectación que pueda ocasionar una conflagración, para el área de estudio, allí solo hay presencia de una porción del parque natural de los nevados. Esta información se integró con la cartografía de la división político-administrativa, y se calificó el grado de vulnerabilidad presente por

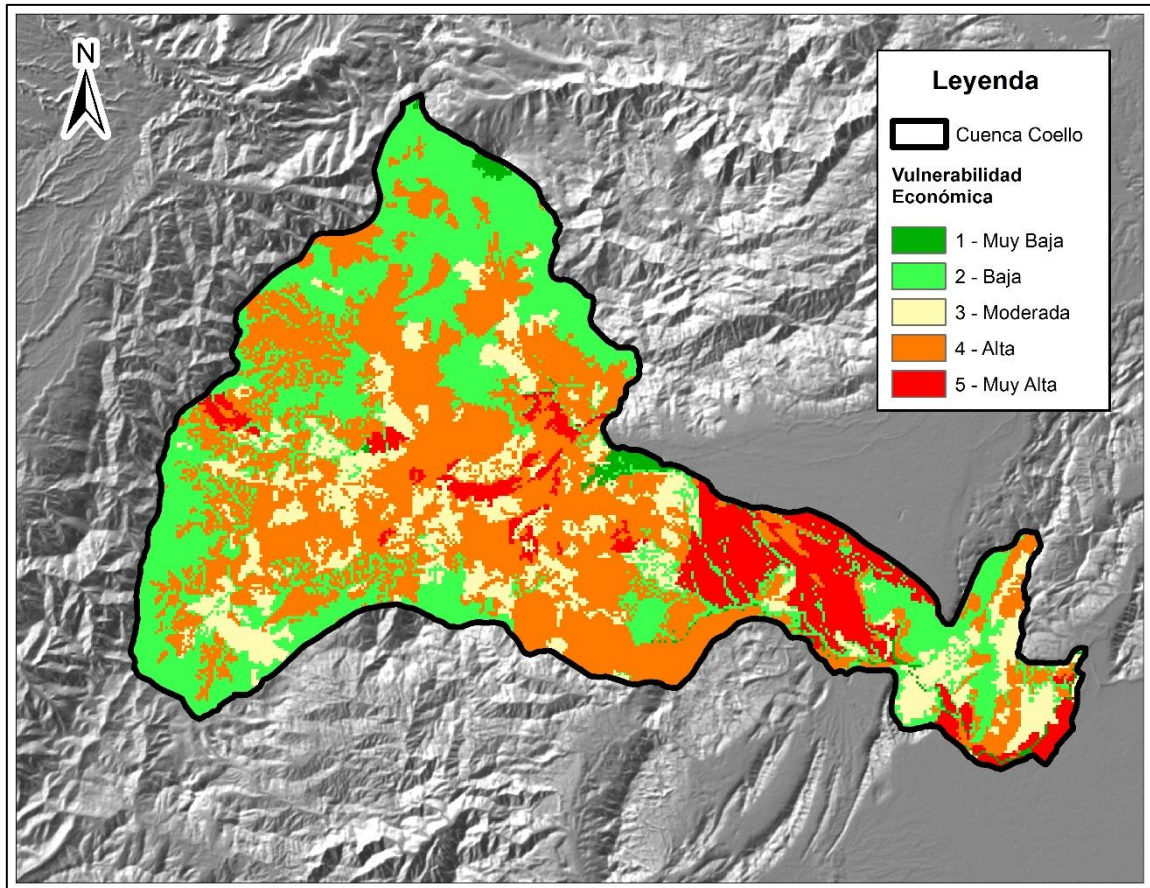
municipio según se ilustra en la Figura 25, dándole un valor calificativo de (Muy Alto) a esta reserva natural



