

**Propuesta de un índice de dificultad de extinción de incendios de la cobertura vegetal. Caso municipio de Santiago de Cali, Departamento del Valle del Cauca - Colombia**



**Francia Helena Bernal Toro**

**Universidad de Manizales**  
**Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas**  
**Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**  
**Santiago de Cali, Colombia**  
**2019**

**Propuesta de un índice de dificultad de extinción de incendios de la cobertura vegetal. Caso municipio de Santiago de Cali, Departamento del Valle del Cauca - Colombia**



**Francia Helena Bernal Toro**

**Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

**Director:**

**Rogelio Pineda Murillo**

**PhD Geografía**

**Línea de Investigación:**

**Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente DSMA**

**Universidad de Manizales**

**Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas**

**Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

**Santiago de Cali, Colombia**

**2019**

**Nota de aceptación**

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad de Manizales para optar al título de Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.

**Luis Alberto Vargas Marín MSc.**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

Santiago de Cali, 21 de agosto de 2019

## **Agradecimientos**

A mi familia.

Sin duda alguna mi eterno agradecimiento al Dr. Álvaro del Campo Parra por su constante e invaluable apoyo a lo largo de este proceso.

Al Dr. Rogelio Murillo Pineda, quien me asesoro de manera muy acertada para culminar de manera exitosa el presente trabajo.

Al Benemérito Cuerpo de Bomberos de Cali por el apoyo incondicional en el desarrollo del presente trabajo, especialmente al Capitán Jairo Soto.

Al Ing. Jairo Rosero Narvárez, quien puso a mi disposición su experticia en materia de Sistemas de Información Geográfica.

## Resumen

El trabajo se desarrolla en el Municipio de Cali, cuya capital es la segunda ciudad en importancia poblacional de Colombia. Este territorio se caracteriza por una alta dinámica de incendios de cobertura vegetal asociada a procesos sociales peri-urbanos. La presencia de eventos de fuego en diversos tipos de cobertura vegetal localizados en una topografía de fuertes pendientes, hace compleja la tarea de combate del fuego. El presente trabajo tiene por objetivo desarrollar y aplicar un Índice de Dificultad de Extinción de Incendios que permita, por una parte, tomar decisiones acerca de los recursos humanos y tecnológicos que deben ser movilizados según la categoría de dificultad que ofrezca el sector en donde se presente el evento y, por otra parte, orientar el desarrollo de infraestructura y demás previsiones para facilitar el despliegue de acciones de combate en áreas con alta probabilidad de ocurrencia de incendios. El índice está planteado sobre un esquema de factores o macro-variables y variables, ponderadas por parte de un grupo de expertos locales. Los factores considerados son: accesibilidad, movilidad, penetrabilidad, peligrosidad combustible, disponibilidad de recurso hídrico, contexto social de apoyo y capacidad operativa. Conceptualmente y apoyados en Bajardi (1998), se ha adoptado para el presente trabajo que la dificultad de extinción *expresa la capacidad del territorio para la actuación frente a los incendios y conatos de incendios de la cobertura vegetal por métodos convencionales y recursos disponibles por parte de las instituciones encargadas de estos eventos en la localidad*. Los resultados obtenidos muestran que las variables que introducen mayor dificultad son la accesibilidad, el tipo de combustible y la disponibilidad de recurso hídrico. En términos prácticos, el IDEICV permite conocer de antemano –a partir de la zonificación del territorio- la ruta más conveniente para llegar hasta el sitio donde se presente el fuego e, incluso, definir el tipo de recursos que deban movilizarse.

**Palabras clave:** incendios de la cobertura vegetal, dificultad de extinción y Santiago de Cali.

## Abstract

The work is carried out in the Municipality of Cali, whose capital is the second city of population importance in Colombia. This territory is characterized by a high dynamic of vegetation cover fires associated with peri-urban social processes. The presence of fire events in different types of plant cover located in a topography of strong slopes, makes the task of firefighting complex. This paper aims to develop and implement a Fire Extinction Difficulty Index that will on the one hand, make decisions about the human and technological resources that must be mobilized according to the category of difficulty offered by the sector where the event is presented and, on the other hand, to guide the development of infrastructure and other forecasts to facilitate the deployment of combat actions in areas with high probability of occurrence of fires. The index is based on a scheme of factors or macro-variables and variables, weighted by a group of local experts. The factors considered are: accessibility, mobility, penetration, fuel hazards, availability of water resources, social context of support and operational capacity. Conceptually and supported in Bajardi (1998), *it has been adopted for the present work that the difficulty of extinction expresses the capacity of the territory for the action on the fires and fires of the plant cover by conventional methods and resources available by part of the institutions in charge of these events in the locality*. The results show that the most difficult variables are accessibility, fuel type and availability of water resources. In practical terms, IDEICV makes it possible to know in advance –from the zoning of the territory - the most convenient route to reach the place where the fire is presented and even to define the type of resources to be mobilized.

**Keywords:** vegetation cover fires, difficulty of extinction and Santiago de Cali.

## Tabla de contenido

	<b>Pág.</b>
Resumen	v
Abstract	vi
1. Introducción	1
2.1 Objetivo General	4
2.2 Objetivos específicos	4
3. Problema	5
3.1 Planteamiento del problema	5
3.2 Pregunta de investigación	7
3.3 Supuestos de investigación	7
4. Justificación	8
5. Contexto territorial de la zona de estudio	9
5.1 Características generales	9
5.1.1 Medio natural	10
5.1.2 Rasgos geográficos	10
5.1.3 Clima	10
5.1.4 Hidrología	14
5.1.5 Estructura Ecológica municipal	15
5.1.6 Ecosistemas y coberturas vegetales	16
5.2 Aspectos socioeconómicos	17
5.3 Riesgo ambiental	19
6. La dinámica de los incendios de cobertura vegetal en el municipio de Santiago de Cali	20
7. Marco teórico-conceptual	21
7.1 Aspectos teórico-conceptuales	21
8. Marco de política y normativa pública para la gestión del riesgo de incendios de cobertura vegetal en Colombia	27
9. Metodología	33
9.1 Unidad de análisis	33
9.2 El proceso investigativo	33
9.3 Técnicas e instrumentos de recolección de información	36

10. Resultados	37
10.1 El modelo conceptual de índice de dificultad de extinción de incendios de la cobertura vegetal	37
10.2 Descripción y análisis de las variables del Índice de Dificultad de Extinción	38
10.3 Peso de los factores y variables en la Dificultad de Extinción de incendios	44
10.4 Algoritmo del Índice de Dificultad de Extinción (IDE)	45
10.5 Representación espacial del índice propuesto en la franja media rural del municipio de Cali	46
10.6 Accesibilidad	46
10.7 Movilidad	47
10.8 Penetrabilidad	48
10.9 Peligrosidad del combustible	49
10.10 Recurso hídrico	50
10.11 Contexto social Operacional	52
10.12 Capacidad de respuesta institucional	52
10.13 Índice de Dificultad de Extinción (IDE)	53
11. Conclusiones y Recomendaciones	55
Lista de referencias	57
Apéndice	63



## Lista cuadros

	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. Componentes del sistema hídrico Municipio de Santiago de Cali	15
Cuadro 2. Ecosistemas y biomas presentes en el municipio de Santiago de Cali.	16
Cuadro 3. Variables secundarias – Accesibilidad (Acc)	38
Cuadro 4. Variables secundarias – Movilidad (Mo)	39
Cuadro 5. Variables secundarias – Penetrabilidad (Pe)	39
Cuadro 6. Variables secundarias – Peligrosidad combustible (Pc)	41
Cuadro 7. Variables secundarias – Recurso hídrico (Rh)	41
Cuadro 8. Variables secundarias – Contexto social operacional (Cs)	42
Cuadro 9. Variables secundarias – Capacidad respuesta institucional bomberos Cali (Cri)	43
Cuadro 10. Factores o macro-variables de mayor incidencia en la dificultad de extinción de incendios de cobertura vegetal en la zona de ladera del Municipio de Santiago de Cali	44
Cuadro 11. Áreas y porcentajes por categorías de IDE en la zona de estudio	53

