

**ZONIFICACIÓN DE AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES EN EL  
DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

**FRANKLIN CORAL CHACON  
JUAN PABLO CHAMORRO BENAVIDES**



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN  
GEOGRÁFICA  
MANIZALES  
2016**

**ZONIFICACIÓN DE AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES EN EL  
DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

**FRANKLIN CORAL CHACON  
JUAN PABLO CHAMORRO BENAVIDES**

Trabajo de Grado para optar al título de Especialista en Sistemas de Información  
Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN  
GEOGRÁFICA  
MANIZALES  
2016**

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>1. OBJETIVO .....</b>	<b>12</b>
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	12
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	12
<b>2. JUSTIFICACION.....</b>	<b>13</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
3.1. INCENDIO DE LA COBERTURA VEGETAL .....	14
3.1.1. Amenaza .....	14
3.1.2. Susceptibilidad de la vegetación frente a los incendios de la cobertura vegetal .....	15
3.1.3. Vulnerabilidad .....	15
3.1.4. Riesgo .....	16
3.2. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA. ....	16
3.3. LA ESTRUCTURA DE LOS SIG.....	17
3.4. CLASIFICACION DE THORNTHWAITE .....	17
3.5. LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC).....	19
3.5.1. Método de Jerarquías Analíticas de Saaty (Analytical Hierarchy Process, AHP) .....	19
3.5.2. Sumatoria lineal ponderada (Weighted Linear Combination- WLC) .....	22
3.6. NORMATIVIDAD EN INCENDIOS FORESTALES.....	23
3.7. GENERALIDADES DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA .....	25
3.7.1. Localización geográfica .....	25
3.7.2. Caracterización biofísica y socioeconómica.....	26
3.7.2.1. Clima .....	26
3.7.2.2. Fisiografía .....	27
3.7.2.3. Eco Regiones.....	27
3.7.2.4. Hidrografía .....	30
3.7.2.5. Actividades Económicas .....	30
3.7.2.6. Vías de Comunicación Cauca .....	31
3.7.3. Cobertura vegetal .....	31
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>33</b>
4.1. MODELO CONCEPTUAL .....	33
4.1.1. IDENTIFICACIÓN Y OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA NECESARIA.....	34
4.1.2. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA .....	35
4.1.2.1. Selección de factores.....	35
4.1.2.2. Normalización y valoración de las categorías de los factores .....	35
4.1.2.3. Proceso de Evaluación Multicriterio (EMC).....	36
4.1.2.4. Sumatoria lineal ponderada (SLP) .....	36
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
5.1. MAPA DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA .....	37
5.1.1. Selección de factores .....	37
5.1.1.1. Factor de Accesibilidad.....	37
5.1.1.2. Factor de Cobertura vegetal .....	38
5.1.1.3. Factor de Relieve.....	39

5.1.1.4. Factor de Insolación .....	40
5.1.1.5. Factor de Índice de aridez (Exceso hídrico anual) .....	41
5.1.2. Normalización y valoración de las categorías de los factores .....	42
5.1.2.1. Mapa vial.....	43
5.1.2.2. Cobertura vegetal .....	44
5.1.2.3. Grado de la pendiente.....	45
5.1.2.4. Insolación .....	45
5.1.2.5. Índice de aridez .....	46
5.1.3. Proceso de Evaluación MultiCriterio (EMC) .....	47
5.1.4. Sumatoria Lineal Ponderada (SLP) .....	48
5.1.5. Mapa final de zonificación de amenaza a incendios forestales en el Departamento del Cauca	48
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>51</b>
<b>6. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>54</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>56</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Índice de aridez según el Tipo y condición de humedad .....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 2. Escala de medida establecida para la asignación de juicios de valor .....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 3. Insumos cartográficos.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 4. Asignación de valores por reclasificación, Criterio – factor: Mapa vial.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 5. Asignación de valores por reclasificación, Criterio – factor: Mapa de cobertura vegetal.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 6. Matriz de comparación por pares, Factores.....</i>	<i>48</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Localización geográfica del área de estudio .....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 2. Flujograma operacional.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3. Mapa vial del Departamento del Cauca .....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4. Cobertura vegetal del Departamento del Cauca.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 5. Grado de la pendiente del Departamento del Cauca.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 6. Mapa de Insolación del Departamento del Cauca.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 7. Mapa de Exceso hídrico del Departamento del Cauca.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 8. Mapa vial reclasificado.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 9. Mapa de cobertura vegetal reclasificado.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 10. Función de pertenencia difusa para el mapa de insolación.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 11. Mapa de Insolación con pertenencia difusa.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 12. Función de pertenencia difusa para el mapa de insolación.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 13. Mapa de Insolación con pertenencia difusa.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 14. Función de pertenencia difusa para el mapa de exceso hídrico .....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 15. Mapa de exceso hídrico anual con pertenencia difusa .....</i>	<i>47</i>

*Figura 16. Mapa de zonificación de amenaza a incendios forestales en el Departamento del Cauca..... 50*

## RESUMEN

El presente estudio es una iniciativa que intenta implementar una metodología basada en la integración de la Geomática y las Técnicas de Evaluación MultiCriterio para obtener un mapa de zonificación de amenaza a incendios forestales en el Departamento del Cauca, que sirva como marco de referencia para la gestión del riesgo; Para esta labor es de vital importancia los diferentes procedimientos y herramientas propias que brindan las aplicaciones de los Sistemas De Información Geográfica.

Los resultados del presente trabajo se ven reflejados en mapas temáticos que interrelacionados permiten analizar la problemática planteada en el trabajo; esta cartografía está a escalas 1: 1.500.000 (Plasmados en el trabajo).

La problemática se abordó a partir de un análisis previo de los temas que se consideran tienen influencia directa ya sea en la ocurrencia o en la propagación del fuego, la selección de factores como el relieve, cobertura vegetal, accesibilidad, insolación e índice de aridez, estos permitieron obtener el mapa de zonificación de amenaza a incendios forestales en el Departamento del Cauca, donde cada uno de los factores se representaron a través de mapas de estructura raster, posteriormente el mapa vial y el mapa de cobertura vegetal fueron reclasificados en rangos de 0, 85, 170 y 255; los mapas del grado de la pendiente, insolación y exceso hídrico anual fueron reclasificados por pertenencia difusa, posteriormente se construyó una matriz de comparación por pares de criterios llamada Regla de Decisión Multi-Criterio Estructurada, con el fin de calcular los pesos relativos de cada uno de los factores, para luego utilizarlos en una Sumatoria Lineal Ponderada para finalmente generar el mapa de zonificación de amenaza para incendios forestales en el Departamento del Cauca, los números digitales obtenidos fluctúan en un rango de 38 a 255, donde el número digital 38, corresponde a las áreas con menor grado de amenaza a presentar un incendio forestal y el número digital 255 corresponde a las áreas con mayor grado de amenaza a presentar un incendio forestal, obteniendo mayor amenaza en las eco-regiones: Altoandina fría, interandina media y valles interandinos, y menor amenaza en las ecoregiones: Marino litoral, Bota Cauca, Chocó Biogeográfico, páramo, bosque de niebla y zonas nivales.

**PALABRAS CLAVES:**

Geomática  
Técnicas de Evaluación MultiCriterio,  
Amenaza, incendios forestales,  
Cobertura vegetal,  
Accesibilidad,  
Insolación e Índice de aridez,  
Método de Jerarquías Analíticas,  
Regla de Decisión Multi-Criterio Estructurada,  
Sumatoria Lineal Ponderada.

## **ABSTRACT**

This study is an initiative that tries to implement a methodology based on the integration of Geomatic and Techniques multicriteria evaluation for a zoning map risk to forest fires in the Department of Cauca serve as a framework for management risk.

The issue was addressed from a previous analysis of the issues considered directly influence either the occurrence or spread of fire, selection of factors such as degree of slope, vegetation coland, Accessibility , insolation and Aridity Index, allowed to obtain a zoning map risk to forest fires in the Department of Cauca.

The issue was addressed from a previous analysis of the issues considered directly influence either the occurrence or spread of fire, selection of factors such as relief, vegetation cover, accessibility, sunstroke and aridity index, allowed to obtain the zoning map of threat to forest fires in the department of Cauca, where each of the factors is represented through maps of raster structure, then the road map and the map of vegetation cower were reclassified in ranges of 0, 85, 170 and 255; maps the degree of slope, insolation and annual water excess were reclassified by fuzzy membership, then a comparison matrix is constructed by pairs of criteria called Decision Rule Multi-Criteria Structured in order to calculate the relative weights of each factor, then use a weighted linear Sumatoria that generate the zoning map of threat to forest fires in the department of Cauca, digital numbers obtained fluctuate within a range of 38 to 255, where the digital number 38 corresponds to areas with lower degree of threat to present a forest fire and the digital number 255 corresponds to the areas most threatened to file a wildfire, obtaining greater risk ecoregions: cold Altoandina, average inter-and inter and lower valleys risk ecoregions: Ocean coast, Boot Caucana, Chocó, moor, cloud forest and nivales areas.



**KEY WORDS:**

Geomatics, multicriteria evaluation techniques, Threat, forest fires, management, Landform, vegetation cover, Accessibility, insolation and aridity index, Analytical Method Hierarchies, Rule Multi-Criteria Decision Structured Linear Weighted Summation.

## INTRODUCCIÓN

Los acelerados cambios observados en los diferentes campos de la humanidad, producto de la globalización están obligado a que tanto las personas, las organizaciones e instituciones gubernamentales, estén al mismo ritmo, se requiere por tanto que el manejo y almacenamiento de la información sea de forma integral, cuando más completa y actualizada sea la información mayores serán los beneficios; Los SIG (Sistemas de Información Geográfica) nos permite almacenar e interrelacionar diferente información como la cartográfica, que para este caso fueron mapas georreferenciados (mapa vial, cobertura vegetal, mapa pendiente, mapa de insolación) para la generación del mapa de amenaza por incendios en el departamento del Cauca el cual sea un aporte a que los recursos naturales se mantengan.

Según la (FAO, 2011), el área total de bosques en el mundo al año 2010, asciende a algo más de 4000 mil millones de hectáreas, que corresponden al 31% total de la tierra y la mayoría de las pérdidas se tienen en países tropicales.

Los Organismos internacionales como FAO y ONU entre otros están llamando la atención, frente a la incidencia de los incendios forestales a nivel global, dado los impactos y la contribución al cambio climático del planeta.

A nivel mundial los incendios tiene principalmente causas antrópicas, que se magnifican con el cambio climático, muchos países reportan presencia anualmente de estos eventos, se recuerda los ocurridos en Rusia en el 2010 en el que se quemaron más de 2 millones de hectáreas.

Colombia según el (IDEAM, 2010), tiene una superficie de bosques de 61.246.659 hectáreas, distintos son los motores de pérdidas de los mismos entre los cuales aportan los incendios forestales que cada año afectan un promedio de 42.000 hectáreas (MAVDT, 2010).

La afectación a la biodiversidad es de gran magnitud y aunado con el fenómeno del Niño se hace la situación más grave, se tiene recordación en Colombia de los incendios ocurridos con

la presencia de este fenómeno, los años 1972, 1973, 1991-1992, 1997; 1998, 2007 y 2009-2010. Los bosques son de gran importancia en la vida, ya que proveen bienes y servicios de incalculable valor y se constituyen en elementos fundamentales para la sostenibilidad del planeta; los eventos de incendios forestales afectan cada año los mismos lugares con mayor severidad y en tal sentido se hace necesario trabajar las causas que los afectan.

En el año 2015 el Departamento del Cauca presentó aproximadamente 1350 incendios forestales que afectaron 10.000 hectáreas de bosques nativos de todo el departamento y se mantuvo bajo la declaratoria de emergencia a 15 municipios; para ese momento, 600 personas entre bomberos, defensa civil, policía, ejército, fuerza aérea y la comunidad en general trabajaron para extinguir incendios en los municipios Caucanos de Caldon y Sucre, se mantuvieron bajo control de conflagraciones los municipios de Popayán, Morales, Suárez, Piendamó y Jambaló.

Abordar este tipo de problemáticas es de necesaria vital importancia, ya que en el Departamento del Cauca no cuenta con bases de datos ni con herramientas que registren cada uno de los eventos ocurridos por incendios forestales, que permitan evaluar el impacto ambiental ocurrido y posteriormente tomar medidas adecuadas para ayudar a la regeneración de la vegetación; además proponer más estudios de amenaza a incendios forestales, que permitan identificar áreas prioritarias para la gestión del riesgo.

## **1. OBJETIVO**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Obtener un mapa de zonificación de amenaza por incendios forestales en el Departamento del Cauca que permita establecer áreas prioritarias como marco de referencia para la gestión del riesgo.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Identificar los principales factores de riesgo para la determinación de la amenaza a incendios forestales.
- Desarrollar una metodología basada en la integración de la Geomática y las Técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC), para la zonificación de la amenaza a incendios forestales.
- Obtener zonas de amenaza a incendios forestales que sirvan como marco de referencia para la gestión del riesgo.