**Figura 25.** Mapa de Vulnerabilidad Patrimonial. **Fuente:** El Autor

### 6.3.5. Mapa de Vulnerabilidad Económica

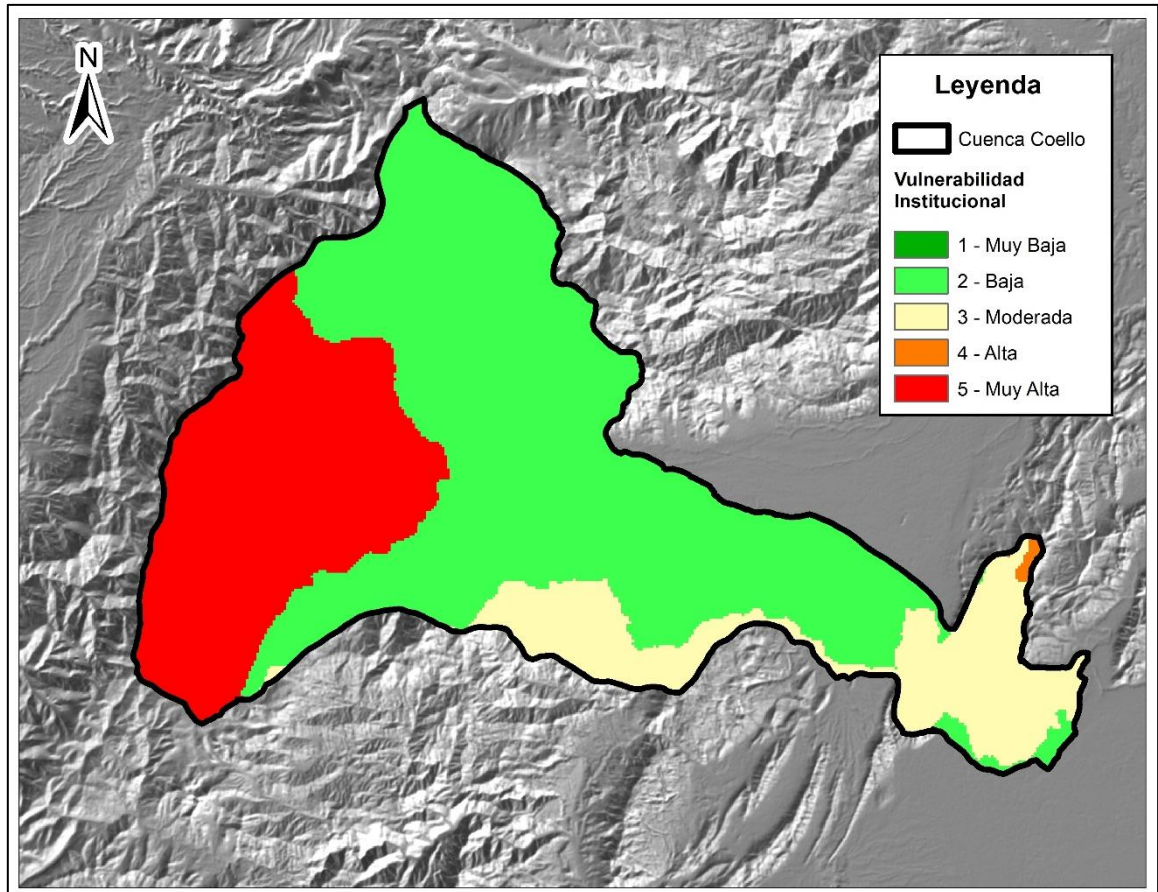
La generación cartográfica de este tipo de vulnerabilidad fue basado en la reclasificación del archivo de coberturas y usos de la tierra, el cual tomó como principal fuente de vulnerabilidad las zonas que presentaban algún sistema productivo, según la reclasificación, coberturas de Cultivos en general presentan un mayor grado de afectación, como los que son encontrados en todo el flanco del abanico de Ibagué y comprendiendo la mayoría del municipio del Espinal y parte de Coello, se presentan también categorías de vulnerabilidad alta, plantaciones forestales y Pastos en general. La Figura 26 ilustra la distribución de las coberturas luego de la ponderación y clasificación de la información en las categorías establecidas para su integración posterior.