## Lista figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Límites Municipio de Santiago de Cali	9
Figura 2. Precipitación mensual promedio multianual	11
Figura 3. Variación media multianual de la precipitación (A) y de la temperatura (B)	11
Figura 4. Temperatura promedio/hora multianual	12
Figura 5. Variación de la precipitación (cuadro superior) y la temperatura (Cuadro inferior) durante los eventos extremos de “Niño” (franja izquierda) y “Niña” (franja derecha)	12
Figura 6. Dinámica de vientos. Municipio de Santiago de Cali.	13
Figura 7. Velocidad promedio del viento en el Municipio de Santiago de Cali	14
Figura 8. Mapa de la Red Hídrica de Santiago de Cali (POT - Acuerdo 069 del 2000)	14
Figura 9. Estructura Ecológica primaria y complementaria del Municipio de Santiago de Cali.	15
Figura 10. Corte transversal del paisaje municipio de Santiago de Cali.	17
Figura 11. Área Urbana y rural (corregimientos) Municipio de Santiago de Cali	18
Figura 12. Distribución anual de los incendios de cobertura vegetal en el Municipio de Santiago de Cali.	20
Figura 13. Modelo propuesto del índice de dificultad de extinción de incendios de cobertura vegetal	37
Figura 14. Accesibilidad vehicular para el área de estudio. Municipio de Santiago de Cali	47
Figura 15. Movilidad vehicular para el área de estudio. Municipio de Santiago de Cali	48
Figura 16. Penetrabilidad en el área de estudio. Municipio de Santiago de Cali	49
Figura 17. Peligrosidad del combustible en el área de estudio. Municipio de Santiago de Cali	50
Figura 18. Recurso hídrico en el área de estudio. Municipio de Santiago de Cali	51
Figura 19. Índice de Dificultad de Extinción	54

## 1. Introducción

Los incendios de la cobertura vegetal, en adelante ICV- son, por naturaleza, fenómenos complejos en la medida en que en su configuración intervienen diversos factores cuyos pesos específicos presentan una alta variabilidad tanto espacial como temporal. La convergencia de condiciones naturales como clima y tiempo atmosférico (temperatura, humedad relativa, radiación solar recibida, velocidad del viento)<sup>1</sup>, características físicas del territorio (pendiente<sup>2</sup>, orientación de la laderas), bióticas (coberturas vegetales, composición química de las especies vegetales), y factores antrópicos relacionados con actividades productivas y domésticas que usan el fuego (limpieza de potreros, eliminación de residuos domiciliarios), conflictos en el uso y tenencia del suelo (invasión de terrenos públicos, entre otros) y patologías psicológicas y sociales frecuentes en zonas rurales (piromanía, vandalismo, entre otras), condicionan o determinan la presencia y recurrencia de los ICV. En el anterior contexto, este tipo de fenómeno es catalogado en la actualidad como de naturaleza socio-natural, es decir como una problemática multicausal, de impactos multidimensionales y estrechamente relacionado con los procesos de cambio climático global y desertificación (Parra y Bernal, 2010)<sup>3</sup>.

En reconocimiento de la complejidad del fenómeno de ICV, a su escalamiento global y a sus impactos crecientes, se viene dando desde hace unas dos décadas un cambio de enfoque en la gestión del riesgo del mismo, centrando la atención en la prevención y de manera particular en la comprensión científica y el manejo técnico de la vulnerabilidad.

---

<sup>1</sup> En principio, se consideran como condiciones meteorológicas favorables para la propagación del fuego la existencia de temperatura superior a los 30 °C, humedad relativa inferior al 30% y vientos con velocidad superior a los 30 Km/h.

<sup>2</sup> Las pendientes mayores al 30% se consideran por los expertos como una variable crítica para el comportamiento del fuego.

<sup>3</sup> Parra-Lara, Álvaro del Campo y Bernal-Toro, Francia. (2010). Incendios de la cobertura vegetal y biodiversidad: una mirada a los impactos y efectos ecológicos potenciales sobre la diversidad vegetal. Rev. El Hombre y la Máquina, 35: 67-81.

Las preocupaciones científicas han estado focalizadas en el conocimiento de los regímenes del fuego en diferentes ecosistemas, de los combustibles, de las causas y de los impactos del fuego, con el fin de modelizarlo en tiempo y espacio con fines predictivos. De igual manera, el conocimiento científico obtenido se viene utilizando, con el apoyo de sistemas de información geográfica, para el desarrollo de estrategias de prevención y de planificación territorial del riesgo. Una herramienta de gran utilidad es la generación de diversos índices, entre ellos el de Dificultad de Extinción, los cuales incorporan diferentes variables (topográficas, tipo de vegetación existente, propiedades térmicas de los combustibles, características estructurales de las coberturas vegetales y sus implicaciones para las tareas de combate al fuego, entre otras (Molina, D.M. *et al*, 1998).

El citado índice conceptualmente expresa la capacidad para controlar un incendio forestal y evitar que continúe su propagación (Vélez, 2000; Chuvieco, E; Martín I, 2004; Alonso-Betanzos, *et al*, 2003), el presente trabajo lo asume como *el grado de resistencia que ofrece un territorio para el desarrollo de las labores que deben implementarse para la extinción de un ICV con la oportunidad debida, con los menores riesgos y costos posibles y considerando las posibilidades institucionales y sociales del área de referencia*. Su valor práctico es que permite, por una parte, definir estrategias de combate más acertadas (rutas, recursos requeridos, entre otros) para cada evento de fuego y, por otro lado, diseñar e implementar medidas orientadas a disminuir la dificultad del riesgo de extinción para las temporadas de fuego.

A nivel internacional se encuentran registros especialmente en España (Rodríguez y Silva, 2000; (Molina y Bardají, 1997; Bardaji y Molina, 1998; Novo, Marey y Ruiz, 2001). Para el contexto Colombiano no se posee a la fecha un índice de esta naturaleza. Contar con un índice como el que se propone, se traduce en un mejor conocimiento del territorio, saber que vías de acceso están habilitadas, donde están las fuentes de recurso hídrico cercanas, y lo más importante, la seguridad para las unidades de bomberos que deben atender las conflagraciones. Adicionalmente disponer de una herramienta como el Índice de Dificultad de Extinción de Incendios de la Cobertura Vegetal –IDEICV- contribuye al desarrollo de la política nacional de gestión del riesgo de desastres definida en la Ley 1523 de abril 24 de 2012 (Congreso de Colombia, 2012).