## 2. JUSTIFICACION

El presente estudio es una iniciativa que como geógrafos podamos identificar la necesidad de los territorios en diversas escalas ya sea local, regional o nacional que al integrar y aplicar las tecnologías apropiadas que en este caso son los SIG para la generación de cartografía e intenta implementar una metodología basada en la integración de la Geomática y las Técnicas de Evaluación MultiCriterio para obtener un mapa de zonificación de amenaza a incendios forestales en el Departamento del Cauca que sirva como marco de referencia para la gestión del riesgo.

La vinculación e interrelación de la diferente cartografía obtenida en este trabajo permitirá a las diferentes administraciones de orden municipal así como de orden departamental tomar decisiones sobre el territorio e integrar a los planes del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo (SNGR).

Determinar la amenaza de ocurrencia de incendios forestales es de gran importancia, ya que estos son conceptuados como el factor de perturbación que más daño causa a los ecosistemas, convirtiéndose en una verdadera amenaza para la biodiversidad, en este sentido, se planteó el presente estudio ya que según LA GOBERNACION DEL CAUCA, el 86,6% del territorio caucano, corresponden a ecosistemas estratégicos y biodiversos entre los que se encuentran: Pacífico (Choco Biogeográfico), Piedemonte Amazónico (Bota Caucana), Cuenca Río Páez (Tierradentro), Macizo colombiano, Páramo y Subpáramo todos estos de gran fragilidad.

Este estudio tiene la finalidad responder a lo establecido en el Plan Nacional de Prevención, Control de Incendios Forestales y Restauración de las Áreas Afectadas al igual que el Plan Nacional de Desarrollo Forestal, que en el Subprograma Protección en Incendios Forestales tiene como meta la formulación de 33 Planes de Contingencia contra Incendios Forestales a nivel regional y 500 a nivel local.

### **3. MARCO TEÓRICO**

La integralidad del manejo de la información es un componente primordial para el desarrollo de las instituciones en la actualidad, la información en cuanto más actualizada y de ágil manejo sea, se verá reflejada en el cumplimiento de metas y satisfacción del ciudadano con la institucionalidad. La implementación de sistemas organizados de información de una manera fácil y eficiente, hace que los SIG tengan repercusiones positivas en cuanto a la toma de decisiones de una manera rápida y concisa de quienes lo requieran.

A Continuación se establece el marco conceptual para la zonificación de amenaza a incendios forestales en el Departamento del Cauca.

#### **3.1. INCENDIO DE LA COBERTURA VEGETAL**

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

##### **3.1.1. Amenaza**

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

Según (IDEAM, 2011) Peligro latente que representa la posible manifestación de un fenómeno particular (en este caso, un incendio de la cobertura vegetal), de origen natural, socio-natural o antropogénico, en un territorio particular, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios y el ambiente.

### **3.1.2. Susceptibilidad de la vegetación frente a los incendios de la cobertura vegetal**

Según (IDEAM, 2011) Características intrínsecas de la vegetación y los ecosistemas (carga de combustibles, disposición y combustibilidad), que le brindan cierto grado de probabilidad de incendiarse, propagar y mantener el fuego. Hace parte de la amenaza.

Los incendios forestales han conllevado a la alteración de los ecosistemas con cobertura vegetal, transformándolos y disminuyendo la biodiversidad y como consecuencia comprometiendo su capacidad productiva alterando también la aparición o desarrollo de nuevas especies.

Los incendios de la cobertura vegetal pueden ser considerados como perturbaciones ecológicas de efectos discretos o difusos graves o destructivos producidos por fuego de origen natural o antrópico los cuales se desarrollan sin control ni límites preestablecidos sobre terrenos con alguna clase de cobertura vegetal.

### **3.1.3. Vulnerabilidad**

Según (IDEAM, 2011) Predisposición de un elemento a ser afectado, a sufrir daño y de encontrar dificultad de recuperarse. Corresponde a la probabilidad de afectación física, económica, política o social que tiene una comunidad o un grupo de elementos de sufrir efectos adversos en el caso de que se presente un fenómeno peligroso de origen natural o antrópico.

La propuesta interpreta la vulnerabilidad ante un incendio de la cobertura vegetal a partir de la población, los valores de protección de infraestructuras e instalaciones, las actividades económicas, el patrimonio natural, histórico y cultural y la acción institucional así como algunos aspectos territoriales y ecosistémicos.

En el caso específico de la vegetación y de los ecosistemas, la vulnerabilidad se expresa como la susceptibilidad física dada por las características propias que tiene la vegetación (adaptaciones de los ecosistemas al fuego), a sufrir daños o ser afectada por factores externos, como de resistir y de recuperarse ante un incendio.

#### **3.1.4. Riesgo**

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

En su forma más simple el riesgo se postula como el resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos. Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, es decir, el total de pérdidas esperadas y consecuencias en un área determinada.

Es importante enfatizar que la cobertura vegetal como factor de riesgo hace parte tanto de la amenaza, en cuanto provee la carga de combustible, como de la vulnerabilidad en tanto es afectada por la ocurrencia de un incendio.

#### **3.2. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA.**

Los sistemas de información geográfica son las relaciones entre software y hardware que conjuntamente crean correlación para que las personas que los manipulan puedan capturar, administrar, moldear y graficar información de objetos específicos espacialmente, cuyo objetivo sea dar soluciones a ciertas problemáticas requeridas por los usuarios. Los SIG se han ido desarrollando de una forma rápida y variada con una constante evolución que hace que la información geográfica vaya ampliando las opciones tecnológicas que permitan acceso a la información desde diferentes plataformas.

La información que utilizamos en los SIG puede ser almacenada en diferentes software encargados del procesamiento de los datos, que son representado en un conjunto de puntos, líneas, polígonos y áreas que en un conjunto generan una imagen para ser analizada.



### **3.3. LA ESTRUCTURA DE LOS SIG.**

Las principales funciones de las herramientas SIG es el almacenar, manipular, analizar y desplegar información geográfica deseada de una manera adecuada, para lograr un trabajo conjunto de dicha información; existen unos componentes principales los cuales son:

- **Recurso humano:** es el componente principal, primario o primordial de los SIG ya que es el encargado de operar, almacenar, desarrollar, administrar y definir el para qué o hacia dónde va la información que se está procesando.
- **Datos:** es la recolección de información que pueden ser adquiridos por personal que este manipulando o vaya a manipular, puede ser información primaria secundaria o terciaria.
- **Herramientas:** es la parte primordial del hardware y software que permite analizar y modificar los datos de una manera ordenada al mismo tiempo desplegar dicha información mediante las interfaces graficas de uso fácil al usuario.
- **Procesos:** son los componentes encargados de definir el despliegue de la información realizando la interrelación de los datos con las herramientas que serán realizados por el sistema.

### **3.4. CLASIFICACION DE THORNTHWAITE**

Según (Almorox, J., 2013) La clasificación de Thornthwaite (1949) ha sido ampliamente asumida dadas las aportaciones de su autor al edafoclima e hidrología, desde una perspectiva geográfica.

Basada en la consideración de la eficacia térmica, dada por la ETP (Evapotranspiración Potencial) del mismo autor, y la humedad disponible, expresada como índices de humedad y

de aridez a partir del balance hídrico. El autor utiliza sus trabajos previos en la estimación de la ETP y el balance de humedad del suelo. Supone un gran avance respecto a otras clasificaciones ya que parte del clima que afecta al suelo y al planeta, es decir, la evaporación, la transpiración y el agua disponible en el suelo; en vez de medias mensuales de parámetros meteorológicos clásicos.

Esta clasificación define unos tipos según la humedad (representados por letras mayúsculas) y su variación estacional (letras minúsculas), y otros tipos según la eficacia térmica (letras mayúsculas con comilla) y su concentración estival (letras minúsculas con comilla).

El tipo de humedad está basado en un índice de humedad global que combina dos índices, uno de humedad y otro de aridez. Para su definición es necesario realizar un balance hídrico mediante el método directo y con reserva máxima climática de 100 mm. El índice de humedad se define como el conjunto de los excesos de agua ( $E_x$ ; según un balance hídrico directo con reserva máxima de 100 mm) en porcentaje respecto a la ETP anual, es decir:

$$I_h = 100 \cdot \sum X_{iI} = \sum E_{xi} / ETP$$

El índice de aridez se define como el porcentaje de la falta de agua ( $F$ ) de los distintos meses respecto a la ETP del año, es decir:

$$I_a = 100 \cdot \sum F_{iI} = \sum F_i / ETP$$

El índice de humedad global se define como el porcentaje de excesos menos el 60 % del porcentaje de falta de agua, es decir:

$$I_m = I_h - [0,6 \cdot I_a]$$

A partir de estos índices se define el tipo de humedad según las siguientes condiciones (Tabla 1).

**Tabla 1. Índice de aridez según el Tipo y condición de humedad**

TPO	DESCRIPCION	CONDICION
E	Árido	$-40 \geq Im > -60$
D	Semiárido	$-20 \geq Im > -40$
C <sub>1</sub>	Seco subhúmedo	$0 \geq Im > -20$
C <sub>2</sub>	Subhúmedo	$20 \geq Im > 0$
B <sub>1</sub>	Húmedo	$40 \geq Im > 20$
B <sub>2</sub>		$60 \geq Im > 40$
B <sub>3</sub>		$80 \geq Im > 60$
B <sub>4</sub>		$100 \geq Im > 80$
A	Perhúmedo	$Im > 100$

### 3.5. LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC)

La Evaluación MultiCriterio (EMC) puede definirse como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones. El fin básico de las técnicas de EMC es “investigar un numero de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflictos”. Según eso es posible “generar soluciones compromiso y jerarquizaciones de las alternativas de acuerdo a su grado de atracción” (Janssen & Rietveld, 1999).

La toma de decisiones MultiCriterio se puede entender como un “mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los centros decidores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, en base a una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) de acuerdo a varios criterios. Estos criterios pueden representar diferentes aspectos de la teología: objetivos metas, valores de referencia, niveles de aspiración o utilidad” (Colson & De Bruyn, 1989).

#### 3.5.1. Método de Jerarquías Analíticas de Saaty (Analytical Hierarchy Process, AHP)

El Método de las Jerarquías Analíticas (MJA) parte de establecer una matriz cuadrada en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de factores a ponderar, así se establece una matriz de comparación entre pares de factores, comparando la importancia de uno sobre cada uno de los demás ( $a_{ij}$  - Cada criterio está representado por una función de utilidad  $u_j$  ( $a_i$ ) que, para el criterio  $j$ , el decisor, estima tiene la alternativa  $i$ , la recoge la evaluación  $a_{ij}=u_j(a_i)$  de la matriz de decisión. Cada valor  $a_{ij}$  proviene, bien de la construcción

de una verdadera función de utilidad). Posteriormente se determina el vector propio (eigenvector) principal, el cual establece los pesos ( $W_j$ ), estos pesos también se conocen como ranking u orden de prioridad de los factores y el vector valor (eigenvalor) que proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores (Saaty T. , 1980).

La escala de medida<sup>1</sup> establecida para la asignación de los juicios de valor ( $a_{ij}$ ) es una escala de tipo continuo (cocientes) que va desde un valor mínimo de 1/9 hasta 9, definida por Saaty T., citado por (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2006), respectivamente, como extremadamente menos importante (1/9) hasta extremadamente más importante (9), indicando el valor 1 igualdad en la importancia entre pares de factores.

Basándonos en esta escala (Tabla 2), podemos asignar a cada par de factores ( $a_{ij}$ ) un juicio de valor de importancia relativa frente a una actividad propuesta. Se hace notar que en el presente estudio se diseñaron las encuestas, repartidas a los expertos, con esta escala.

**Tabla 2. Escala de medida establecida para la asignación de juicios de valor**

Intensidad	Definición	Explicación
9	Extremadamente importante	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra, es absoluta y totalmente clara.
7	Fuertemente importante	Una actividad es mucho más favorecida que la otra; su predominancia se demostró en la práctica.
5	Moderadamente importante	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra.
3	Ligeramente importante	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra.
1	De igual importancia	Dos actividades contribuyen de igual forma al cumplimiento del objetivo.
1/3	Ligeramente menos importante	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra.
1/5	Moderadamente menos importante	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra.
1/7	Fuertemente menos importante	Una actividad es mucho más favorecida que la otra; su predominancia se demostró en la práctica.

<sup>1</sup> De esta forma es posible integrar el pensamiento lógico con los sentimientos, la intuición (que es reflejo de la experiencia), etc. Los juicios que son ingresados en las comparaciones por pares responden a estos factores.

1/9	Extremadamente menos importante	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra, es absoluta y totalmente clara.
-----	---------------------------------	--

**Fuente:** (Saaty T. , 1997)

**Nota:** Los valores intermedios 2, 4, 6 y 8, son usados como valores de consenso entre dos juicios.

Los valores recíprocos 1/2, 1/4, 1/6 y 1/8.