**Figura 26.** Mapa de Vulnerabilidad Económica. **Fuente:** El Autor

### 6.3.6. Mapa de Vulnerabilidad Institucional

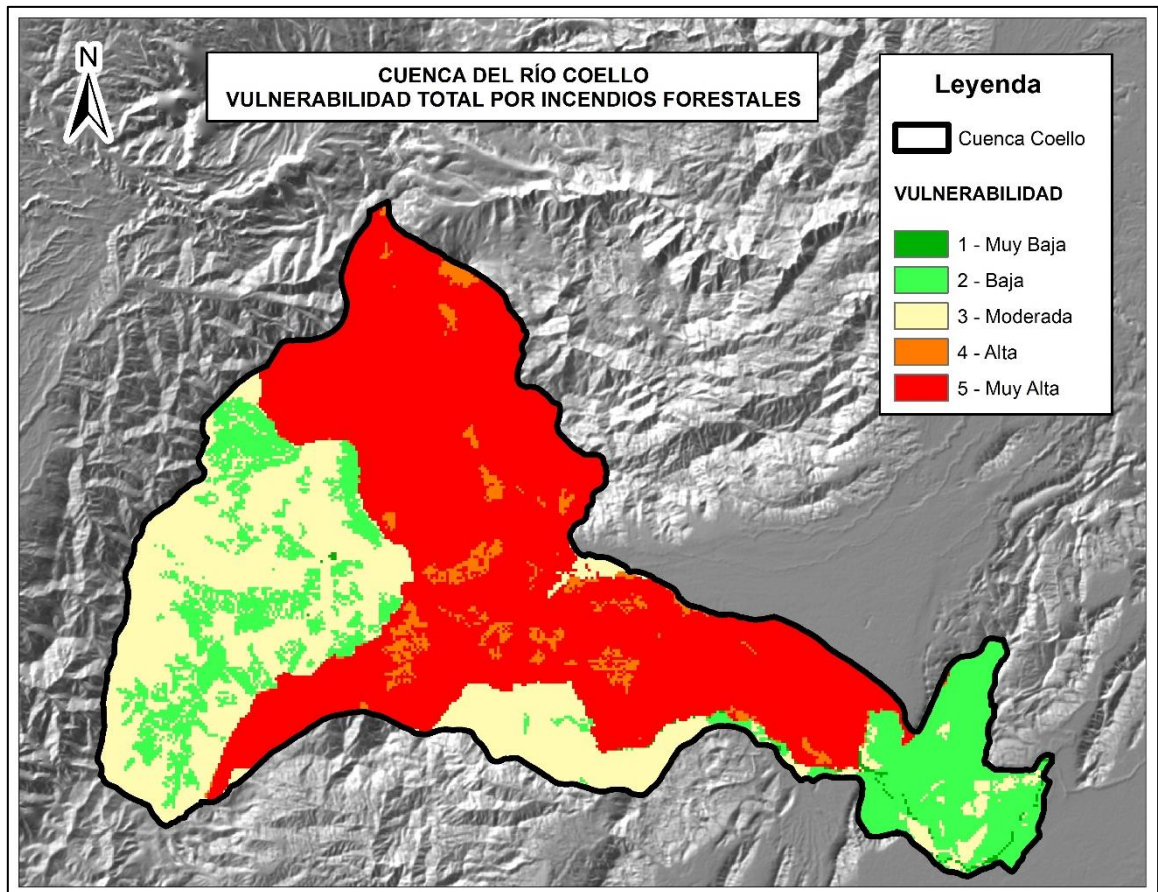
En la ejecución de este tipo de vulnerabilidad, se evidenciaron las instituciones encargadas de brindar un servicio a la hora de presentarse un posible incendio forestal, en este caso tomando como eje fundamental la jurisdicción que tenían por municipio, Ibagué al ser la capital del departamento del Tolima cuenta con una amplia cobertura de estos organismos y por lo tanto presentando una Vulnerabilidad, en este caso, Muy baja; en este sentido observando la otra cara de la moneda, el municipio de Cajamarca presenta un grado de vulnerabilidad Muy alta, ya que los organismos de socorro en su mayoría son enviados desde el municipio de Ibagué, y el acceso a los lugares dificulta el pronto accionar por la complejidad de las vías. La Figura 27 muestra la clasificación de este tipo de vulnerabilidad en cuando a la presencia de las instituciones encargadas de atender situaciones de riesgo



**Figura 27.** Mapa de Vulnerabilidad Institucional. **Fuente:** El Autor

### 6.3.7. MAPA DE VULNERABILIDAD POR INCENDIOS FORESTALES

Al realizarse la respectiva integración de los tipos de vulnerabilidad presentes en el área de estudio (Poblacional, ecosistémica, infraestructura, patrimonial, económica e institucional) se procedió a realizarse la ponderación pertinente a cada una de estas asignándole los pesos que según la metodología son los adecuados para cada uno de ellos con la implementación de la calculadora raster se multiplica cada factor por el peso asignado y se integran generando la cartografía de vulnerabilidad total a incendios forestales, con la salida gráfica obtenida, y como se ilustra en la Figura 28, se puede identificar que este peso asignado es un factor muy importante para determinar el grado de vulnerabilidad, ya que el factor poblacional, al ser asignado como el de mayor peso presentó un mayor grado de afectación en la cartografía total, donde muestra al municipio de Ibagué (población mayor en el área de estudio) con un grado de vulnerabilidad Muy Alta, y en relación a los otros municipios primaron los tipos de vulnerabilidad Muy baja, Baja y Moderada, gracias a la importancia de este factor en la cartografía final.



**Figura 28.** Mapa de Vulnerabilidad a Incendios Forestales. **Fuente:** El Autor

#### 6.4. Generación del mapa de Riesgos por Incendios Forestales

La definición y zonificación de los riesgos que se puedan presentar a incendios forestales son una herramienta muy importante a la hora de gestionar el ordenamiento del territorio. Con la incorporación del peligro latente que pueda ocasionar en evento físico, tanto natural como antrópico, llamado en este trabajo como 'Amenaza' y la probabilidad de ocurrencia o susceptibilidad de sufrir un evento desastroso denominado 'Vulnerabilidad', se genera el mapa de Riesgos a incendios forestales en el área de estudio que se requiera.

Con la utilización de la calculadora raster se realiza una sumatoria de estos dos factores, generando así una nueva cartografía, la cual, se reclasificó y categorizo en los 5 tipos de riesgo, se puede así ver en la Figura 29, la distribución y dispersión de los datos visualmente en el área de estudio, en el cual la gran mayoría del municipio de Ibagué se encuentra distribuida en la categoría de Riesgo Alto, mientras que, para los municipios que presentan una categoría de riesgo bajo y muy bajo la proporción es muy pequeña.