Las razones por las cuales se desarrolla el presente trabajo en el Municipio de Santiago de Cali, son las siguientes:

- a) El combate de los Incendios de la Cobertura Vegetal –ICV-, a nivel nacional e internacional viene generando costos crecientes en términos humanos, económicos y ecológico-ambientales (Castillo *et al.*, 2003; CDB, 2010; Raj, 2012).
- b) Es uno de los municipios que presenta, a nivel país, una mayor dinámica de incendios de cobertura vegetal (Parra-Lara y Bernal-Toro, 2011).
- c) Se dispone de estudios previos sobre ICV (Haltenhoff, 1995; Corporación Fondo de Solidaridad, 2006; Parra-Lara y Bernal-Toro, 2009, 2011a y 2011b; Giraldo y Álvarez, 2012; González, Parra-Lara y Bernal-Toro, 2009; Jiménez, 2013) que proveen información requerida para algunas variables del Índice de Dificultad de Extinción de Incendios de Cobertura Vegetal.
- d) Se cuenta con una plataforma institucional, liderada por el Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cali, reconocida por su experticia nacional e internacional en el combate de los ICV.
- e) La importancia del índice propuesto radica en que incorpora factores y variables que permiten ser aplicadas al territorio objeto de estudio y a las instituciones responsables del combate del fuego, y que su información puede ser actualizada con regularidad; además es extrapolable a otros contextos tanto regionales como nacionales.
- f) Infortunadamente en el territorio colombiano no se encuentran trabajos similares que permitan hacer una comparación para así tener resultados más certeros.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo General**

Proponer y validar un Índice de Dificultad de Extinción de Incendios de la Cobertura Vegetal – IDEICV- para el contexto del municipio de Santiago de Cali - Valle del Cauca, que contribuya a una mejor planificación de los escenarios de intervención y de toma de decisiones para el combate de este fenómeno.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Definir las variables directamente relacionadas con la dificultad de extinción de incendios de cobertura vegetal en el contexto del Municipio de Santiago de Cali, Valle del Cauca.
- b) Establecer la ponderación o peso relativo de cada una de las variables seleccionadas en función de la dificultad de extinción de incendios de cobertura vegetal.
- c) Construir un algoritmo para la integración de las variables ponderadas en función de la relación que tengan con la dificultad de extinción de incendios de cobertura vegetal.
- d) Zonificar cartográficamente, en el contexto del área de ladera del municipio de Santiago de Cali, el índice de dificultad de extinción generado a partir de información secundaria y de campo.

### 3. Problema

#### 3.1 Planteamiento del problema

Los incendios de cobertura vegetal son eventos fundamentalmente de origen antrópico, ya que el hombre usa el fuego con diferentes propósitos (SCBD, 2001; Molinero *et al.*, 2008; Vilar *et al.*, 2007). Una vez que se inicia el fuego en un lugar determinado, su complejidad, dinámica e impactos, son el resultado de la convergencia en tiempo y lugar de distintos factores como la topografía y orientación de la pendiente con respecto al sol (Pyne *et al.*, 1996; Abarca y Quiroz, 2005; Bonazountas *et al.*, 2007), las condiciones ambientales como temperatura, humedad del aire y del suelo y la intensidad del viento (Fiorucci *et al.*, 2009; Amaya y Armenteras, 2012; IDEAM, 2011) y las características de los combustibles relacionadas con la cantidad, estructura, densidad, continuidad horizontal y vertical, contenido de agua y propiedades térmicas (Beutling, 2005; Villers, 2006; Morfin-Ríos *et al.*, 2012). Sin embargo, siempre se debe tener presente la regla de oro de la comunidad de combate del fuego, en el sentido de que cada evento es singular, es decir, distinto a cualquier otro así se desarrolle en condiciones similares.

Ante la presencia de un incendio, lo comúnmente esperable es que sea combatido de manera oportuna, efectiva y con el menor riesgo tanto para el personal participante como de los medios utilizados. Hacerlo en estos términos implica el desarrollo de una serie de operaciones institucionales<sup>4</sup>, las cuales comprenden<sup>5</sup>: a) detección o notificación del incidente, b) convocatoria del equipo humano mediante sistema de alarma interna, c) localización geográfica o espacial del evento y su dimensionamiento, d) alistamiento y despliegue del personal y equipamiento, e) movilización de la(s) unidad(es) de combate hasta el área del incendio, f) reconocimiento del área a intervenir, g) definición del plan de combate<sup>6</sup>, h) despliegue en campo del personal, equipamiento y recursos (penetración del sitio), i) ataque al frente principal del incendio o de contención de la línea perimetral del fuego, j) control del incendio (extinción del

---

<sup>4</sup> Con frecuencia existen unidades de apoyo comunitario debidamente entrenadas para contener el fuego mientras llegan las unidades especializadas de combate como los bomberos.

<sup>5</sup> Algunas de estas operaciones se desarrollan de manera simultánea.

<sup>6</sup> El plan de combate puede ser redefinido en el transcurso del proceso de intervención considerando el escalamiento del evento, lo cual puede incluir la incorporación coordinada de otras entidades.

frente principal y delimitación del perímetro de seguridad cuando sea necesario), k) liquidación o extinción total del evento (remate de incandescencias), l) reagrupamiento de personal y de equipos, m) vigilancia del área para evitar el rebrote de fuego subterráneo, n) registro de datos<sup>7</sup> (georreferenciación, tipo(s) de cobertura(s) afectadas, hora de iniciación y extinción, área afectada, novedades sobre personal o equipos), y o) retorno de personal y equipos a la base (Soto, información personal, 2016).

De las anteriores operaciones son particularmente sensibles las señaladas entre los literales “a” y “h” ya que la dificultad *de control se incrementa términos exponenciales en relación al tiempo transcurrido desde el momento de origen del incendio* (Castillo, 2013). Es importante indicar que en la dificultad de extinción intervienen, además de los asuntos institucionales (personal especializado, medios de combate y cartografía temática<sup>8</sup>), la existencia y calidad de las infraestructuras para la movilidad del personal y equipamiento, las características naturales del área (topografía, vientos y tipo de vegetación, especialmente) y el acceso a fuentes de agua. La combinación de los anteriores factores y sus respectivas escalas de criticidad, configuración del grado de dificultad de extinción pueden generar sobrecostos ecológicos/ambientales, humanos, sociales e institucionales.

Teniendo en cuenta lo anterior, conocer las características naturales, de infraestructura vial y de capacidades institucionales que facilitan o dificultan las operaciones de combate de ICV, que tienen los municipios colombianos como el de Santiago de Cali, constituyen una prioridad considerando el incremento, en número y tamaño de los ICV que se vienen presentando en dichos territorios y los costos asociados.

---

<sup>7</sup> El protocolo de registro de datos puede variar de un municipio o país, aunque generalmente contiene la información requerida por las autoridades nacionales de gestión del riesgo y por la administración de la respectiva administración de la institución encargada territorialmente de combate de ICV.

<sup>8</sup> Cartografía sobre los tipos de cobertura vegetal y su peligrosidad, lo mismo que sobre la dificultad de extinción se consideran esenciales para asegurar la efectividad de las operaciones y la disminución del riesgo para el personal y equipos.



### **3.2 Pregunta de investigación**

¿Cuáles son las variables estructurales y su respectiva ponderación, que determinan la dificultad de extinción de incendios de cobertura vegetal en la franja urbano-rural del municipio de Santiago de Cali, Colombia, que contribuirán a una mejor planificación en la atención de este fenómeno?

### **3.3 Supuestos de investigación**

El grado de dificultad que ofrece el territorio para la extinción de incendios de cobertura vegetal en el área rural del Municipio de Santiago de Cali está determinado por las variables Capacidad de Respuesta, Accesibilidad, Movilidad, Penetrabilidad, Disponibilidad de Recursos Hídricos, Peligrosidad del Combustible y Seguridad Operacional.

## 4. Justificación

El desarrollo de un Índice de Dificultad de Extinción de Incendios de Cobertura Vegetal – IDEICV- para el caso colombiano, se justifica por las siguientes razones prácticas:

- a) El incremento de los incendios de cobertura vegetal en Colombia debido fundamentalmente a la acción humana, cuya tendencia positiva se espera en la mayor parte del territorio nacional por exacerbación del cambio climático y en periodos de fenómenos ENOS (“Niño” y “Niña).
- b) Los crecientes costos económicos, ecológicos, ambientales y humanos derivados del incremento de ICV en el territorio nacional.
- c) La urgencia de asegurar una mayor eficiencia, eficacia y efectividad de las operaciones de combate al fuego, ya que la cartografía del IDEICV permitiría una mejor planeación y decisiones más acertadas, disminuyendo el costo de las operaciones y un menor riesgo para el recurso humano y los medios de combate al fuego.
- d) La necesidad de disponer de un IDEICV para Colombia considerando que los desarrollados en otros países no son extrapolables al país en razón de sus contextos naturales y de infraestructura vial e institucional que son diferentes.