El procedimiento que se utilizará en este estudio para obtener el eigenvector principal consiste en primer lugar, en obtener los valores de la matriz de comparación normalizados por columnas, así, el valor normalizado para cada celda se obtiene a partir del cociente entre cada valor ( $a_{ij}$ ) y el valor de la sumatoria de cada columna. Posteriormente los valores normalizados se suman por filas, obteniendo así el eigenvector principal, el cual se normaliza dividiendo cada uno de los valores de dicho vector entre  $n$  (número de factores), obteniéndose de esta manera el eigenvector principal normalizado que representa los pesos ( $W_j$ ) de cada factor.

La Evaluación de la Valoración es el paso siguiente a la obtención del eigenvector principal, la cual es uno de los aspectos más importantes e interesantes del MJA, esto diferencia al método de los demás de asignación de pesos, ya que indica un dato cuantitativo acerca de la consistencia en la asignación de los juicios de valor. Es decir, igual que en otros métodos, la asignación de los juicios de valor, aunque se base en criterios sólidamente establecidos, siempre conlleva una cuota más o menos importante de incertidumbre o subjetividad, ya que en todo proceso de decisión humano estos factores son inevitables.

Así, este procedimiento permite el cálculo del eigenvalor máximo, a través del cual se establece una medida operativa de consistencia en la asignación de los juicios de valor ( $a_{ij}$ ), lo que también permite reconsiderar dicha asignación en caso de que no se considere consistente. El valor que ofrece este procedimiento para el cálculo de la consistencia es la razón de la consistencia (consistency ratio, c.r), dicho valor se establece a partir del cociente entre el valor del índice de consistencia (consistency index, c.i) y el índice aleatorio (random index, r.i.) ( $c.r. = c.i. / r.i.$ ), concretándose así que para valores de c.r. mayores o iguales a 0,10 los juicios de valor deben ser revisados, ya que no son lo suficientemente consistentes para establecer los pesos ( $w_j$ ). Si por ejemplo el c.r. es inferior a 0,10 podemos considerar satisfactorios los juicios de valor asignados. El ci es un valor obtenido a partir del eigenvalor

máximo ( $\lambda_{MAX}$ ) de la manera siguiente:  $C_i = (\lambda_{MAX} - n) / (n - 1)$  Siendo  $n$  el número de factores en la matriz de comparación, mientras que el valor del eigenvalor máximo ( $\lambda_{MAX}$ ) se obtiene a partir del producto del vector propio principal normalizado por la matriz de comparación de factores, obteniendo así un nuevo vector, en el cual se divide cada uno de sus componentes entre su correspondiente vector propio principal normalizado. Obteniéndose un segundo nuevo vector, en el cual se suman sus componentes y se dividen posteriormente entre  $n$ , obteniendo así el eigenvalor máximo ( $\lambda_{MAX}$ ) que se utiliza en la estimación de la consistencia como un reflejo de la proporcionalidad de las preferencias implícitas en los juicios de valor asignados, así, cuanto más próximo sea  $\lambda_{MAX}$  a  $n$ , más consistente será el resultado de la matriz de comparación (Gómez Delgado & Barredo Cano, 2006).

Por otra parte, el  $r_i$  representa el índice de consistencia de una matriz recíproca generada aleatoriamente a partir de una escala del 1 al 9, con juicios de valor recíprocos y diagonal = 1. En relación con la consistencia en la asignación de pesos, podemos partir de una abstracción teórica para conocer lo que sería consistencia perfecta, esto es, suponiendo una matriz en la cual los factores representan determinados objetos con pesos o medidas exactos, a partir de los cuales podríamos establecer una proporcionalidad igualmente exacta, para cada par de objetos.

### 3.5.2. Sumatoria lineal ponderada (Weighted Linear Combination- WLC)

Se trata de uno de los métodos más empleados en este tipo de evaluaciones por ser sencillo, intuitivo y fácil de implementar. La obtención del nivel de adecuación de cada alternativa se halla sumando el resultado de multiplicar el valor de cada criterio por su peso:

$$r_i = \sum_{j=1}^n (w_j * v_{ij})$$

Dónde:

**$r_i$**  : es el nivel de adecuación de la alternativa  $i$ .

**$w_j$**  : es el peso del criterio  $j$ .

**$v_{ij}$**  : es el valor normalizado de la alternativa  $i$  en el criterio  $j$ .

**n:** número de criterios involucrados en la investigación

### **3.6. NORMATIVIDAD EN INCENDIOS FORESTALES**

Según (Tintinango, 2013) La gestión y actividades orientadas a la Prevención y Control de los incendios forestales tienen su fundamento en la Constitución Política de Colombia de 1991, que establece el deber de emprender acciones pretendientes a lograr el desarrollo humano sostenible, entendido como aquel que satisface las necesidades de las generaciones del presente sin comprometer las opciones de bienestar de aquellas que poblarán el territorio en el futuro.

Para lo anterior se cuenta con la Ley 46 de 1988 que creó el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD) y el Decreto 919 de 1989 que organizó dicho sistema; esta norma considera que los Planes de Desarrollo de todas las entidades territoriales deben incorporar el componente de prevención de desastres y los Comités para la Prevención y Atención de Desastres, tanto el nacional, como los regionales y locales (CREPAD y CLOPAD), deben elaborar los respectivos Planes de Contingencia para la atención adecuada y oportuna de las emergencias y desastres.

La Ley 99 de 1993 que creó el Sistema Nacional Ambiental (SINA), asignó funciones específicas a las autoridades ambientales en materia de atención y prevención de desastres con el propósito de proteger el medio ambiente y mediante el Decreto 2340 de 1997 se crearon las Comisiones Asesoras para la prevención y mitigación de Incendios Forestales en el nivel nacional, regional y local, asignándoles funciones y responsabilidades.

El Código Penal (Ley 599 de 2000), considera los incendios como delito de peligro común, que pueden ocasionar grave perjuicio para la comunidad. Específicamente, en el artículo 3502, establece sanciones cuando este tipo de eventos se suceden "... en bosque, recurso florístico o en área de especial importancia ecológica".

El documento CONPES 2834 de 1996 "Política de Bosques" 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", el cual debe articularse al Plan

Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y operar dentro del Sistema Nacional Ambiental y el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.

Posteriormente el CONPES 2948 de 1997 recomendó acciones para prevenir y mitigar los posibles efectos del Fenómeno del Niño 1997-1998. De otra parte, el Plan Nacional de Desarrollo Forestal aprobado por el Consejo Nacional Ambiental en el 2000 (CONPES 3125/01), 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.

La Ley 1551 de 2012 dicta las normas para la modernización, organización y el funcionamiento de los municipios, en los cuales se enmarca uno de los principios rectores de la administración municipal al promulgar la conservación de la biodiversidad y los servicios Ecosistémicos; y el hecho de velar por el adecuado manejo de los recursos naturales y del medio ambiente, de conformidad con la Ley. Según la Ley 1333 del 2009, Ley 99 de 1993, Decreto –Ley 2811 de 1974, la comisión de un daño ambiental, se constituye en infracción ambiental, dado que los Incendios forestales son eventos generados por el hombre y causan efectos negativos al ambiente, como tal generan una infracción ambiental, por lo que las autoridades ambientales impondrán las sanciones a las que haya lugar; y de acuerdo al código penal Ley 599 del 2000, el incendio cuando causa daño a las personas, a los bosques, al recurso florístico y a las áreas de especial importancia ecológica, se constituye un delito, que da cárcel de 1 a 12 años y multas, según sea el daño y la determinación que tome el juez.

La Ley 1523 del 2012 por su parte, es un instrumento normativo, que da los elementos jurídicos sobre la cual se basa la gestión del riesgo de desastres en Colombia. Los incendios forestales, se constituyen en un riesgo ecológico, que generan pérdidas de la biodiversidad, desestabilizan ecosistemas y los ciclos naturales, afectando directamente al ambiente y al hombre.

Por último se tiene que las bases del Plan de Desarrollo del 2010 al 2014, en su capítulo VI “Sostenibilidad Ambiental y Prevención del Riesgo, establece en la gestión ambiental



integrada y compartida, la necesidad de aplicar medidas encaminadas a prevenir el aumento de la huella ecológica y ordena como estrategia de gestión del riesgo de pérdida de biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, formular y desarrollar la estrategia de Corresponsabilidad en la lucha contra los Incendios forestales, la cual es de carácter preventivo e involucra a todos los actores, incluyendo las comunidades rurales. Su objetivo es el de activar la participación de todos los actores, para evitar la presencia recurrente de los incendios forestales.

El eje fundamental de la Estrategia de corresponsabilidad social está centrado en la prevención a través de la formulación de los planes de contingencia locales, regionales y el Nacional, puesto que permiten conocer la situación de amenaza, de vulnerabilidad y de riesgo a los incendios forestales, al tiempo que permite plantear acciones para evitarlos y estar preparados para su control y extinción. Los planes de contingencia municipales se constituyen en la base de los planes de contingencia regional y Nacional, por lo tanto son los primero que se deben elaborar, dado que serán insumo para el regional y nacional.

El primer actor de la Estrategia de corresponsabilidad social son las Alcaldías, que tienen como tarea elaborar los planes de contingencia en incendios forestales para el municipio, y generar recursos presupuestales y de personal para la gestión de riesgos en incendios, de manera que puedan tomar decisiones en cuanto a prevención, control, extinción y mitigación de los mismos.

### **3.7. GENERALIDADES DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

#### **3.7.1. Localización geográfica**

El Departamento de Cauca está situado en el suroeste del país entre las regiones andina y pacífica; localizado entre los 00°58'54'' y 03°19'04'' de latitud norte y los 75°47'36'' y 77°57'05'' de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 29.308 km<sup>2</sup> lo que representa el 2.56 % del territorio nacional. Limita por el Norte con el departamento del Valle del Cauca, por el Este con los Departamentos de Tolima, Huila y Caquetá, por el Sur con Nariño y Putumayo y por el Oeste con el Océano Pacífico (Figura 1).

El Departamento de Cauca está dividido en 42 municipios.

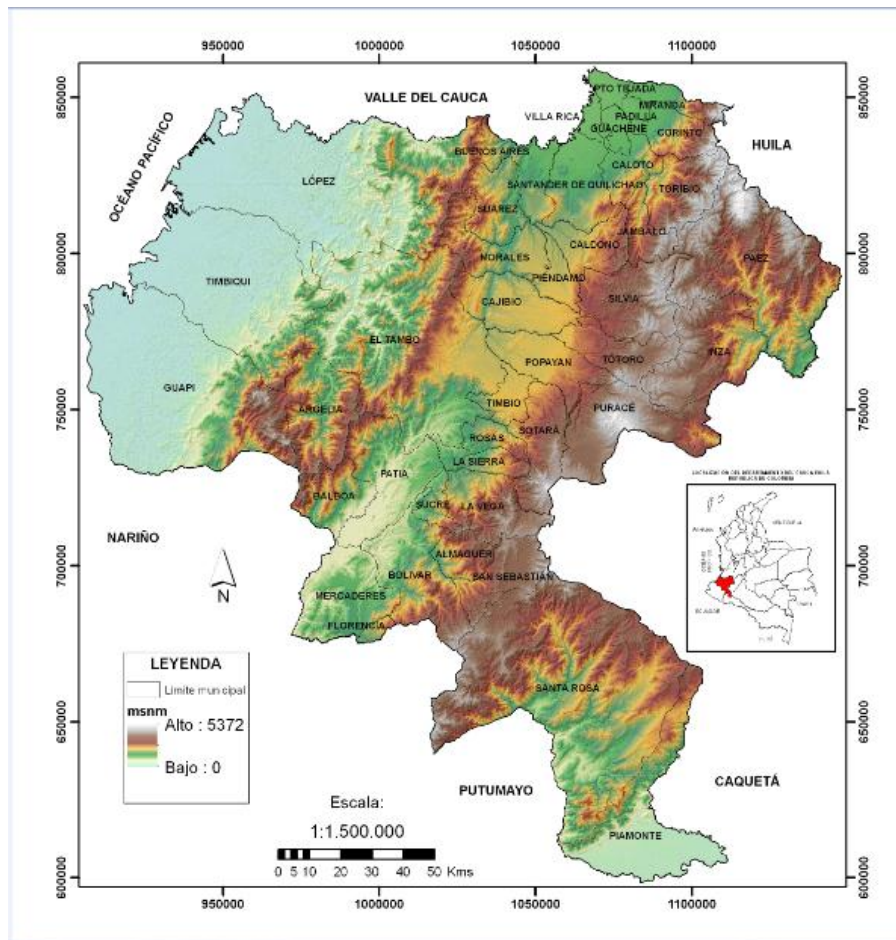


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio

### 3.7.2. Caracterización biofísica y socioeconómica

#### 3.7.2.1. Clima

Según Los períodos de lluvia en el Cauca son generalmente en los meses de marzo, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre; el período seco corresponde a los meses de enero, febrero, junio y julio. Se encuentran los pisos térmicos cálido, templado y frío y los pisos bioclimáticos subandino, altoandino y páramo. Hacen parte del departamento los parques nacionales naturales de Munchique y Gorgona, comparte con los departamentos de Tolima y

Huila el parque nacional natural del Nevado del Huila, y con el departamento del Huila el parque nacional natural de Puracé.