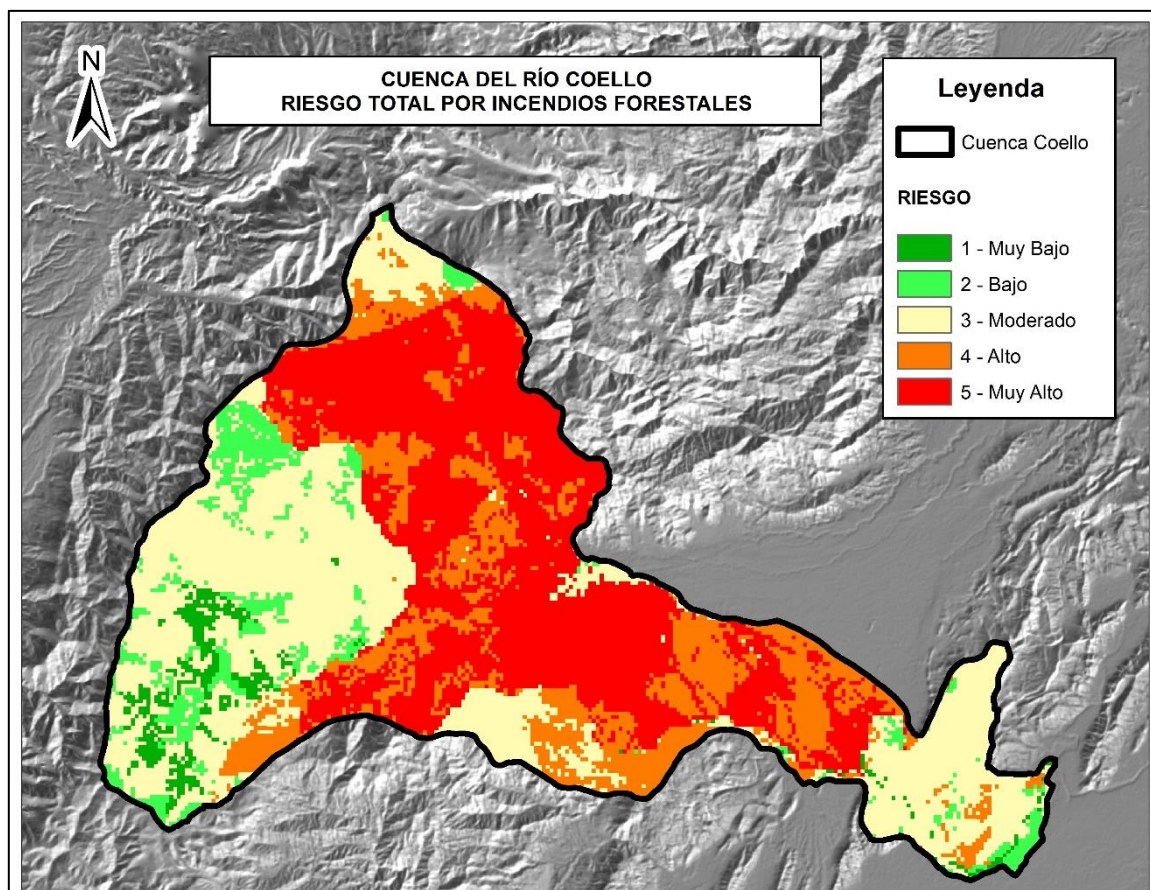


Figura 29. Mapa de Riesgos a Incendios Forestales. Fuente: El Autor

## 6.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Una vez determinada la cartografía de riesgos mediante la zonificación, es necesario discutir el estado de la cuenca del Río Coello en relación a la posible presencia de uno de estos eventos desastrosos, para entrar en contexto se puede observar que cada pixel en el área de estudio tiene un tamaño de 315m x 315m, lo que genera un área de 99225m<sup>2</sup> equivalentes a 9,9225 hectáreas. El Cuadro 20 muestra el número de pixeles que hay por clasificación de Riesgo y sus valores en área para cada una de estas.

RIESGO	N° de Pixeles	Área en Ha	PORCENTAJE
<b>Muy Bajo</b>	544	5397,84	3,10%
<b>Bajo</b>	1155	11460,48	6,58%
<b>Moderado</b>	6107	60596,70	34,83%
<b>Alto</b>	3489	34619,60	19,90%
<b>Muy Alto</b>	6237	61886,63	35,57%

**Cuadro 20.** Estimación en área de cada uno de los niveles de riesgo presentes en el área de estudio. **Fuente:** El Autor.