## 5. Contexto territorial de la zona de estudio

### 5.1 Características generales

La zona de estudio corresponde a la zona rural de ladera del Municipio de Santiago de Cali, Departamento del Valle del Cauca, el cual se encuentra entre las coordenadas 3°27'26" Latitud Norte y 76°31'42" Latitud Oeste (Meridiano de Greenwich). Está ubicado en el suroccidente del país entre la cordillera Occidental y el Valle Geográfico del Río Cauca. Limita al oriente con los municipios de Palmira, Puerto Tejada (Cauca) y Candelaria, al norte con los municipios de Yumbo y La Cumbre, al sur con el municipio de Jamundí y al occidente con los municipios de Buenaventura y Dagua (Figura 0.1). De su área total de 56166,7 Ha, el 75.4% corresponde a zona rural (Departamento Administrativo de Planeación, 2018).

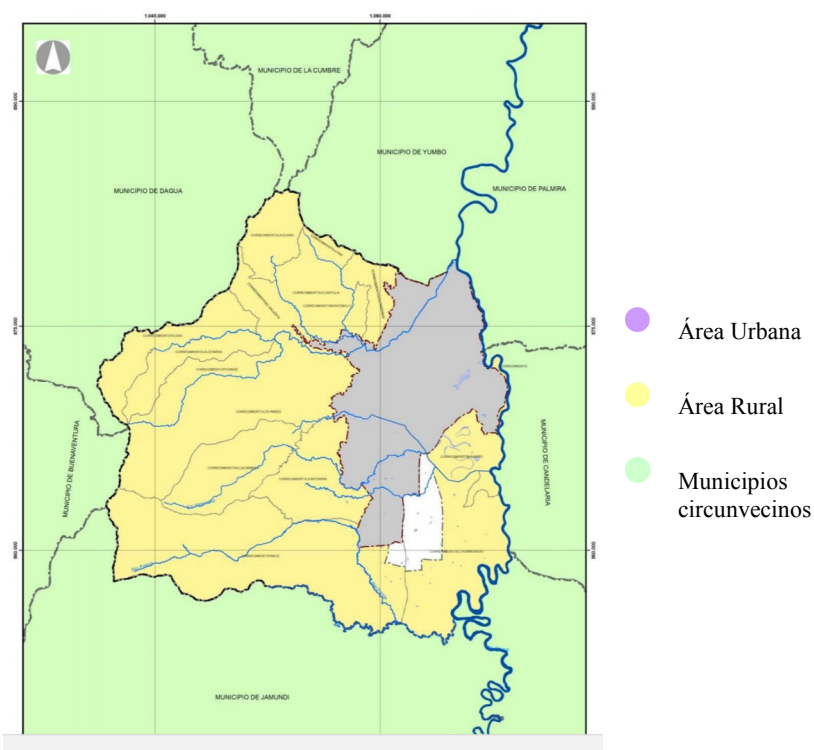


Figura 1. Límites Municipio de Santiago de Cali

Fuente: Adaptado de Departamento Administrativo de Planeación Cali, 2013

### **5.1.1 Medio natural**

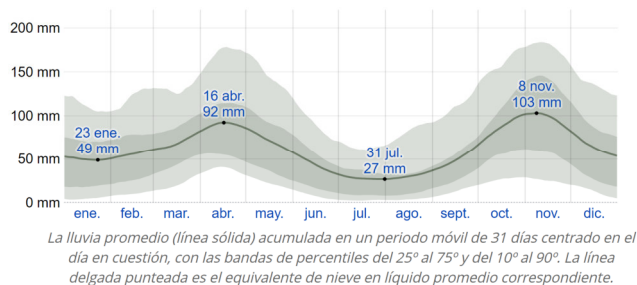
A continuación se reseñan los siguientes aspectos del medio natural relacionados con los incendios de cobertura vegetal y su dificultad de extinción.

### **5.1.2 Rasgos geográficos**

La geografía que presenta el Municipio de Santiago de Cali permite diferenciar tres espacios territoriales: los farallones o zona de cordillera, la zona de ladera y la zona plana o del Valle Geográfico del Río Cauca. La primera, está localizada entre los 2.500 y 4.100 m.s.n.m. y comprende por lo tanto el área de bosque andino en la zona media-baja y de páramo en la zona alta, así mismo da origen a la mayoría de las fuentes superficiales de agua del municipio. La zona de ladera va desde los 1200 y 2500 mnsn., siendo escenario de diversos usos del suelo (protección, producción forestal, explotación agrícola, asentamientos nucleados y vivienda dispersa, entre otros). En este espacio se demarcan espacialmente las unidades de paisaje en la medida que los ríos consolidan las cuencas de los ríos Pance, Meléndez-Lilí, Cañaveralejo, Cali-Pichindé y Aguacatal-El Chocho. La zona plana se localiza entre los 1.200 msnm y el Valle Geográfico del río Cauca, siendo el asiento de la ciudad de Cali y varios asentamientos humanos. Además del uso urbano (ciudad, núcleos y parcelaciones campestres) se destaca los cultivos agroindustriales –predominantemente caña de azúcar- y la presencia de varios humedales del sistema río Cauca (Departamento Administrativo de Planeación Municipal, 2000).

### **5.1.3 Clima**

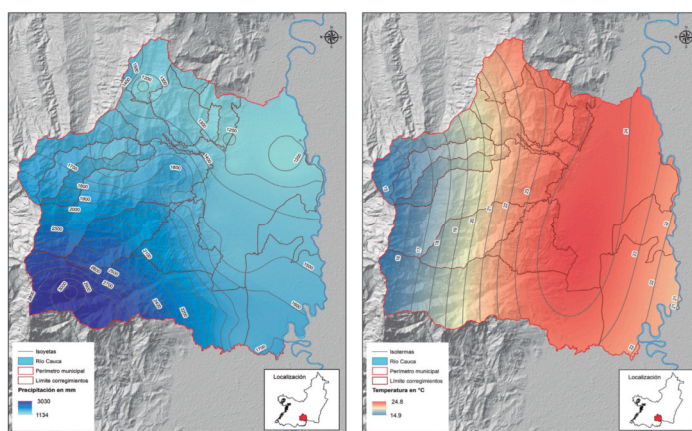
El Municipio de Santiago de Cali presenta un clima influenciado, a nivel macro, por la convergencia intertropical, la cual pasa dos veces al año por el territorio, y de manera particular por su relieve. De acuerdo a la zonificación climática de la región Andina realizada por Narváez y León (Citado por CIAT/CVC/DAGMA, 2017), el municipio se ubica dentro de la clasificación “Valles cálidos semi-húmedos y vertientes húmedas de alta montaña”, siendo la primera caracterizada por la presencia de brisas o lluvias leves en el valle y montaña, y la segunda por la presencia de una estrecha franja de precipitaciones superiores a las existentes en el valle; es decir, el municipio presenta un clima bimodal de dos periodos húmedos y dos secos a lo largo del año (figura 2).



**Figura 2.** Precipitación mensual promedio multianual

**Fuente:** Weather Spark, 2018

Especialmente la precipitación en el municipio varía aproximadamente desde los 1.200 mm/año en la zona plana, hasta los 3.000 mm/año en la parte alta (Farallones de Cali), (Ver figura 3A) debido fundamentalmente a la influencia de las corrientes húmedas provenientes del pacífico y la orografía del municipio (CIAT/CVC/DAGMA, 2017).