### **3.7.2.2. Fisiografía**

El relieve del territorio del Departamento del Cauca pertenece al sistema andino distinguiéndose a nivel macro siete unidades morfológicas: la llanura del Pacífico, cordillera Occidental; cordillera Central, altiplano de Popayán, Macizo Colombiano, Valle del Patía y el sector de la cuenca del Amazonas. La llanura del Pacífico, comprende dos sectores la faja costera o andén aluvial caracterizada por ser baja, cubierta de bosque de mangle, anegadiza, tanto por la cantidad de ríos, caños y estuarios que llegan a la costa del océano Pacífico, como el estar sometida al flujo y reflujo de las mareas, el otro sector es la llanura propiamente de colinas que comprende la vertiente occidental de la cordillera Occidental.

La cordillera Occidental en el Cauca se extiende de suroeste a noreste; entre los accidentes más destacados se encuentra la cuchilla de Napí, los cerros de Guaduas, Munchique y Naya y el Valle del río Cauca. La cordillera Central atraviesa de sur a norte el oriente del departamento, los accidentes relevantes son el volcán de Sotará, Petacas y el nevado del Huila en el límite departamental.

El Altiplano de Popayán, encajonado entre las cordilleras Occidental y Central, se observa como accidente dentro de la meseta el cerro La Tetilla. El Macizo Colombiano compartido con el departamento del Huila, entre los accidentes más representativos está el páramo del Buey, los volcanes de Cutanga y Puracé, el pico de Paletará y la sierra nevada de los Coconucos. El valle del Patía, enmarcado por las cordilleras Occidental y Central, por donde corre el río Patía de norte a sur, se extiende hacia el departamento de Nariño. La cuenca del Amazonas, corresponde a la denominada Bota Caucana, por donde pasa el río Caquetá.

### **3.7.2.3. Eco Regiones**

Según (GOBERNACION DEL CAUCA, 2004), en el Departamento se identifican las siguientes ecoregiones generales (que a su interior se componen de sub-ecoregiones), a saber:

- a. Ecoregión Marino litoral. Corresponde a la zona del Océano Pacífico Caucano, las Islas Gorgona y Gorgonilla, y la franja de esteros, manglares y playas, en las cuales habitan o hacen uso de ellas grupos humanos afrocolombianos e indígenas eperara siapidaara principalmente, que desde el punto de vista económico desarrollan fundamentalmente actividades extractivas (pesca, madera, caza).
- b. Ecoregión del Chocó Biogeográfico. Corresponde a la zona continental de la cuenca Pacífica del Cauca, en zonas de vida de bosque húmedo y muy húmedo tropical, en alturas que oscilan entre los 0 y 3.100 msnm, en las cuales habitan o hacen uso de ellas grupos humanos afrocolombianos e indígenas eperara siapidaara principalmente, que desarrollan fundamentalmente actividades extractivas (pesca, maderas, caza, minería, cosechería) y agropecuarias en pequeña escala.
- c. Ecoregión de páramo, bosque de niebla y zonas nivales. Corresponde a las partes altas de las cordilleras Oriental, Central, Occidental y Macizo Colombiano, por encima de los 2,800 msnm, donde se presentan estos ecosistemas, unos en estado natural y otros con presión antrópica. Son zonas reguladoras y retenedoras hídricas, y de conservación de la biodiversidad a través del Sistema Regional de Áreas Protegidas y conectividades biológicas. Influyen allí grupos indígenas, mestizos, y algunos campesinos medianos cultivadores principalmente de monocultivos de papa y ganadería, y algunos sistemas productivos tradicionales. Los indígenas desarrollan cultivos ancestrales en estas zonas.
- d. Ecoregión Altoandina fría. Corresponde a la franja de clima frío en las cordilleras Central, Occidental y Macizo Colombiano, entre los 2.000 y 2.800 msnm, cuya zona de vida original corresponde a bosque montano alto andino. Influyen allí grupos indígenas, mestizos, y algunos campesinos medianos cultivadores principalmente de monocultivos de papa, amapola y ganadería, y algunos sistemas productivos tradicionales, y extracción maderera.
- e. Ecoregión interandina media. Corresponde a la franja de clima medio entre las cordilleras (excluyendo Costa Pacífica y Bota Caucana), correspondiente a zona de vida de bosque montano medio, entre los 1,000 y 2.000 msnm. Está habitada por grupos indígenas y mestizos principalmente, con actividades productivas predominantemente cafeteras y con algunos cultivos asociados. También hay cultivos de uso ilícito como la coca.

f. Ecoregión de valles interandinos. Corresponde a la zona plana del valle geográfico del Río Cauca al norte del Departamento, y del Río Patía al Sur, por debajo de los 1.000 msnm. Corresponde a la zona de vida de bosque seco tropical, con precipitación inferior a los 2.000 mm/año, y adicionalmente en la zona sur también se presenta las zonas de vida denominadas enclave sub xerofítico y sabanas andinas. Predominan allí grupos afro colombianos y mestizos, siendo además el Norte una zona de desarrollo agroindustrial, especialmente alrededor de la caña de azúcar, y el Sur con presencia de latifundios que anteriormente se dedicaron a la ganadería y algunos monocultivos, hoy diezmados por situaciones de orden público y deterioro ambiental de los suelos y la cobertura vegetal, que condujeron a la formación de desiertos. En el Norte se construyó sobre el Río Cauca el Embalse de La Salvajina.

g. Ecoregión Bota Caucana. Corresponde a la zona de la Cuenca del Río Caquetá que goza de una alta cobertura vegetal natural, en ecosistemas de bosque de transición andino amazónico, con presencia de comunidades mestizas e indígenas, economía petrolera y de coca en la sub ecoregión propiamente amazónica, y algunas actividades productivas en pequeña escala.

Según estudio realizado en 1999 por la firma INFOMAP Ltda, con financiación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, los cultivos semestrales, anuales, semipermanentes y permanentes en el Departamento del Cauca ocupaban tan sólo 145.429 hectáreas, equivalentes al 4.8% de la extensión departamental (3'036.102 hectáreas).

El área de pastos se estimó en 917.393 hectáreas que representan el 30.2% del total departamental, en tanto que los bosques abarcaban el 37.4% (1'134.384 hectáreas).

El resto del territorio caucano corresponde a vegetación natural arbustiva, zonas sin uso agropecuario o forestal, sectores urbanos y áreas sin cubrimiento fotográfico localizadas en la Costa Pacífica y Bota Caucana (27.63%).

#### **3.7.2.4. Hidrografía**

El sistema hidrográfico del Cauca, está constituido por cinco grandes cuencas: Alto Cauca, Pacífico, Alto Magdalena, Patía y Caquetá; Alto Cauca, conformada por el río Cauca y sus afluentes río Palo, Guengué, Negro, Teta, Desbaratado y Quilichao, Mondomo, Ovejas, Pescador, Robles, Piedras, Sucio, Palacé, Cofre, Honda, Cajibío, Piendamó, Tunia, Molino, Timbío y Blanco.

La cuenca del Pacífico, conformada principalmente por los ríos Guapi, Timbiquí, Saija y Micay. Alto Magdalena, su principal fuente de drenaje es el río Páez al que confluyen los ríos San Vicente, Moras, Ullucos, Negro y Negro de Narváez, y las quebradas Tóez, Símbola, Salado, Gualcar, Gallo, Macana, Honda y Totumo. La cuenca del Patía, está conformada por el río Patía y sus tributarios los ríos Guachinoco, Ismita, Bojoleo, El Guaba, Sambingo y Mayo.

La cuenca del Caquetá, está conformada por el río Caquetá a donde confluyen los ríos Cusiyaco, Cascabelito, Verdeyaco, Mandiyaco, Fragua, Cascabel, Curiaco y Pacayaco. Las islas Gorgona y Gorgonilla situadas en el océano Pacífico, pertenecen al territorio caucano.

#### **3.7.2.5. Actividades Económicas**

La economía del Cauca está basada principalmente en la producción agrícola y ganadera, la explotación forestal, la actividad pesquera y el comercio. La agricultura se ha desarrollado y tecnificado en el norte del departamento; sus principales cultivos son la caña, caña panelera, maíz tradicional, arroz, maíz tecnificado, plátano, fique, yuca, papa, coco, sorgo, cacao, maní y palma africana.

En la región del Pacífico se extrae oro, plata y platino. Otros minerales no preciosos que se explotan son azufre, asbesto, caliza, talco, yeso y carbón. La industria fabril se ubica en Popayán, Santander de Quilichao, Puerto Tejada con fábricas de productos alimenticios, bebidas, lácteos, papel, empaques, transformación de la madera, industria azucarera y

elaboración de impresos para la exportación. Los centros de mayor actividad comercial son Popayán, Santander de Quilichao, Patía (El Bordo), Puerto Tejada, Piendamó y Corinto.

### **3.7.2.6. Vías de Comunicación Cauca**

La carretera panamericana atraviesa el departamento de norte a sur y la comunica con los departamentos de Valle del Cauca y Nariño, por la carretera Popayán La Plata se comunica con el departamento del Huila. Todos los municipios con excepción de Guapi y Timbiquí se encuentran conectados por carretera entre sí y con Popayán, que a su vez se conecta con las principales ciudades del país. El océano Pacífico permite la navegación de canotaje entre los municipios de Guapi, Timbiquí y López (Micay). Los ríos Guapi, San Juan de Micay, Saija y Timbiquí permiten la navegación en pequeñas embarcaciones; cuenta con 4 aeropuertos que le permiten la comunicación aérea con Bogotá y las principales ciudades del país.

### **3.7.3. Cobertura vegetal**

La cobertura de la tierra describe todo lo dispuesto en la superficie de la tierra, la vegetación, el agua y las construcciones artificiales que son definidos por la ocupación del suelo de un lugar determinado. Según el grado de transformación se podrá diferenciar en cobertura natural, hídrica, antrópica o intervenida y cultural (IGAC, 2005).

Tanto la cobertura vegetal como el uso del suelo, es quizá el factor más importante en cuanto a la incidencia en la ocurrencia de incendios forestales como en su propagación. Esto debido a que tiene relación directa con la accesibilidad a estas zonas por el hombre (ocurrencia) y a que determinadas clases de cobertura tienen una mayor incidencia en la propagación de los incendios.

En el Departamento del Cauca la cobertura vegetal que más predomina corresponde a Bosques naturales con un 44%, seguido de Pastos con un 19,57% y Vegetación secundaria con un 14,80%, en menor proporción se encuentran los Arbustales, Áreas agrícolas heterogéneas, Cultivos semipermanentes y permanentes, Herbazales, Cultivos anuales o transitorios, Bosques plantados, Aguas continentales artificiales, Lagunas costeras, Áreas

urbanas, Zonas desnudas, sin o con poca vegetación, Herbáceas y arbustivas costeras, Aguas continentales naturales, Glaciares y nieves y Áreas mayormente alteradas.



## **4. METODOLOGIA**

El resultado de este trabajo se inscribe directamente en el campo de la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica al ser involucrado como un instrumento de apoyo para los planes de gestión del riesgo tanto al orden municipal y departamental. En la elaboración se incluyeron diferentes procedimientos y herramientas propias de los Sistemas de Información Geográficos como la normalización y valoración de las categorías de los factores, método Kriging (interpolación de la información para el departamento), normalización y valoración de las categorías de los factores.

Para dar cumplimiento a los objetivos del presente trabajo se tuvo en cuenta la Evaluación Multicriterio (EMC), Método de Jerarquías de Saaty y Sumatoria Lineal Ponderada. La interrelación de herramientas y procedimientos nos da como resultado el mapa de zonificación de amenaza a incendios forestales en el departamento del Cauca.

### **4.1. MODELO CONCEPTUAL**

El primer paso consiste en definir el esquema metodológico de la herramienta, el cual representa la metodología a través de un flujograma o esquema metodológico que muestra las secuencias operacionales que se aplicarán sobre las entidades iniciales del SIG, hasta llegar a niveles o capas temáticas concluyentes (Figura 2).