Se puede identificar en relación a estos datos obtenidos, la gran presencia de Riesgo Alto Y Riesgo Moderado en el área de estudio con valores de 35,57% y 34,83% respectivamente, lo cual muestra el daño potencial que puede presentarse y el posible que puede ocurrir con relación a los que presentan un moderado riesgo.

Con el fin de obtener mayores resultados con respecto al análisis de los resultados es necesario establecer los tipos de riesgos que se presentan con respecto a la Fase 3 de la metodología:

### **6.5.1. Riesgo Territorial**

Se encuentra en la zona de estudio una pequeña parte del Parque Nacional Natural de los nevados, siendo este integrado en la vulnerabilidad patrimonial. Al observarse y distribuirse los riesgos en los niveles “Altos” y “Muy Altos” se puede encontrar una cantidad de 1177,76 hectáreas presentes en zonas de alto riesgo y 1548,84 en zonas de muy alto riesgo comprendidas en su mayoría en los límites con el municipio de Ibagué. Estos valores siendo muy preocupantes en cuanto a la protección del recurso hídrico, ya que al presentarse conflagraciones en zonas de paramos y el ciclo hidrológico se ve alterado por la reducción de la capa vegetal, así mismo, la fauna endémica desplazada generaría alteraciones irreparables en el ecosistema

### **6.5.2. Riesgo Sociodemográfico**

En relación a los riesgos presentados mediante la densidad de población en el área de estudio, se puede observar la gran vulnerabilidad y amenaza que presenta el municipio de Ibagué, este con relación a los otros intervenidos, se encuentra en una zona de alto riesgo debido a la alta población que presenta, en la categoría de Riesgo Alto, se encuentra un total de 28273,76 hectáreas, las cuales cubren la totalidad de los centros poblados de ‘Buenos Aires’, ‘Llanos del Combeima’ y la parte oriental de la cabecera municipal del municipio de Ibagué, siendo característico que, la presencia de estos riesgos en mayor densidad se encuentran en la zona del abanico de Ibagué. Para la categoría correspondiente al Riesgo Alto, los datos resultantes son muy alarmantes, ya que allí se presentan 62702,61 hectáreas en esta categoría, las cuales cubren la totalidad del centro poblado de ‘Juntas’, ‘Villa Restrepo’, ‘Pastales’, ‘Tapias’, ‘Cay’, ‘Chapetón’, ‘Santa Teresa’, ‘El Cural’ y ‘Carmen de Bulira’. Cabe destacar, que de la totalidad del área del municipio de Ibagué que tiene influencia en el área de estudio, solo 8111,94 hectáreas (99088,31 ha en total del municipio) se encuentran en zonas que oscilan en las categorías de riesgo muy bajo, bajo



y moderado. Por otra parte es también muy perceptible a riesgos a los que está sometido el municipio de Rovira ya que el 48.2% de la totalidad del área de estudio se presenta en zona de 'Riesgo Alto', con un valor en área de 5071.03 hectáreas, cubriendo la totalidad del casco urbano y la cabecera principal de este municipio

### **6.5.3. Riesgo Socioeconómico**

Para la determinación de este tipo de riesgo fue necesario analizar los sistemas productivos presentes en la cuenca del río Coello, para determinar la influencia y posible afectación espacial que se pueda generar en el sitio donde ocurra un incendio forestal, se evaluó el tipo de riesgo alto y muy alto para definir estas zonas y se encontró que la totalidad de estos primeros riesgos se encontraban en el municipio de Ibagué, principalmente en el sitio del abanico de Ibagué, siendo los más afectados los cultivos permanentes (Arroz), ocupando un área total de 8310.8 hectáreas en zonas de alto riesgo; en la parte alta del municipio se observó, unos pequeños relictos dispersos en el municipio de cultivos permanentes arbustivos (Café), las cuales ocupan un área de 385,33 hectáreas en estas zonas de conflicto. Con relación a la clasificación de Riesgo Muy Alto, se evidencian dos coberturas adicionales con relación al riesgo alto, siendo estas las zonas industriales o comerciales y los cultivos transitorios, la primera presentando un área en zona de riesgo muy alto de 102,55 hectáreas, y la segunda correspondiente a 354,67 hectáreas. Se presenta adicionalmente cultivos permanentes (Arroz) siendo el segundo factor más afectado por este tipo de riesgo con 726.12 hectáreas y, se encontró que la actividad productiva más amenazada y vulnerable a presentar un tipo de riesgo muy alto son los cultivos permanentes arbustivos (Café) con 834,15 hectáreas, presentes en zonas de ladera, alta densidad poblacional y condiciones climatológicas adversas que pueden ocasionar conflagraciones que alteren el desarrollo óptimo de los cultivos.