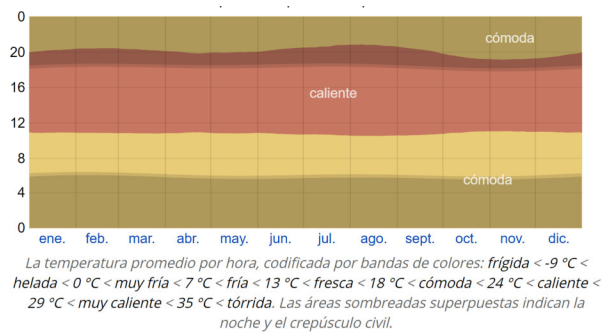
**3A.** Isoyetas medias anuales multianuales

**3B.** Isotermas medias anuales multianuales

**Figura 3.** Variación media multianual de la precipitación (A) y de la temperatura (B)

**Fuente:** CIAT / CVC / DAGMA, 2017

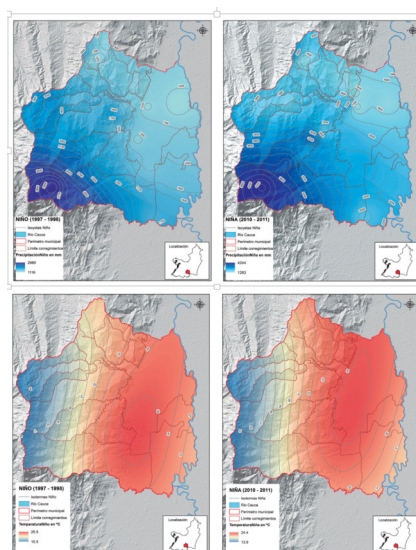
La temperatura media anual varía en el Municipio entre los 24 °C (zona plana) y los 15 °C (zona alta de Los Farallones) (Ver figura 3B), variación que es influenciada por el gradiente altitudinal (CIAT/CVC/DAGMA, 2017). El rango diario, la mayor temperatura se presenta entre las 12:00 hrs y 20:00 hrs (figura 4) (Weather Spark, 2018).



**Figura 4.** Temperatura promedio/hora multianual

**Fuente:** Weather Spark, 2018

Frente a los escenarios de variabilidad climática extremos de “Niño” y “Niña” no se observan cambios significativos en el comportamiento espacial de las precipitaciones (figura 5A) y las temperaturas (figura 5B) (CIAT/CVC/DAGMA, 2017).

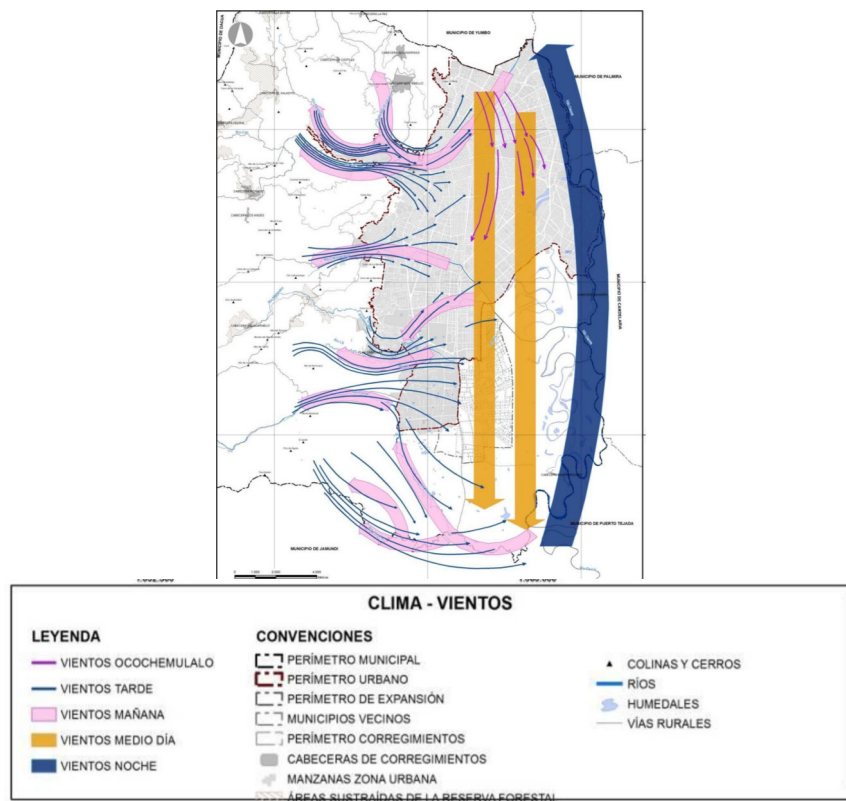


**Figura 5.** Variación de la precipitación (cuadro superior) y la temperatura (Cuadro inferior) durante los eventos extremos de “Niño” (franja izquierda) y “Niña” (franja derecha)

**Fuente:** CIAT/CVC/DAGMA, 2018

En cuanto a los vientos, en el municipio de Santiago de Cali circulan en distintas direcciones a lo largo del día, teniendo en cuenta en primer lugar la dinámica de ellos a lo largo de la cuenca río Cauca y, en segundo lugar, la relación Valle Geográfico-Cordillera Occidental (OSSO, 1997). En

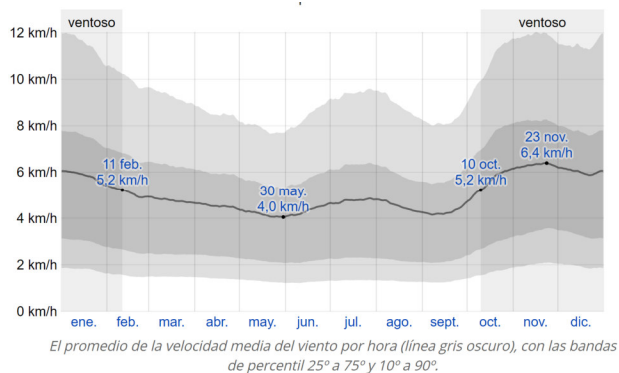
consecuencia y bajo condiciones de relativa estabilidad atmosférica en la cuenca del Cauca, se presenta vientos en dirección Sur-Norte en la mañana y en sentido contrario al medio día. Por efectos de la relación valle-cuenca los vientos son ascendentes en horas del día y generalmente a partir de las 4:00 p.m., cuando las cuencas en sus zonas medias y altas se enfrían, los vientos son descendentes, estimulados por los vientos fríos que llegan del Pacífico (ver figura 6).



*Figura 6.* Dinámica de vientos. Municipio de Santiago de Cali.

**Fuente:** DAP, 2014

Como es lógico suponer, la velocidad de los vientos varía a lo largo del año, siendo mayor de octubre a enero (figura 7).

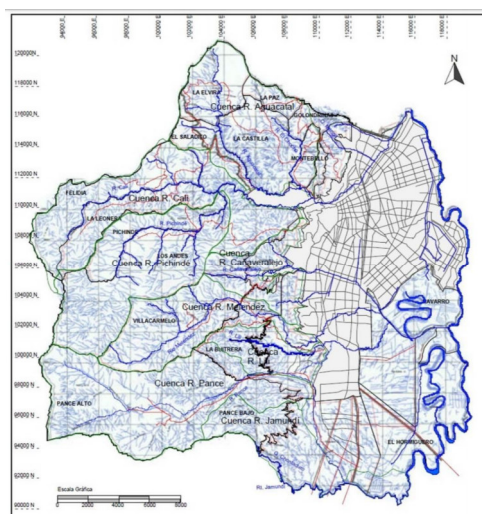


*Figura 7.* Velocidad promedio del viento en el Municipio de Santiago de Cali

**Fuente:** Weather Spark, 2018

#### 5.1.4 Hidrología

El sistema hídrico del municipio de Santiago de Cali se caracteriza por su complejidad en razón de los diferentes elementos que lo integran, lo mismo que su papel como determinante ambiental en los procesos de ocupación, uso y urbanización del territorio y como receptor de afectaciones antrópicas fundamentalmente. Está integrado por ecosistemas acuáticos loticos y lenticos, tales como ríos, quebradas, nacimientos, humedales y aguas subterráneas (ver figura 8).