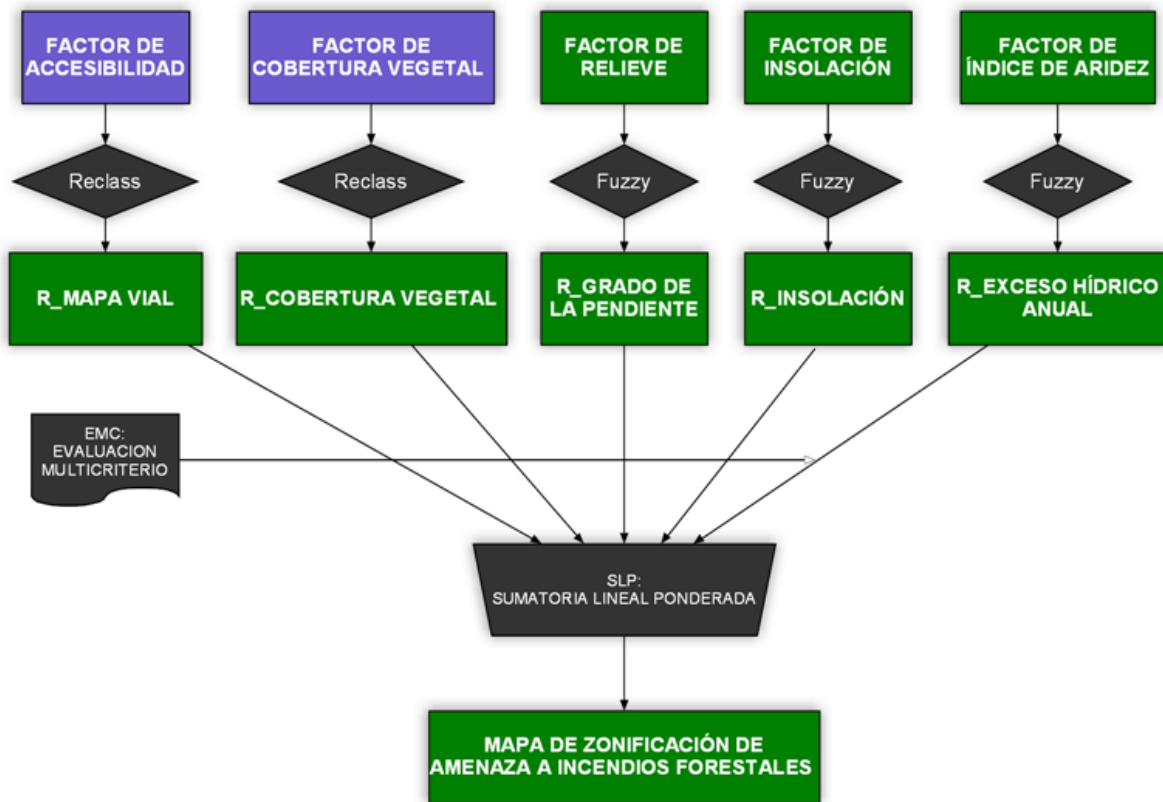


Figura 2. Flujograma operacional

#### 4.1.1. IDENTIFICACIÓN Y OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA NECESARIA

Definido el esquema metodológico, se procedió a recopilar la información cartográfica temática y estadística requerida, procedente de diferentes estudios realizados sobre el Departamento del Cauca (Tabla 3), procurando recopilar la mejor información tanto en formato digital como en formato análogo, teniendo siempre en cuenta el año de producción, institución desarrolladora, escala de elaboración, etc., alguna información no fue posible localizarla por lo cual fue necesario elaborarla.

Tabla 3. Insumos cartográficos

No.	Cobertura cartográfica	Escala	Fecha	Fuente de localización
1.	Mapa Vial	1:25.000	2014	CRC
2.	Datos pluviométricos		1986	(Eslava, López & Olaya, 1986a-e)

3.	Modelo digital de elevación, SRTM	Rel. 30 m	2014	Proyecto SIMCI y rectificada por Geospacial
4.	Cobertura vegetal	1:10.000	2014	SIGOT

**Fuente:** Propia, 2016.

#### **4.1.2. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

A continuación se definen los principales factores a tener en cuenta para realizar la zonificación de la amenaza a incendios forestales.

##### **4.1.2.1. Selección de factores**

Un “factor” es un criterio que mejora o reduce la aptitud de una alternativa específica para la actividad en consideración. Por lo tanto, se mide comúnmente en una escala continua (Eastman, 2012), desde 0 (no apta) a 255 (apta), indicando la menor o mayor aptitud del píxel para que se localice el uso analizado.

El objetivo de este trabajo es determinar en cartografía digital la amenaza a incendios forestales en el Departamento del Cauca; para esto se partió de diferentes capas temáticas disponibles y se utilizó el álgebra de mapas. Los criterios que se tuvieron en cuenta fueron los siguientes: Índice de Aridez, Cobertura vegetal y Uso del suelo, Accesibilidad, Insolación y Pendientes.

Cada una de estas coberturas temáticas son convertidas a formato raster con resolución de 10 metros, tras este proceso se procede a su normalización por reclasificación y por pertenencia difusa.

##### **4.1.2.2. Normalización y valoración de las categorías de los factores**

Las puntuaciones en los atributos son normalizadas a efectos de eliminar problemas de cálculo originados por las diferentes escalas y/o unidades empleadas en la matriz de decisión. La normalización no siempre es necesaria, pero si es esencial en la mayoría de los métodos compensatorios. El propósito es el de obtener escalas comparables, lo que permitirá realizar

comparaciones intra-atributos así como inter-atributos. En consecuencia, las puntuaciones normalizadas no tienen unidades de dimensión y para el caso de atributos de beneficios, cuanto mayor sea la puntuación normalizada, mayor es la preferencia del mismo. Una de las opciones más utilizadas podría ser el ajuste lineal, mediante el que se reescalan los valores originales entre unos límites mínimo y máximo, o los basados en funciones de pertenencia a un conjunto borroso, sin embargo, debido a la naturaleza (escala nominal) de algunos de los factores considerados y con objeto de no perder el control de las magnitudes se decidió finalmente clasificar y valorar previamente cada factor.

Este paso conlleva un proceso de disminución de la ambigüedad y de la dificultad de manejo de las variables, ya que por lo general se procede a transformar los datos de una escala nominal a una ordinal.

#### **4.1.2.3. Proceso de Evaluación Multicriterio (EMC)**

La aplicación de estas técnicas en el ámbito de la Geomática requiere que cada variable o factor temático deben ser estructurados como una matriz, en la cual los criterios ocupan las filas de la matriz y las alternativas propias de cada criterio ocuparán las columnas (Barredo, 1999).

#### **4.1.2.4. Sumatoria lineal ponderada (SLP)**

Se optó por la utilización del método de la Sumatoria Lineal Ponderada (WLC– Weighted Linear Combination), por ser uno de los métodos más empleados en este tipo de evaluaciones, por ser sencillo, intuitivo y fácil de implementar en SIG que trabajan con datos ráster.

El procedimiento es optimizado para una mayor velocidad y tiene el efecto de multiplicar cada factor por su peso y luego sumar los resultados.

## **5. RESULTADOS**

A Continuación se presentan los resultados obtenidos del presente estudio.

### **5.1. MAPA DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

A continuación se definen los principales factores a tener en cuenta para realizar la zonificación de la amenaza a incendios forestales.

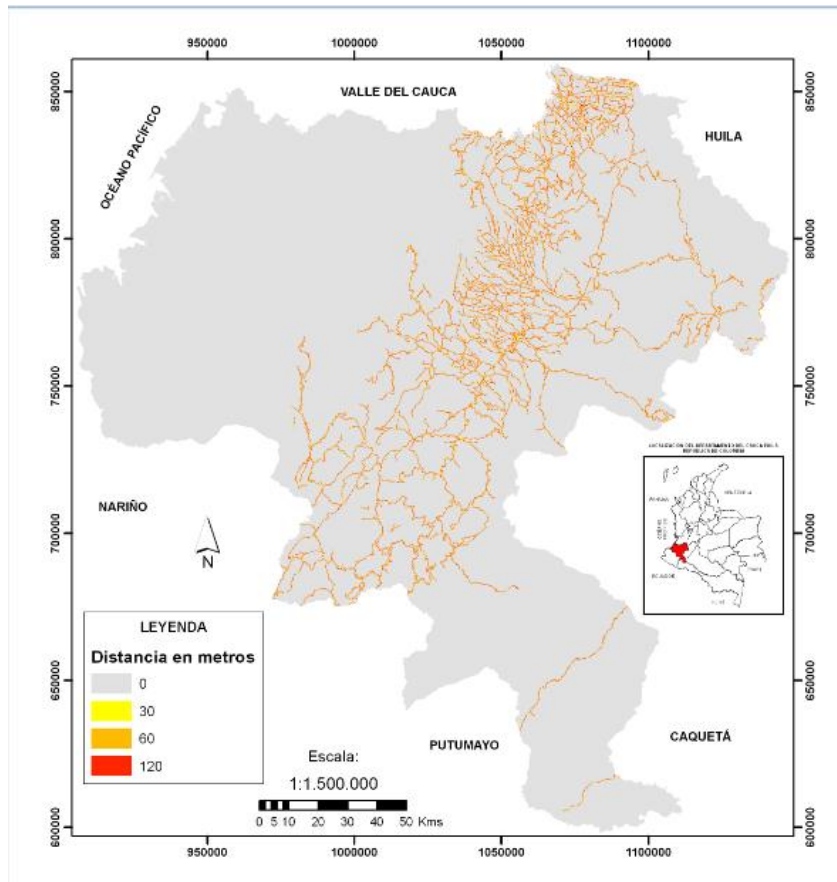
#### **5.1.1. Selección de factores**

Los factores tenidos en cuenta para la zonificación fueron los siguientes: el relieve, cobertura vegetal, accesibilidad, insolación e índice de aridez.

##### **5.1.1.1. Factor de Accesibilidad**

Expresada como la densidad vial, este factor se considera parte de la amenaza, debido a que es fundamental en la generación de la probabilidad de que la población pueda llegar a las áreas forestales y generar focos de incendio.

Con el propósito de incorporar este factor en la evaluación de la amenaza, se tomó el mapa vial del Departamento del Cauca de la Corporación Autónoma Regional del Cauca, escala 1:25000, año 2014 (Figura 3).



**Figura 3. Mapa vial del Departamento del Cauca**

### 5.1.1.2. Factor de Cobertura vegetal

El factor de la cobertura vegetal, es quizá el factor más importante en cuanto a la incidencia en la ocurrencia de incendios forestales como en su propagación. Esto debido a que tiene relación directa con la accesibilidad a estas zonas por el hombre (ocurrencia) y a que determinadas clases de cobertura tienen una mayor incidencia en la propagación del fuego.

Con el propósito de incorporar este factor en la evaluación de la amenaza, se tomó el mapa de Cobertura vegetal del SIGOT elaborado por el INSTITUTO GEOGRAFICO “AGUSTIN CODAZZI” en el año 2014 (Figura 4).

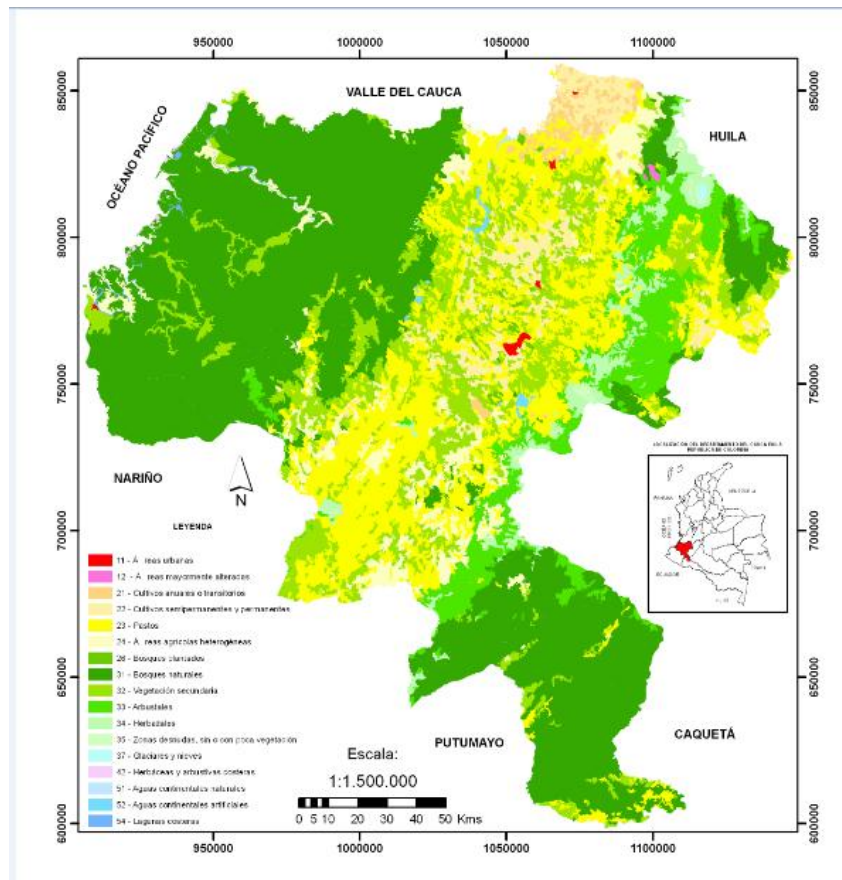
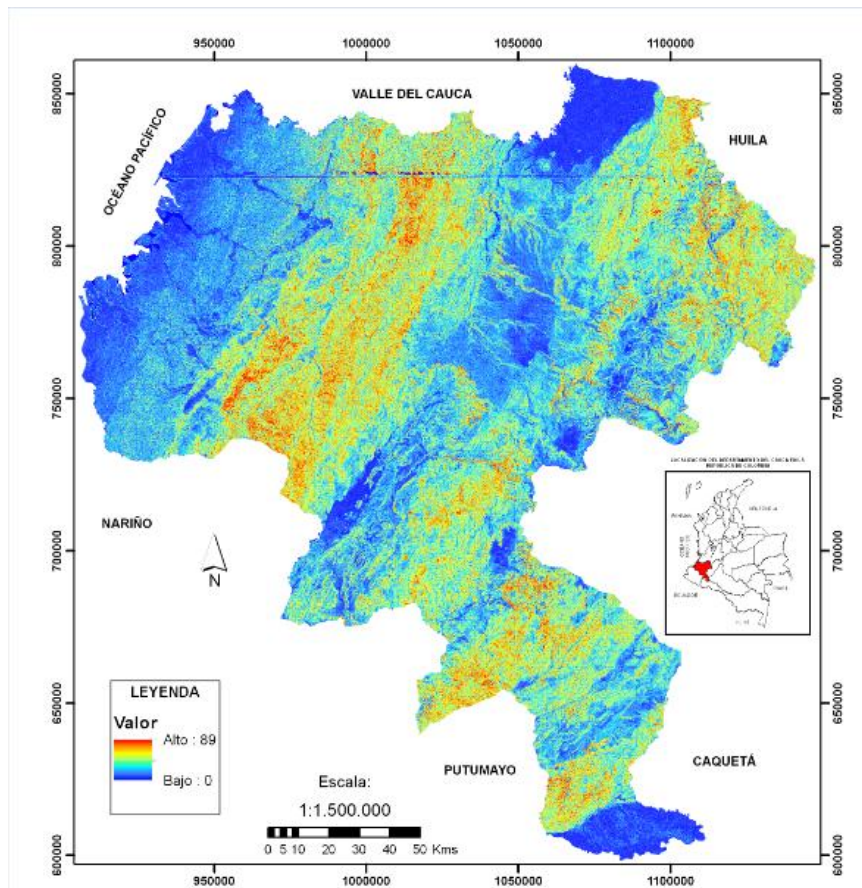