### **6.5.4. Riesgo Ecológico**

En términos ambientales es indispensable observar las zonas boscosas y de vegetación densa que presenten niveles de alto riesgo, y en términos cuantitativos este es uno de los más afectados, para la categoría de Riesgo Alto, se observan un total de siete coberturas presentes en estas zonas: Mosaico de pastos con espacios naturales con un total de 2896,13 hectáreas; Bosque denso con 2641,93 hectáreas; Bosque fragmentado con 745,48 hectáreas; Bosque de galería y ripario con 1686,90 hectáreas; Herbazal con 1869,56 hectáreas; Arbustal con 548,59 hectáreas y la Vegetación secundaria o en transición con 1945,70 hectáreas. Para este tipo de riesgo, cabe resaltar que los principales zonas se encuentran en sitios de piedemonte y planicies distribuidas en la parte oriental de zona de estudio, además se encontró que, la mayor aglomeración de coberturas susceptibles se encontraron en los límites con el parque nacional de los nevados donde se presentan a la fecha grandes cantidades de bosque denso. Para la

determinación de las zonas que presentan un Riesgo Muy alto, se encontraron las mismas coberturas presentes en el riesgo alto, pero a diferencia de este con una mayor cantidad: Mosaico de pastos con espacios naturales con 10142,38 hectáreas; Bosque denso con 17459,41 hectáreas; Bosque fragmentado con 1237,13 hectáreas; Bosque de galería y ripario con 4157,98 hectáreas; Herbazal con 616,48 hectáreas; Arbustal con 599,48 hectáreas y la Vegetación secundaria o en transición con 1972,16 hectáreas. Es muy preocupante observar la gran cantidad de área de Bosque denso que se encuentra en zonas de muy alto riesgo, las cuales se encuentran principalmente en la parte alta del municipio de Ibagué donde se presentan condiciones topográficas bastante complejas, pocas vías de acceso y situaciones climáticas adversas, esto presente en las cabeceras de Juntas, Villa Restrepo, Chapetón y Cay.

#### **6.5.5. Riesgo Institucional**

Gracias a la densidad de población se genera alteración en relación a la disponibilidad institucional, ya que como se ilustra en el apartado 5.4.7., la zona menos vulnerable por presencia institucional es el municipio de Ibagué, la cual ya observando el mapa final de riesgos muestra datos completamente diferentes, cubriendo la totalidad del municipio en zonas de alto y muy alto riesgo, se puede apreciar entonces en situaciones más reales, el riesgo presentado en los municipios de Rovira y Coello, donde se presentan organismos de socorro elementales (bomberos, cruz roja) al momento de presentarse un evento de gran magnitud la capacidad de acción de ellos no da para cubrir y extinguir dicho evento, por lo que la ayuda es enviada desde la capital del departamento del Tolima, para el municipio de Rovira se encuentran en zonas de 'Alto Riesgo' un total de 5071.03 hectáreas, las cuales es recomendable actuar de manera oportuna y con la cantidad de organismos necesarios para mitigar estas conflagraciones de forma rápida. Por otra parte el municipio de Coello no presenta una distribución del riesgo en bloque como se presenta en el municipio de Rovira, se presenta cierta dispersión de las zonas más susceptibles con un total presentado en la categoría de 'Riesgo Alto' de 1008,83 hectáreas, presentes en una de las zonas que colindan con las de riesgo muy alto, lo que quiere decir que el potencial negativo que allí presentan es muy alarmante.

## 7. CONCLUSIONES

- El área de estudio en cuestión presenta gran extensión en cuanto a la presencia de posibles incendios de la cobertura vegetal, la cual predomina considerablemente la categoría de 'Muy Alto Riesgo' presentando un total general de 62981,11 hectáreas, comprendiendo casi la totalidad del municipio de Ibagué con un total de afectación de 62702,61 hectáreas. Cabe destacar que los demás municipios intervenidos en el área de estudio, presentan valores relativamente bajos con relación a este primero, donde el que más presenta es Rovira con 99,55 hectáreas. El efecto de borde con los límites municipales genera que se presenten unos pocos pixeles en estos sectores, aumentando la distribución de los mismos pero mostrando así un alentador panorama para los municipios aledaños a la capital del departamento.
- La capital del departamento presenta los mayores niveles de alto riesgo a presentar incendios forestales, al presentar tan solo en esa categoría un total del 35,53% del área de estudio. Esto se debe principalmente a la alta vulnerabilidad que presenta el municipio en cuanto a la gran densidad de población que tiene con relación a los demás municipios, otro factor predominante el cual afecta y aumenta la ocurrencia de los incendios forestales es con relación a las condiciones climatológicas, donde la capital del departamento ha sido una de las más afectadas en la última década, donde se han alcanzado temperaturas máximas promedio de 29.1°C, así mismo los periodos más secos del año comprenden los meses de Enero – Febrero con una precipitación promedio de 86,15mm y los meses de Julio – Agosto con un promedio de 82,55mm. Estos factores junto con la presencia del fenómeno del niño influyen drásticamente en la aparición y propagación de incendios de la cobertura vegetal.
- Para los municipios de Cajamarca, San Luis, Coello, Piedras y Espinal, se observa una clasificación del riesgo en la categoría de Moderado, la cual representa para estos municipios el 28,53% del área de estudio, Esto se da en relación a que uno u otro sector presenta grandes cantidades de carga y tipo de combustibles pero una muy baja duración de combustibles, en el sentido contrario también se cumple esta relación de riesgo moderado, haciendo que estos municipios tengan un alto potencial de alerta a la presencia de incendios a futuro, y se puedan definir planes de acción para evitar desastres.
- En la poca proporción del municipio de Flandes que se presentó en el área de estudio, esta fue la única subzona con una predominancia en cuanto a un nivel de riesgo de menor nivel, aquí se encontraron un total de 142,10 hectáreas, esto se debe a la baja densidad poblacional que allí se presenta, y solo la