*Figura 8.* Mapa de la Red Hídrica de Santiago de Cali (POT - Acuerdo 069 del 2000)

**Fuente:** DAP, 2014



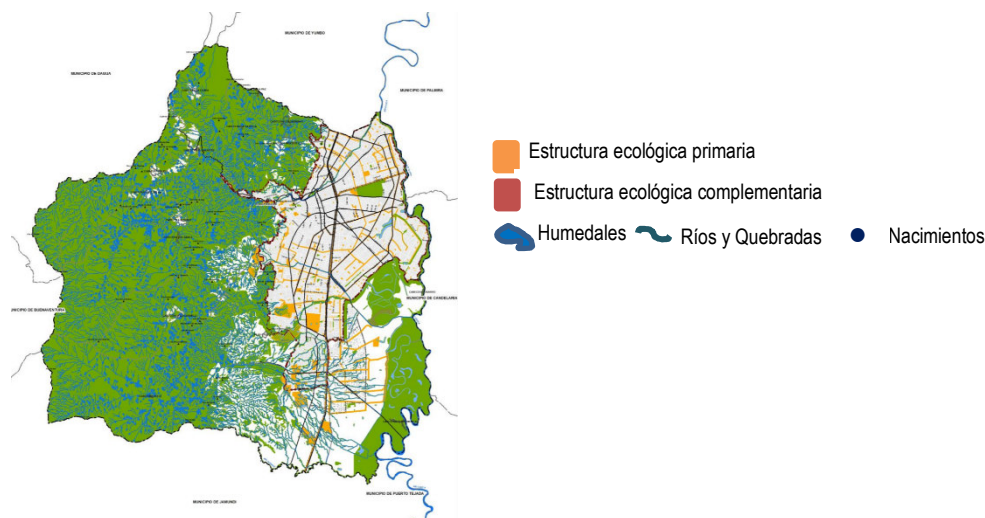
*Cuadro 1.* Componentes del sistema hídrico Municipio de Santiago de Cali

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
Ríos	Cali, Aguacatal, Meléndez, Cañaveralejo, Lili, Pance y Cauca
Número microcuencas	348
Nacimientos de agua	1987 (1924 referenciados por UMATA y 63 por la CVC)
Humedales lenticos naturales y artificiales	120
Aguas Subterráneas	Siete subcuencas (Los Chorros, Cañaveralejo, Meléndez, Lili, Pance, San Fernando, río Cali y río Cauca). Balance anual de oferta ( $81 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) – demanda ( $10,49 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) es positivo.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de DAP, 2014

### 5.1.5 Estructura Ecológica municipal

El Municipio de Santiago de Cali cuenta con una robusta estructura ecológica conectada regionalmente al Valle Geográfico del Río Cauca y a la Cordillera Occidental. Está integrada por el Parque Nacional Natural Los Farallones de Cali, la Reserva Forestal Protectora de Cali, los Ecoparques, la zona rural de regulación hídrica, las áreas sustraídas de la Reserva Forestal Protectora de Cali, la zona rural de producción sostenible, el corredor Suburbano interregional Cali – Jamundí, el Suelo rural suburbano y la cobertura vegetal urbana (Ver figura 9) (DAP, 2014).



*Figura 9.* Estructura Ecológica primaria y complementaria del Municipio de Santiago de Cali.

**Fuente:** Adaptado de Departamento Administrativo de Planeación Cali, 2014

### 5.1.6 Ecosistemas y coberturas vegetales

El Municipio de Santiago de Cali cuenta con 13 ecosistemas estratégicos que se agrupan en seis biomas (Cuadro 2), cuatro de ellos ubicados en la zona urbana del municipio y las nueve restantes en la zona rural. Se destaca por dominancia en extensión la Selva Sub-andina y el Bosque Seco y humedales, con 23.000 y 20.430 hectáreas, respectivamente (CVC, 2010).

*Cuadro 2. Ecosistemas y biomas presentes en el municipio de Santiago de Cali.*

<b>Ecosistemas estratégicos 2005</b>	<b>Biomas</b>	<b>Ecosistemas</b>	<b>Área existente en Cali (Ha)</b>	<b>Superficie con alto grado de conservación natural (Ha)</b>
<b>Páramo</b>	Orobioma alto de los Andes	Bosque muy frío en montaña fluvio glacial	1287.99	956.26
		Herbazales y pajonales extremadamente frío pluvial en montaña fluvio glacial	190.26	15.11
<b>Selva Andina</b>	Orobioma medio de los Andes	Bosque frío húmedo en montaña fluvio gravitacional	2049.44	1826.41
		Bosque frío muy húmedo en montaña fluvio gravitacional	8852.96	7483.95
<b>Selva Subandina</b>	Orobioma bajo de los Andes	Arbustales y matorrales medio seco montaña fluvio-gravitacional	5640.43	720.49
		Bosque medio húmedo en montaña estructural - erosional	819.28	132.16
		Bosque medio húmedo en montaña fluvio-gravitacional	13969.86	5611.07
<b>Subxerofítico</b>	Orobioma azonal	Arbustales y matorrales medio muy seco en montaña fluvio-gravitacional	13.03	4.78
<b>Bosque seco y humedales</b>	Helobioma del Valle del Cauca	Bosque cálido húmedo en planicie aluvial	434.66	5.51
		Bosque cálido seco en planicie aluvial	6684.92	0.75
	Zonobioma alternohigrico tropical del Valle del Cauca	Arbustales y matorrales medio húmedo en piedemonte coluvio-aluvial	2399.02	847.66
		Bosque cálido húmedo en piedemonte coluvio-aluvial	5268.72	192.22
		Bosque cálido seco en piedemonte aluvial	8270.01	-
			<b>55880.60</b>	<b>17796.37</b>

**Fuente:** Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Análisis preliminar de la representatividad ecosistémica, a través de la recopilación, clasificación y ajuste de información primaria y secundaria con rectificaciones de campo del mapa de ecosistemas de Colombia, para la jurisdicción del Valle del Cauca”. 2010.

Referente a coberturas vegetales, Parra (2019) establece un sistema de coberturas vegetales para la franja media-alta de la cuenca del río Cali, el cual podría ser extensiva a otras cuencas hidrográficas del Municipio considerando su similitud florística y fisonómica en términos generales. Dichas coberturas son: Pastos bajos y altos, guaduales, cañaverales, helechales, rastrojo bajo y alto, sucesión intermedia y avanzada y plantaciones forestales (ciprés, pino y eucalipto). En general, el paisaje de esta franja media-baja de las cuencas se caracteriza por presentar un mosaico de pequeños fragmentos de vegetación nativa en diferentes fases sucesionales, unidades de producción agropecuaria de auto-subsistencia y de pequeños predios denominados “casa-lotes” de vivienda permanente o de fines de semana, siendo el minifundio el tipo de propiedad predominante (DAPM, 2014).