Figura 4. Cobertura vegetal del Departamento del Cauca

### 5.1.1.3. Factor de Relieve

La propagación del fuego aumenta con el ángulo que ofrece la superficie, la propagación a favor de la pendiente es rápida y peligrosa. Los incendios no ocurren al azar, sino que son más frecuentes en ciertas posiciones topográficas.

Con el propósito de incorporar este factor en la evaluación de la amenaza, se elaboró un mapa del grado de la pendiente (Figura 5) partiendo del modelo digital de terreno del Departamento del Cauca de resolución de 30 m por 30 m.

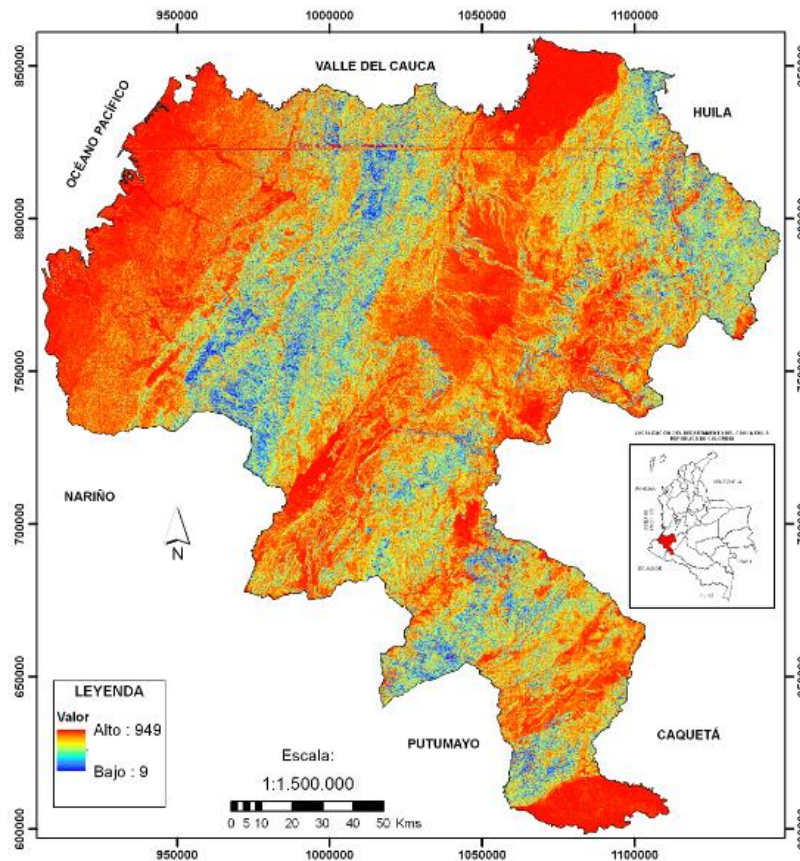


**Figura 5. Grado de la pendiente del Departamento del Cauca**

#### **5.1.1.4. Factor de Insolación**

Uno de los factores determinantes para que se pueda originar un incendio forestal en un punto, es la radiación solar que incide en él a lo largo del tiempo. De esta forma, partiendo del modelo digital de terreno del Departamento del Cauca de resolución de 30 m por 30 m y aplicando el Algoritmo REL (Shaded Relief from Elevation Data) del software PCI Geomatica, la cual determina la cantidad de luz que llega al punto de acuerdo a los datos de azimut y elevación de la fuente de luz, se determinó la cantidad de luz que llega a cada punto del DEM a determinadas horas (8:00 am, 10:00 am, 12:00 m, 2:00 pm y 4:00 pm), con estos valores se logró generar el mapa final de insolación (Figura 6).



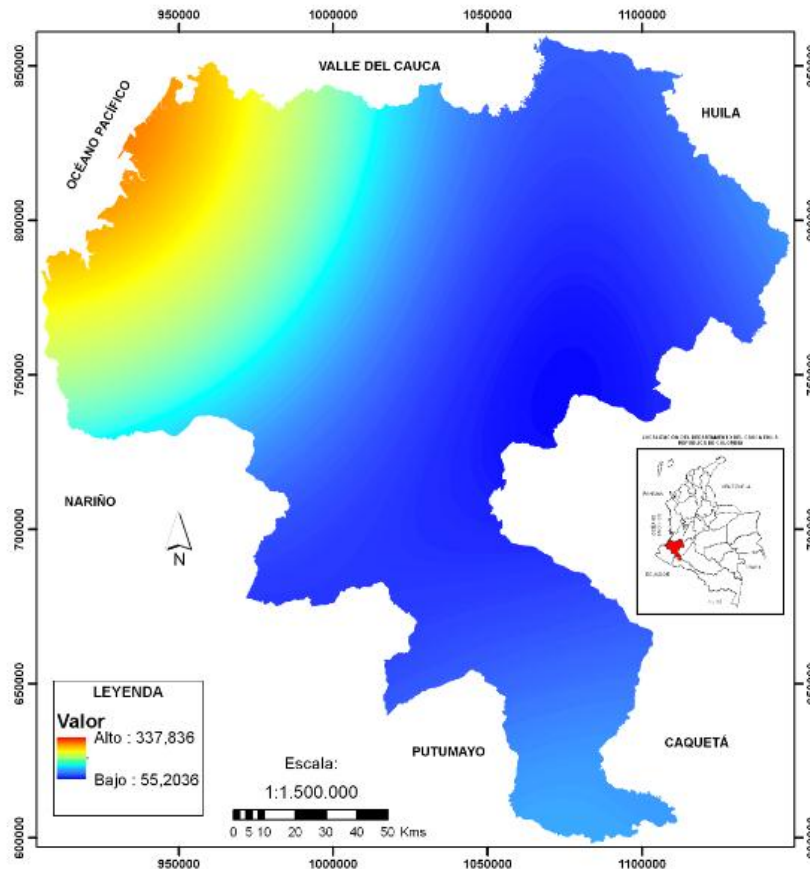


**Figura 6. Mapa de Insolación del Departamento del Cauca**

#### **5.1.1.5. Factor de Índice de aridez (Exceso hídrico anual)**

Del mapa de índice de Aridez se tomaron datos de exceso hídrico anual, los cuales se obtuvieron a través de balances hídricos normales con el sistema Thornthwaite & Mather (1955), Los cálculos se realizaron con datos de temperatura y precipitación media anual realizados por (Eslava, 1986), el cual a través de cálculos matemáticos aproximó a las cabeceras municipales valores climatológicos; siendo este un trabajo muy interesante por su procedimientos, y de gran valor en el medio, para conocer de manera aproximada el comportamiento de la lluvia y de la temperatura dentro del Departamento del Cauca, ya que este posee una pobre red de estaciones climatológicas que no permiten conocer este comportamiento.

Con el propósito de incorporar este factor en la evaluación de la amenaza, se realizó un mapa de exceso hídrico anual para el Departamento del Cauca (Figura 7), donde a través del módulo Geostatistical Analyst del software ESRI ArcGIS Desktop 9.x. y la aplicación del método Kriging se interpoló la información para todo el Departamento del Cauca.



**Figura 7. Mapa de Exceso hídrico del Departamento del Cauca**

### 5.1.2. Normalización y valoración de las categorías de los factores

Para el presente estudio se tomó una escala estándar como método de asignación, donde dependiendo el nivel de ocurrencia o propagación del fuego, se le asignó a cada uno de los atributos de los factores, diferentes valores que oscilan entre 0 a 255, por ejemplo 0 es Nula, 85 es Baja, 170 es Media y 255 es Alta, una vez asignados los valores, se procedió a realizar las respectivas reclasificaciones.

### 5.1.2.1. Mapa vial

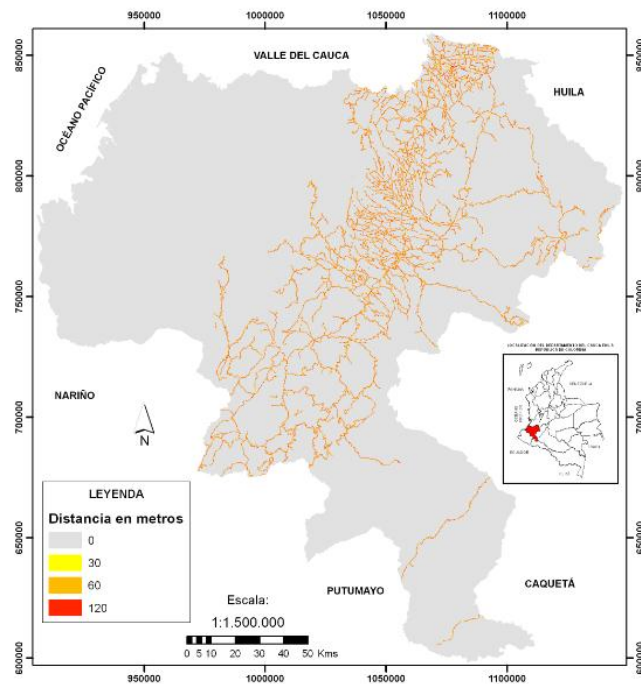
El mapa vial se establecieron cuatro (4) tipos de distancia a lo largo de las vías del Departamento del Cauca (Figura 8) y estas a su vez se reclasificaron en cuatro (4) categorías tal como se indica en la Tabla 4.

**Tabla 4. Asignación de valores por reclasificación, Criterio – factor: Mapa vial**

Distancia a la vía principal (m)	Peso
0	0
0 - 30	255
30 - 60	170
60 - 120	85

**Fuente:** Propia, 2016.

**Figura 8. Mapa vial reclasificado**



En el mapa vial reclasificado se puede apreciar como resultado de la reclasificación la zona central del departamento del Cauca, es la zona que más responde a esta clasificación puesto que sobre esta se concentra la malla vial del departamento. Y asignando valores nulos visualmente para la zona pacífica y bajos para la zona oriental, resultados que finalmente el sistema los muestra en función de la capa de información que reclasifica.

### 5.1.2.2. Cobertura vegetal

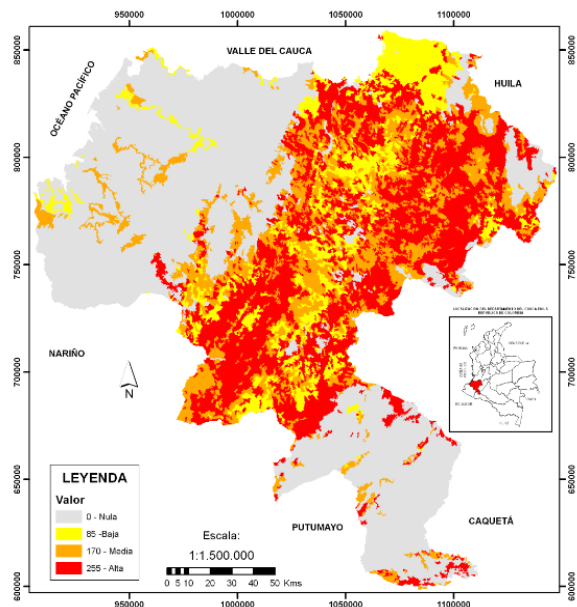
El mapa de cobertura vegetal posee 18 tipos de cobertura vegetal (Figura 9) las cuales se reclasificaron en cuatro (4) categorías tal como se indica en la Tabla 5.