presencia de cultivos que pueden combustir fácilmente, pero que no cuenta con gran cobertura boscosa donde predomine la ignición.

- Gracias a la heterogeneidad en cuanto a las coberturas y usos del suelo que se presenta en el área de estudio, el grado de amenaza y vulnerabilidad se ve muy alto, los cambios de usos del suelo que estaban destinados para áreas protectoras se observan reducidos y aislados por coberturas de pastizales, arbustos y matorrales, lo que genera un aumento en los niveles del riesgo siendo estos los principales combustibles a la hora de presentarse un incendio forestal
- La aplicación de las Tecnologías de Información Geográfica para gestionar el territorio y realizar en este caso una respectiva zonificación de riesgos a incendios forestales, muestra la gran importancia de estas herramientas cuando son integradas información depurada y de calidad con personal capacitado a la hora de integrar variables y algoritmos para definir y generar conocimiento

## 8. RECOMENDACIONES

- Es indispensable realizar las respectivas verificaciones de la información en campo, en este sentido, la normalización de los datos se debe realizar de acuerdo a las consideraciones realizadas en terreno, es indispensable en términos de coberturas identificar los tipos de combustibles, duración de combustibles y cargas de combustibles con análisis de laboratorio y pruebas de ignición en campo, así como la actualización de las coberturas existentes en la cartografía básica y temática que se disponga
- Es indispensable a la hora de generar cartografía que involucre el uso e identificación actual de la tierra, que 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 con el fin de evitar, cubrir zonas innecesarias y ahorrar costos en planes de manejo.
- Es recomendable agotar todos los recursos posibles a la hora de solicitar información a las entidades encargadas de llevar las estadísticas de incendios en el departamento, la negligencia de los mismos organismos genera vacíos en la información secundaria que se obtuvo y hace más difícil la presentación de resultados más concretos
- El potencial de la información tomada en esta cuenca es muy grande, por tal razón es recomendable generar la cartografía a nivel departamental de la zonificación de riesgos a incendios forestales, integrando a las diferentes entidades estatales de gestión del riesgo, la corporación autónoma del departamento y el IDEAM.

## BIBLIOGRAFÍA

Academia Nacional de Bomberos de Argentina [ANBA] (2006). *Manual 1er. Nivel* (Primera ed., pp. 51-53). Buenos Aires. Recuperado el 3 de Mayo de 2017, de [http://scoutsanpatricio.com.ar/libros/bomberos\\_03.pdf](http://scoutsanpatricio.com.ar/libros/bomberos_03.pdf)

[1] Alvarez Rogel, Y. (2000). *Aplicación de tecnología SIG en el estudio del riesgo y prevención de incendios forestales en el área de Sierra Espuña - Gebas (Región de Murcia)* (Doctorado). Universidad de Murcia.

Blaikie, P. (1996). *Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres*. Soluciones Prácticas.

Cardona, O. D. (1993). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. En: A. Maskrey (ed.) *Los desastres no son naturales*, 51-74.

Centro de Estudios Agrarios y Ambientales [CEA] (2013). *Zonificación de ecosistemas*. Recuperado el 4 de Mayo del 2017, de <http://www.ceachile.cl/zonificacion.htm>

Chardon, A. C., & González, J. L. (2002). *Amenaza, Vulnerabilidad, Riesgo, Desastre, Mitigación, Prevención. Primer acercamiento a conceptos, características y metodologías de análisis y evaluación*. IDEA.