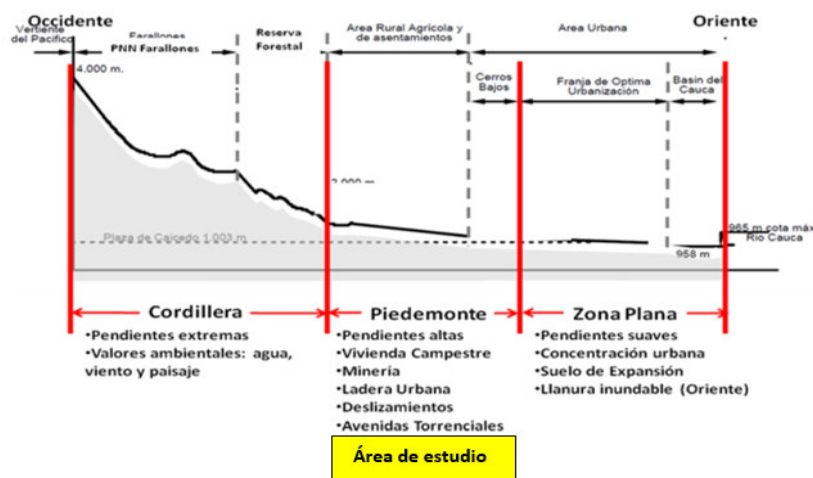
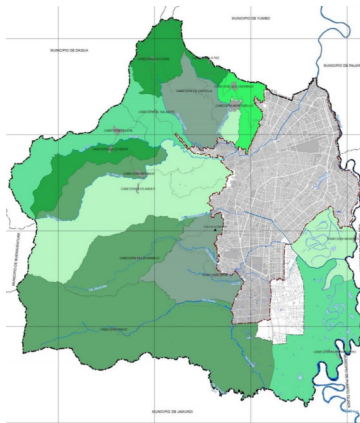


Figura 10. Corte transversal del paisaje municipio de Santiago de Cali.

Fuente: DAPM, 2014.

## 5.2 Aspectos socioeconómicos

Desde el punto de organización político-administrativo el área rural del municipio de Santiago de Cali cuenta con 15 corregimientos (ver figura 11), integrados por 85 veredas, siendo Pance y Los Andes los corregimientos de mayor extensión, y el corregimiento de Los Andes el que cuenta con el mayor número de veredas (Departamento Administrativo de Planeación, 2018). De estos 15 corregimientos, dos (Navarro y El Hormiguero) por estar localizados en la zona plana del municipio y tener un uso del suelo fundamentalmente agroindustrial de mediana y gran escala, no se consideran en el presente estudio.



*Figura 11.* Área Urbana y rural (corregimientos) Municipio de Santiago de Cali

**Fuente:** Departamento Administrativo de Planeación Cali, 2013

Se destaca que las veredas circunvecinas a la ciudad, que funcionan como verdaderas interfaces urbano-rurales debido a sus dinámicas sociales, constituyen escenarios de fuego vegetal recurrente (Parra, 2019).

En cuanto a la población humana, el municipio se destaca por una alta dinámica, como lo muestra el hecho de que desde 1912 hasta finales de la primera década del presente siglo su población se haya incrementado unas 76 veces (Escobar, 2009), como resultado fundamentalmente de los flujos de inmigración (Banguero, 2015). Para el 2016 la población del municipio es de 2.394.955 personas, de los cuales 36.626, personas habitan en la zona rural<sup>9</sup>, el 47.8% son hombres y el 52.2% mujeres, la mayor parte de ellos son mayores (25-64 años), el 16.9% son jóvenes (15 y 24 años) y el 22.5% de población infantil (0-14 años). Un rasgo poblacional importante es su carácter multiétnico, aunque predominantemente afrodescendiente con un 52% de la población urbana (Fundación Sur, 2018). Como consecuencia de su incremento poblacional, el municipio de Santiago de Cali ha venido sobrellevando un proceso de expansión urbana no solo de la ciudad capital sino también de los centros poblados de sus veredas (Rubiano y Bolaños, 2012; Jaramillo, 2016).

---

<sup>9</sup> Departamento Administrativo Nacional de Estadística –DANE-, Encuesta 2005 y Cali en Cifras 2016.

Desde el punto de vista económico el área de ladera del Municipio de Santiago de Cali se caracteriza por estar basada en una producción agrícola y pecuaria de pequeña escala (cultivo de hortalizas, plantas aromáticas y medicinales, producción de ganado porcino y aviar; el procesamiento y conservación artesanal de frutas, legumbres y hortalizas) y por una creciente oferta turística (disfrute del paisaje y de atributos hídricos, senderismo y ciclo-montañismo, principalmente) (Urcuqui, 2011; Valderrama *et al.*, 2016). Esta zona de ladera históricamente ha tenido conflictos de uso del suelo, considerando su alta importancia en el sistema hídrico municipal (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2001).

### **5.3 Riesgo ambiental**

Referente al factor de riesgo ambiental existente en el municipio, se identifican como principales fenómenos de riesgo a las avalanchas en los ríos de ladera (Cali, Aguacatal y Pance, principalmente), los deslizamientos de tierra en las zonas de ladera y los incendios de cobertura vegetal en la zona periférica a la ciudad. Los principales factores detonantes del riesgo son los procesos sociales concernientes al uso del suelo, la sobreexplotación de los recursos naturales (extracción de madera y material pétreo de los ríos), ocupación de zonas de alta fragilidad ambiental, la falta de gobernabilidad del territorio por parte del Estado, entre otras (DAPM, 2014). Los incendios de cobertura vegetal figuran como uno de los principales conflictos socio-ambientales, situación motivada por la conversión de áreas forestales a agrícolas o ganaderas (Urcuqui, 2011).

## 6. La dinámica de los incendios de cobertura vegetal en el municipio de Santiago de Cali

Los incendios de cobertura vegetal en el Municipio de Santiago de Cali tienen dos ciclos, uno mayor (julio-septiembre) y otro menor (diciembre y febrero), los cuales corresponden con los dos periodos de menor precipitación y mayor temperatura del año (Figura 12), lo cual coincide por lo encontrado por Parra-Lara (2019).

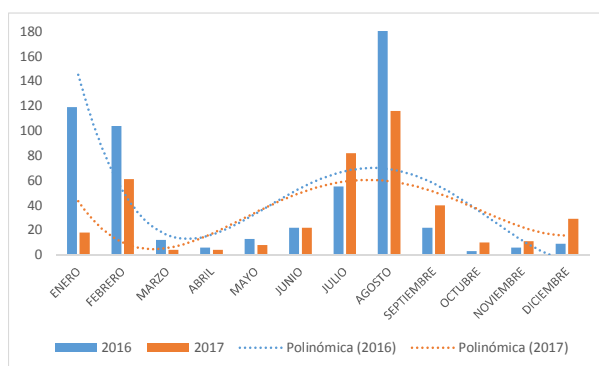


Figura 12. Distribución anual de los incendios de cobertura vegetal en el Municipio de Santiago de Cali.

**Fuente:** elaboración propia del autor a partir de datos de Soto (2018).

Los estudios realizados por Parra-Lara (2019) para la cuenca media-alta del río Cali, concluyen que *las dinámicas espaciales y temporales de los eventos del fuego en el área de estudio, si bien están condicionadas por factores climáticos, parecen estar asociados a factores de carácter humano, tal como lo indica la presencia de incendios durante todo el año -incluso en los meses más húmedos y en los años en donde el fenómeno de la Niña está presente- y a la carencia de regularidades en cuanto a días y horas de ocurrencia.*

Así mismo, Jiménez *et al* (2016) ratifica la fuerte correlación negativa existente entre la precipitación y la ocurrencia de incendios forestales en el área rural del Municipio de Santiago de Cali.