**Tabla 5. Asignación de valores por reclasificación, Criterio – factor: Mapa de cobertura vegetal**

<b>I D</b>	<b>COBERTURA VEGETAL</b>	<b>PES O</b>
1		0
2	Aguas continentales artificiales	0
3	Aguas continentales naturales	0
4	Arbustales	255
5	Áreas agrícolas heterogéneas	85
6	Áreas mayormente alteradas	170
7	Áreas urbanas	0
8	Bosques naturales	0
9	Bosques plantados	0
10	Cultivos anuales o transitorios	85
11	Cultivos semipermanentes y permanentes	85
12	Glaciares y nieves	0
13	Herbáceas y arbustivas costeras	0
14	Herbazales	170
15	Lagunas costeras	0
16	Pastos	255
17	Vegetación secundaria	170
18	Zonas desnudas, sin o con poca vegetación	0

**Fuente:** Propia, 2016.

**Figura 9. Mapa de cobertura vegetal reclasificado**

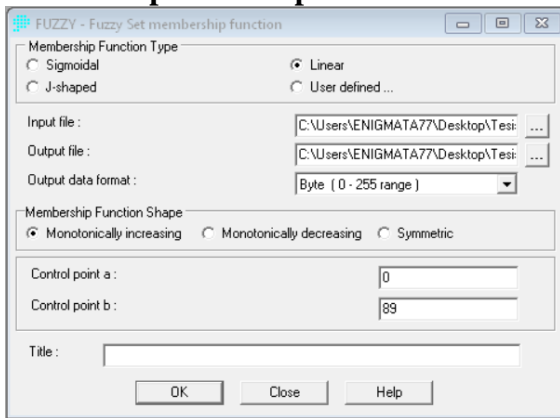


El resultado de esta reclasificación nos muestra como los pastos y arbustales son los más propensos al riesgo de incendio, siguiéndolos en su orden las áreas mayormente Alteradas, los herbazales y la vegetación secundaria, le siguen las zonas agrícolas heterogéneas en conjunto con los cultivos anuales o transitorios, con los semipermanentes y permanentes y con un valor nulo los componentes hídricos, las áreas urbanas, las zonas desnudas, las herbáceas y arbustivas costeras, los bosques naturales y plantados. Finalmente el mapa que se aprecia nos dibuja en la zona central del departamento del Cauca donde se combinan los valores altos y medios que dibujan una zona más propensa a la amenaza por incendios.

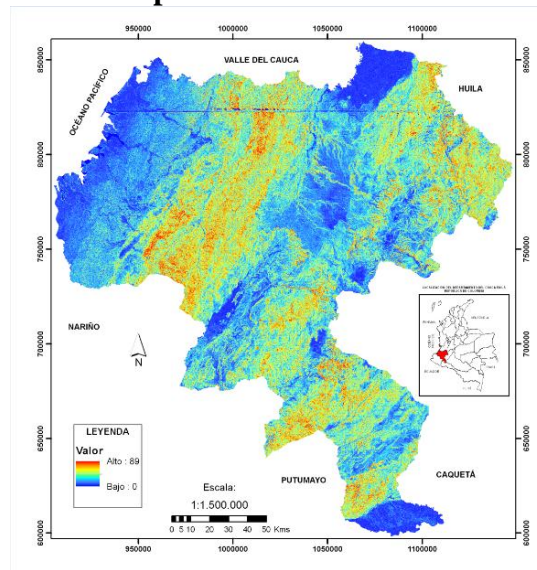
### 5.1.2.3. Grado de la pendiente

El mapa del grado de la pendiente se estandarizó usando una función de pertenencia difusa lineal monótonicamente creciente, la cual reclasifica o transforma los datos de entrada en una escala de 0 a 255 (Figura 10), es decir, esta operación redistribuye los rangos de valor de 0-90 a un rango de valor de 0-255 (Figura 11).

**Figura 10. Función de pertenencia difusa para el mapa de insolación**



**Figura 11. Mapa de pendiente con pertenencia difusa**

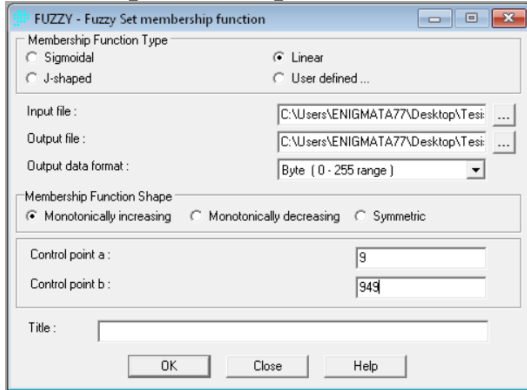


### 5.1.2.4. Insolación

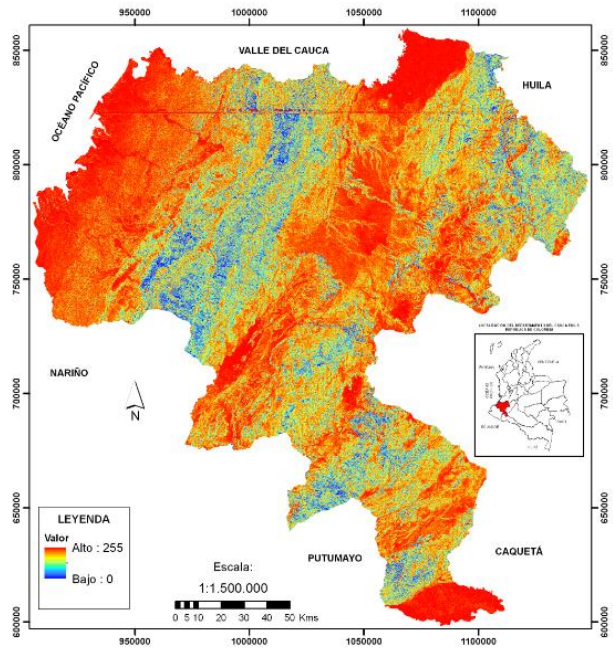
El mapa de insolación se estandarizó usando una función de pertenencia difusa lineal monótonicamente creciente, la cual reclasifica o transforma los datos de entrada en una escala de 0 a 255 (Figura 12), es decir, esta operación redistribuye los rangos de valor de 9-949 a un rango de valor de 0-255 ósea, asigna nuevos valores pero en una escala continua de 0 a 255 (Figura 13). En este mapa el sistema de información nos muestra como los valores más altos se ubican en la zona central y la zona pacífica del departamento del cauca con una fuerte intensidad en la costa y en la zona central norte y extremo oriental, pero los valores medios se concentran en la zona central.



**Figura 12. Función de pertenencia difusa para el mapa de insolación**



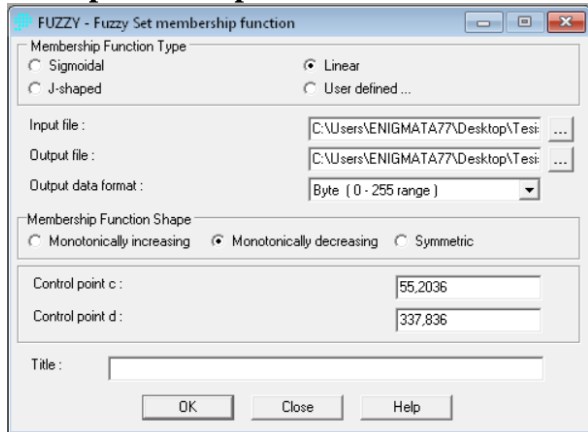
**Figura 13. Mapa de Insolación con pertenencia difusa**



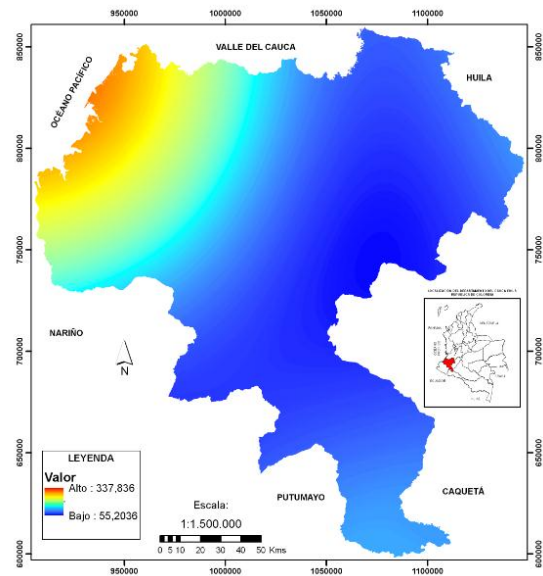
### 5.1.2.5. Índice de aridez

El mapa de índice de aridez se estandarizó usando una función de pertenencia difusa lineal monótonicamente creciente, la cual reclasifica o transforma los datos de entrada en una escala de 0 a 255 (Figura 14), es decir, esta operación invierte los valores 9-949 y los redistribuye un rango de valor de 0-255 (Figura 15).

**Figura 14. Función de pertenencia difusa para el mapa de exceso hídrico**



**Figura 15. Mapa de exceso hídrico anual con pertenencia difusa**



### 5.1.3. Proceso de Evaluación MultiCriterio (EMC)

En el presente estudio se utilizó el Método de Jerarquías Analíticas (MAJ) propuesto por Saaty. La finalidad es comparar la importancia de uno de los factores sobre cada uno de los demás ( $a_{ij}$ ), para posteriormente determinar el eigenvector principal, el cual establece los pesos ( $w_j$ ); y el eigenvalor que proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores (Tabla 6).

La asignación de los juicios de valor fue realizada apoyándose en la opinión y entrevistas con expertos en el tema del estudio.

**Tabla 6. Matriz de comparación por pares, Factores**

Factores	Cobertura vegetal	Exceso hídrico anual	Pendientes	Insolación	Accesibilidad	Peso (w <sub>j</sub> )
Cobertura vegetal	1	1	9	3	1/2	0,285
Exceso hídrico anual		1	9	3	1	0,311
Grado de la Pendiente			1	1/6	1/9	0,028
Insolación				1	1/2	0,121
Mapa vial					1	0,255

c.r: 0,03

#### 5.1.4. Sumatoria Lineal Ponderada (SLP)

El Método de Sumatoria Lineal Ponderada, corresponde a una operación aritmética simple de tipo compensatorio aditivo normalizado, donde el nivel de adecuación de cada alternativa se halla sumando el resultado de multiplicar el valor de cada criterio por su peso. La ecuación empleada para obtener la Amenaza a incendios forestales fue la siguiente:

$$AMENAZA = ([\text{Mapa de Exceso hídrico anual}] * 0.311) + ([\text{Mapa de Cobertura vegetal}] * 0.285) + ([\text{Mapa vial}] * 0.255) + ([\text{Mapa de Insolación}] * 0.121) + ([\text{Mapa del Grado de la Pendiente}] * 0.028)$$

#### 5.1.5. Mapa final de zonificación de amenaza a incendios forestales en el Departamento del Cauca

El mapa final de zonificación de amenaza a incendios forestales en el Departamento del Cauca se obtuvo de una serie de etapas, donde los factores de accesibilidad, cobertura vegetal, relieve, insolación y mapa de exceso hídrico anual, se representaron a través de mapas de estructura raster, luego el mapa vial y el mapa de cobertura vegetal fueron reclasificados en rangos de 0, 85, 170 y 255; los mapas del grado de la pendiente, insolación y exceso hídrico anual fueron reclasificados por pertenencia difusa, posteriormente se construyó una matriz de comparación por pares de criterios llamada Regla de Decisión Multi-Criterio Estructurada, con el fin de calcular los pesos relativos de cada uno de los factores, para luego utilizarlos en



una Sumatoria Lineal Ponderada que generaría el mapa de zonificación de amenaza a incendios forestales en el Departamento del Cauca, los números digitales obtenidos fluctúan en un rango de 38 a 255, donde el número digital 38, corresponde a las áreas con menor grado de amenaza a presentar un incendio forestal y el número digital 255, corresponde a las áreas con mayor grado de amenaza a presentar un incendio forestal, obteniendo mayor amenaza en las ecoregiones: Altoandina fría, interandina media y valles interandinos y menor amenaza en las ecoregiones: Marino litoral, Bota Caucana, Chocó Biogeográfico, páramo, bosque de niebla y zonas nivales (

Figura 16).

El mapa de zonificación de amenaza de incendios forestales que arroja el SIG nos muestra como la zona central del Departamento del Cauca es la más propensa, puesto que en su área se concentran los valores de medios a altos, y la zona pacífica oriental con parámetros bajos se encuentran menos propensas a esta amenaza.