Comisión Nacional Forestal (2010). *Incendios Forestales, guía práctica para comunicadores*. (Tercera edición), 6-8. Recuperado el 3 de Mayo de 2017 de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20para%20comunicadores%20-%20Incendios%20Forestales.pdf>

Congreso de Colombia (2012). *Ley 1523 del 24 de Abril de 2012 - Gestión del riesgo, responsabilidad, principios, definiciones y Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres* (pp. 2-6)

Corporación Autónoma Regional del Cesar [CORPOCESAR] (2011), *Mapa de riesgo por incendios forestales en el departamento del Cesar*. Recuperado el 16 de Mayo del 2017 de [https://www.corpocesar.gov.co/files/INFORME%20FINAL%20MRIF\\_CESAR.pdf](https://www.corpocesar.gov.co/files/INFORME%20FINAL%20MRIF_CESAR.pdf) pp. 37

Environmental Systems Research Institute [ESRI] (2017) *¿Qué es una geodatabase? ArcGIS Help*. Recuperado el 29 de Mayo del 2017 de, <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/geodatabases/what-is-a-geodatabase.htm>

- FAO. (2005). *Situación de los bosques del mundo, 2005*. Food & Agriculture Org.
- FAO. (2007) *La pérdida de bosques se ralentiza a nivel mundial*. (2007). Recuperado el 16 de Abril de 2017, de <http://www.fao.org/Newsroom/es/news/2007/1000506/index.html>
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. Fecha de consulta 26/06/2017 disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- Faustino Manco, J., & Jiménez Otárola, F. (2000). *Manejo de cuencas hidrográficas*. (p.3)
- Gobernación del Tolima, (2002). *Programa Forestal Para el Departamento del Tolima* (p. 19). Ibagué.
- Gobernación del Tolima. (2015). *Incendios forestales en el Tolima han consumido más de 8 mil hectáreas, autoridades se mantienen en alerta máxima*. Recuperado el 16 de Abril del 2017, de [http://tolima.gov.co/publicaciones/11822/incendios\\_forestales\\_en\\_el\\_tolima\\_han\\_consumido\\_mas\\_de\\_mil\\_hectareas\\_autoridades\\_se\\_mantienen\\_en\\_alerta\\_maxima](http://tolima.gov.co/publicaciones/11822/incendios_forestales_en_el_tolima_han_consumido_mas_de_mil_hectareas_autoridades_se_mantienen_en_alerta_maxima)
- Incendios forestales. (2015). *Gobierno del estado de Jalisco*. Recuperado el 2 de Mayo del 2017, de <http://incendios.semadet.jalisco.gob.mx/conceptos>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC] (2015). *Formatos y escalas de mapas*. Recuperado el 21 de Junio del 2017 disponible en [http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/AreasEstrategicas!/ut/p/c4/04\\_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hHT3d\\_JydDRwN3t0BXA0\\_vUKMwf28PlwMzE\\_2CbEdFAPsOM0s!/?WCM\\_PORTLET=PC\\_7\\_AIGOB1A08FQE0IKHRGNJ320A0\\_WCM&WCM\\_GLOBAL\\_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Web++Areas+Estrategicas/Areas+Estrategicas/Areas+Estrategicas/Subdireccion+de+Geografia+y+Cartografia/Formatos+y+Escalas+de+Mapas/](http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/AreasEstrategicas!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hHT3d_JydDRwN3t0BXA0_vUKMwf28PlwMzE_2CbEdFAPsOM0s!/?WCM_PORTLET=PC_7_AIGOB1A08FQE0IKHRGNJ320A0_WCM&WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Web++Areas+Estrategicas/Areas+Estrategicas/Areas+Estrategicas/Subdireccion+de+Geografia+y+Cartografia/Formatos+y+Escalas+de+Mapas/)
- Instituto Geográfico Nacional. (2008), Bases Geográficas, pp2. Recuperado el 28 de Mayo de 2017 de <http://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/CBG-BD.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática [INEGI] (1993). *Modelo De Datos Vectoriales*. Recuperado el 28 de Mayo de 2017 de [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/doc/mod\\_datos\\_vec.pdf](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/doc/mod_datos_vec.pdf)
- MAVDT. (2010). *Los Incendios Forestales en Colombia*. (p. 8). Bogotá.
- Ministerio de Educación (MINEDUCACION), (2014). ¿Qué es un SIG? Bogotá, Colombia. Recuperado el 16 de Abril de 2017 <http://www.mineducacion.gov.co/1621/article-190610.html>

[Misión Sucre, \(2016\). Amenazas, vulnerabilidades, riesgos, emergencias y desastres. Recuperado el 12 de Mayo del 2017, de https://pcsucre.jimdo.com/amenazas-vulnerabilidades-riesgos-emergencias-y-desastres/](https://pcsucre.jimdo.com/amenazas-vulnerabilidades-riesgos-emergencias-y-desastres/)

Pizarro, R., Ausensi, P., Aravena, D., & Sangüesa, C. (2005). *Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones pluviográficas de la VII de Maule*. Pp 3-4

Puebla, J. G., & Gould, M. (1994). *SIG: Sistemas de información geográfica*. Cap 3, pp 55-64

Rico, R., (2011). *Plan de contingencia para incendios forestales municipio de Ibagué – Tolima*. Pp 2.

Valencia, J. E. G. (2006). Propuesta metodológica basada en un análisis multicriterio para la identificación de zonas de amenaza por deslizamientos e inundaciones. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 5(8), 59-70.