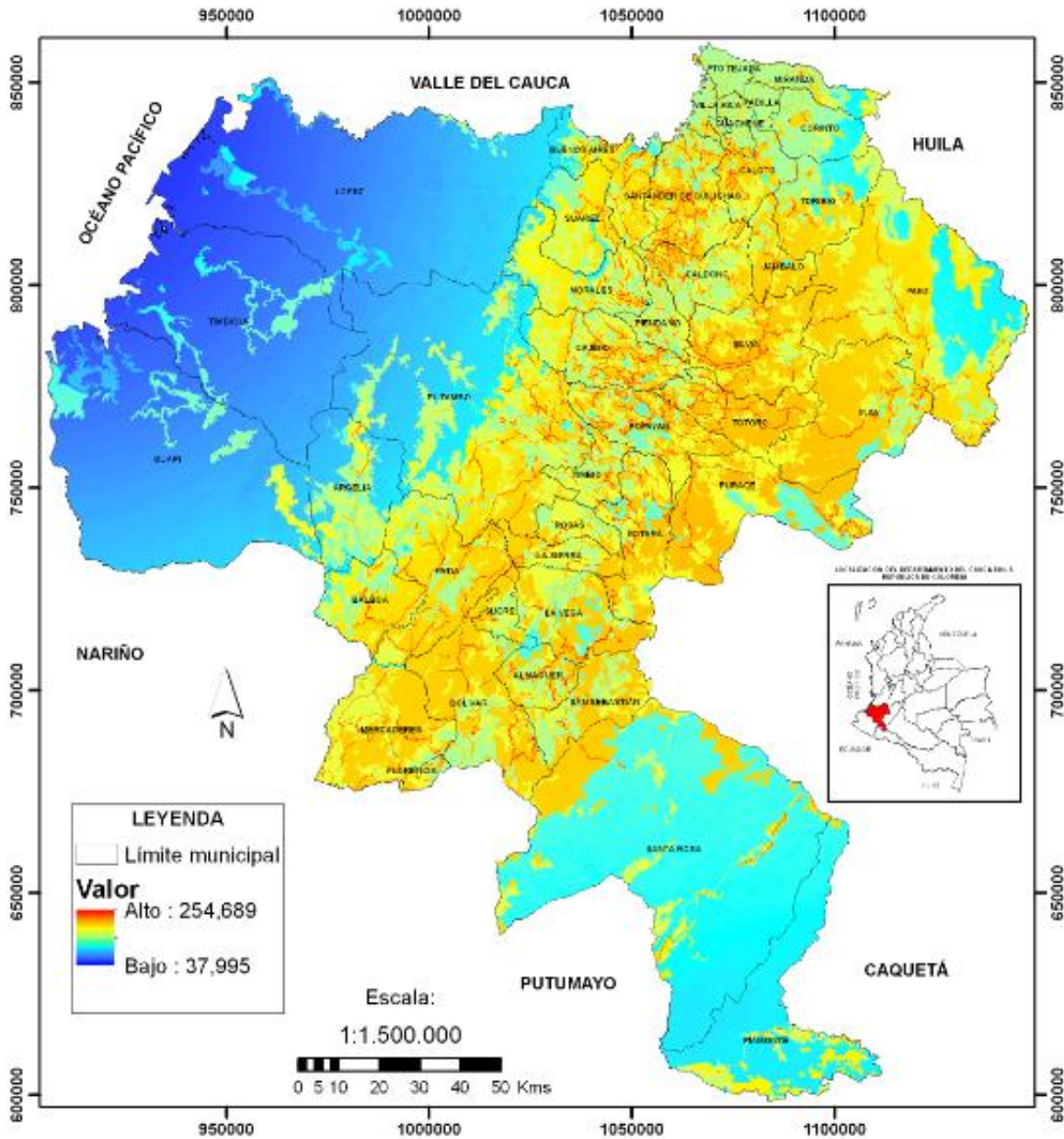


Figura 16. Mapa de zonificación de amenaza a incendios forestales en el Departamento del Cauca

## 5. CONCLUSIONES

- Colombia según el IDEAM (2010), tiene una superficie de bosques de 61.246.659 hectáreas, distintos son los motores de pérdidas de los mismos entre los cuales aportan los incendios forestales que cada año afectan un promedio de 42.000 hectáreas (MAVDT 2010). Los resultados del trabajo muestran como este factor es de los más preponderantes o con mayor peso en el momento de generar el mapa de zonificación por de amenaza a incendios forestales.

- Para el año 2015 en el Departamento del Cauca se presentaron aproximadamente 1350 incendios forestales que afectaron 10.000 hectáreas de bosques nativos y se mantuvo bajo la declaratoria de emergencia a 15 municipios, para ese momento, 600 personas entre bomberos, defensa civil, policía, ejército, fuerza aérea y la comunidad en general trabajaron para extinguir incendios en los municipios caucanos de Caldon y Sucre y mantuvieron bajo control conflagraciones en Popayán, Morales, Suárez, Piendamó y Jambaló; municipios que se ubican en la zona andina central del departamento y que coinciden con los valores medios y altos del mapa de zonificación por amenaza obtenido en este ejercicio.

- El Departamento del Cauca no cuenta con bases de datos y herramientas que registren cada uno de los eventos ocurridos por incendios forestales, que permitan posteriormente evaluar el impacto ambiental ocurrido y así tomar medidas adecuadas para ayudar a la regeneración de la vegetación y menos estudios de riesgo a incendios forestales, que permitan identificar áreas prioritarias para la gestión del riesgo. La implementación de un SIG le permitirá a las autoridades, comunidades y entidades involucradas en este tema, generar y trazar tanto políticas de prevención como rutas de atención y alarmas tempranas para atender este problema, es decir el SIG se convierte en una herramienta para la toma de decisiones.

- Determinar el riesgo de ocurrencia de incendios forestales es de gran importancia, ya que estos son conceptuados como el factor de perturbación que más daño causa a los ecosistemas, convirtiéndose en una verdadera amenaza para la biodiversidad.

- Según LA GOBERNACION DEL CAUCA, el 86,6% del territorio caucano, corresponden a ecosistemas estratégicos y biodiversos entre los que se encuentran: Pacífico (Choco Biogeográfico), Piedemonte Amazónico (Bota Caucana), Cuenca Río Páez (Tierradentro), Macizo colombiano, Páramo y Subpáramo todos estos de gran fragilidad.
- La problemática se abordó a partir de un análisis previo de los temas que se consideran tienen influencia directa ya sea en la ocurrencia o en la propagación del fuego, la selección de factores como el relieve, cobertura vegetal, accesibilidad, insolación e índice de aridez, permitieron obtener el mapa de zonificación de amenaza a incendios forestales en el Departamento del Cauca.
- El mapa vial y el mapa de cobertura vegetal fueron reclasificados en rangos de 0, 85, 170 y 255; los mapas del grado de la pendiente, insolación y exceso hídrico anual fueron reclasificados por pertenencia difusa.
- Las puntuaciones en los atributos son normalizadas a efectos de eliminar problemas de cálculo originados por las diferentes escalas y/o unidades empleadas en la matriz de decisión.
- La aplicación de las Técnicas de Evaluación Multicriterio en el ámbito de la Geomática requiere que cada variable o factor temático deben ser estructurados como una matriz, en la cual los criterios ocupan las filas de la matriz y las alternativas propias de cada criterio ocuparán las columnas.
- La problemática de los incendios forestales debe abordarse desde la prevención, enfatizando en la motivación de los pobladores y su actitud negligente y/o irresponsable con los recursos naturales y por ende con el ambiente.
- La sinergia de actores debe orientar esfuerzos en educación para el conocimiento de los recursos naturales y como protegerlos, además de incluir campañas de difusión que

incentiven a la utilización de prácticas alternativas a las quemas para la eliminación de desechos vegetales.

- En el presente estudio se utilizó el Método de Jerarquías Analíticas (MAJ) propuesto por Saaty. La finalidad es comparar la importancia de uno de los factores sobre cada uno de los demás ( $a_{ij}$ ), para posteriormente determinar el eigenvector principal, el cual establece los pesos ( $w_j$ ); y el eigenvalor que proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores.

- Los números digitales del mapa de zonificación de amenaza a incendios forestales en el Departamento del Cauca, fluctúan en un rango de 38 a 255, donde el número digital 38, corresponde a las áreas con menor grado de amenaza a presentar un incendio forestal y el número digital 255, corresponde a las áreas con mayor grado de amenaza a presentar un incendio forestal, obteniendo mayor amenaza en las ecoregiones: Altoandina fría, interandina media y valles interandinos y menor amenaza en las ecoregiones: Marino litoral, Bota Caucana, Chocó Biogeográfico, páramo, bosque de niebla y zonas nivales.

## **6. RECOMENDACIONES**

- Es importante destacar que la metodología aplicada en este estudio permite ser extrapolada a otros escenarios, involucrando nuevas variables que permitirán enriquecer cada vez más los resultados obtenidos. Sin embargo, resulta vital que quienes están encargados de tomar decisiones territoriales, conozcan y tomen conciencia de que la Geomática y las Técnicas de Evaluación Multicriterio son una base técnica de gran valor para estudios de planificación y gestión territorial.
- El presente trabajo trata de definir metodológicamente la Amenaza a incendios forestales, es necesario realizar trabajos para definir la vulnerabilidad y así combinarla con la amenaza para determinar el riesgo a incendios forestales.
- En la metodología desarrollada en el presente estudio, se definió la amenaza con la variable de exceso hídrico anual, es necesario complementarla con la variable de déficit hídrico anual.
- Tener como áreas prioritarias de referencia para la gestión del riesgo las ecoregiones: Altoandina fría, interandina media y valles interandinos.
- Convocar a las Corporaciones Autónomas Regionales y a las Empresas Prestadoras de Servicios Públicos para la definición y desarrollo de medidas preventivas y de preparación.
- Presentar por parte de las Corporaciones Autónomas Regionales y a las Empresas Prestadoras de Servicios Públicos un Plan de Contingencia Departamental para Incendios Forestales.
- Mantener el monitoreo en los municipios y comunidades más vulnerables a través de Sistemas de Alerta Temprana o mecanismos de seguimiento directo que permita actuar a tiempo en las comunidades.

- Realizar campañas de comunicación a los ciudadanos para que adopten medidas que contribuyan a evitar incendios forestales en sus territorios (evitar las llamadas quemas controladas, no dejar elementos que puedan generar fuego, no dejar fogatas activas).

## BIBLIOGRAFIA

- Almorox, J. (15 de febrero de 2013). *CLASIFICACION DE THORNTHWAITE*. Recuperado el 10 de octubre de 2016, de Universidad Politécnica de Madrid: <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/clasificacionesclimaticas/Thornthwaiteclasificacionclimatica.pdf>
- Barredo, J. (1999). Los SIG en la Ordenación del Territorio: Posibilidades y desarrollo utilizando evaluación Multicriterio. En J. Barredo, *En Sistemas de Información Geográfica y Teledetección Espacial Aplicadas a la Ordenación del Territorio y el Medio Ambiente* (págs. 105-115). Talca: Universidad de Talca.
- Colson, G., & De Bruyn, C. (1989). *Models and Methods in Multiple Objective Decision Making*. London: Pergamon.
- Eastman, J. R. (2012). *IDRISI Selva Manual. Versión 17*. Massachusetts: Clark University.
- Eslava, J. y. (1986). *Contribución al régimen térmico y pluviométrico de Colombia. Colombia Geográfica Vol XII, N° 2*. Bogotá, D.C.
- FAO. (2011). *Situación de los Bosques en el Mundo*. Roma, Italia: FAO.
- GOBERNACION DEL CAUCA. (2004). *PLAN DEPARTAMENTAL DE DESARROLLO 2004 – 2007: Por el derecho a la diferencia*. Popayán.
- Gómez Delgado, M., & Barredo Cano, J. (2006). *Sistemas de Información Geográfica y evaluación MultiCriterio en la ordenación del territorio*. Ciudad de Mexico.: Alfaomega Grupo Editor.
- IDEAM. (2010). *Informe Anual sobre el estado de Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia*. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM. (2011). *Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000*. Bogotá D.C.: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM.
- IGAC. (2005). Curso de percepción remota y procesamiento digital de imágenes aplicado a levantamientos de cobertura y uso de la tierra. En I. G. CODAZZI. Santa fe de Bogotá.: IGAC.
- Janssen, R., & Rietveld, P. (1999). *Multicriteria analysis and geographical information systems: an application to agricultural land use in the netherlands*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- MAVDT. (2010). *Los Incendios Forestales en Colombia*. Bogotá: MAVDT.



Saaty, T. (1980). *The Analytical Hierarchy Process*. New York: Mc Graw Hill.

Saaty, T. (1997). *Toma de decisiones para líderes*. Santiago de Chile: Universidad de Santiago de Chile.

Tintinango, D. C. (2013). *Plan de contingencia municipal en incendios forestales de Sotará, Departamento del Cauca*. Paispamba, Cauca.