## 7. Marco teórico-conceptual

### 7.1 Aspectos teórico-conceptuales

Los incendios de cobertura vegetal como fenómeno está presente en la tierra seguramente desde el Carbonífero, periodo geológico en el cual aparecieron los primeros bosques (Cameselle y Ferradás, 2012), caracterizados por su frondosidad y ciclo corto (Uriarte, 2010). De hecho, el fuego ha jugado, desde el punto de vista evolutivo, un papel fundamental en la evolución de especies y ecosistemas, lo que permitió el desarrollo de los llamados “Regímenes naturales de fuego” para los distintos ecosistemas terrestres (Myers, 2005; Jardel *et al.*, 2014). Sin embargo, como resultado de la actividad humana sobre las diferentes coberturas vegetales a partir del Neolítico, el fenómeno del fuego amplió su presencia en las diferentes ecorregiones del planeta, escalando su frecuencia, intensidad e impacto de manera notable a partir de los años 70’s del siglo XX (The Nature Conservancy, 2004).

En la actualidad se reconoce a los incendios de cobertura vegetal como fenómenos mayoritariamente de origen antrópico, aunque condicionado por factores climáticos. Sus impactos son de manera dominante negativos, lo cual no quiere decir que todo fuego sea “malo” ya que ello depende del contexto natural y social en el cual se presente (Mayrs, 2006).

En cuanto al concepto de “incendio forestal”, este surge en el contexto de las ciencias forestales en los países templados. Hoy día se conocen varias definiciones en cuanto a lo que es el fuego forestal, es así como en España se asume como incendio forestal o incendio de monte (Vélez, R. 2000), *el fuego que se extiende sin control sobre combustibles forestales situados en el monte* (p. 3); en Portugal se define como: *fuego sin control que se inicia en terreno forestal o en tierras incultas, o bien que alcanza este terreno*; para Italia ya abarca el tema económico así: *fuego en el bosque o terreno forestal que produce daños económicos o que afecta a las funciones protectoras o recreativas del bosque*; en Túnez, ya se habla de la cantidad de terreno que se debe quemar para considerarse incendio forestal: *los que afectan a zonas de vegetación leñosa o plantaciones de más de 4 hectáreas*; para Grecia es claro el tipo de material vegetal que cuando se quema se le llama incendio forestal: *fuego que se declara en terreno forestal. Se excluyen los*

*pastizales, los cultivos y la interfaz urbanizada/medio natural; en contraste para Bulgaria, se tiene: comprenden todos los fuegos que se desarrollan en boques, plantaciones, viveros, pastizales, etc., así como las construcciones que se encuentren en estos terrenos; en Turquía, se consideran incendios forestales todos los fuegos que afectan a masas maderables y a zonas de matorral, (p. 4); por último para Colombia, lugar donde se llevó a cabo el trabajo de investigación, los incendios forestales (MAVyDT, 2002), se definen como: fuego que se extiende libremente sin control ni límites preestablecidos, destruyendo vegetación viva o muerta en terrenos de aptitud preferiblemente forestal o que sin serlo están destinados a actividades forestales en áreas de importancia ambiental. Cualquier incendio o fuego producido en las tierras forestales y que no se utiliza como medio para la protección u ordenación del bosque conforme a un plan autorizado (p. 52).*

En el anterior contexto de definiciones de incendio hacen referencia al fuego que se presenta en coberturas boscosas, es decir a *tierra que se extiende por más de 0,5 hectáreas dotada de árboles de una altura superior a 5 metros una cubierta de dosel superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ* (FAO, 2010). Esta alusión exclusiva a bosques desconoce el fuego que recurrentemente se presenta naturalmente en ciclos anuales en las savanas africanas y de otros ecosistemas con dominancia de gramíneas, razón por la cual resulta restrictiva. Para el presente estudio se adopta el concepto de que los Incendios de Cobertura Vegetal (Parra y Bernal, 2011) *“son considerados como perturbaciones ecológicas de efectos discretos o difusos, graves o destructivos, producidos por fuego de origen natural o antrópico, cuya dinámica responde fundamentalmente a la concurrencia simultánea de tres o más condiciones en un mismo sitio (tipo de vegetación, cantidad de combustible, oxígeno, condiciones meteorológicas, topografía, actividades humanas, entre otras) los cuales se desarrollan sin límites preestablecidos sobre terrenos con alguna clase de cobertura vegetal (nativa, cultivada o inducida), utilizando como fuente de combustible la vegetación viva o muerta y, por el riesgo que representa para los sistemas naturales o sociales, deben prevenirse y extinguirse”* (p. 18-19).

Ahora bien, las causas de los Incendios de la Cobertura Vegetal -ICV-, como se asume para la presente investigación y de la manera que será tratado en adelante, se pueden tipificar en cuatro



categorías que son: a) sociales; b) culturales, c) económicas y por último y en un mínimo porcentaje d) las naturales. Teniendo en cuenta este panorama, no es de extrañar que en Colombia el 95% (OCIF, 2008), de los eventos que se presentan sean originados por la mano del hombre por distintas razones que, como se mencionó antes, tiene que ver con arraigos culturales, costumbres sociales e intereses económicos.

Los Incendios de Cobertura Vegetal –ICV-, traen consigo no solo la destrucción de la cobertura vegetal, sino también afectación importante a la fauna asociada a los ecosistemas que padecen este flagelo, así mismo los seres humanos resultan impactados no solo en lo económico, sino también en la salud toda vez que los diferentes gases emitidos a la atmósfera durante la ocurrencia del incendio, generan afectaciones respiratorias y pulmonares que pueden llegar a producir, incluso, la muerte. Es también claro el impacto que genera un ICV en el deterioro del paisaje para el disfrute del mismo por parte de turistas y residentes del área, la recreación también es impactada ya que se dificulta la visita a ríos y monumentos icónicos de cada sitio, además de las pérdidas económicas que representa para las personas que se sustentan con las ventas de fines de semana.

Hacer un análisis profundo de la gran problemática que desencadenan los incendios de cobertura vegetal, dejarían conocer la verdadera magnitud de los impactos causados, sin embargo en Colombia no se ha realizado en una investigación juiciosa del fenómeno como conjunto, y es por ello que se sigue haciendo lo mismo de las décadas anteriores donde el círculo consiste en: se quema, se apaga y restaura, y en esta última muchas veces siembran especies vegetales que no responden a las condiciones físicas, químicas y biológicas con las que queda el suelo después de haber sido sometido a temperaturas que sobrepasan de los 200 °C.

Para efectos de gestión y valoración de los impactos, los eventos de fuego presentes en coberturas vegetales, se clasifican en dos categorías (Vélez, 1987):

- a) Conato: corresponde al fuego que se presenta en un área menor a una hectárea (10 mil metros cuadrados), sin tener en cuenta el tipo de vegetación afectada.

- b) Incendio: cuando el evento abarca más de una hectárea (10 mil metros cuadrados) de cobertura vegetal.

Referente a la gestión del riesgo de incendios de cobertura vegetal, se pueden identificar los siguientes paradigmas que han orientado las acciones:

- a) El *combate* como actuación reactiva, es decir extinguirlo en donde se presente, siempre y cuando sea conveniente y posible.
- b) La *eliminación* del fuego, o sea eliminarlo siempre que se presente, lo cual conllevó a la acumulación de combustibles vegetales en muchos ecosistemas en donde se consumía periódicamente de manera moderada.
- c) *Convivir* con el fuego, es decir permitirlo bajo estándares manejables y prevenirlo siempre que sea necesario.

En las últimas décadas se han desarrollado a nivel internacional un sólido conocimiento científico orientado a una mejor comprensión de los ICV, especialmente en lo relacionado con los combustibles vegetales (cuantificación, tasas de producción, estructura y composición, características térmicas, entre otros), el comportamiento del fuego *in situ* (dinámica, comportamiento térmico), lo mismo que sobre la identificación de causas y a la valoración de impactos. De igual manera, es importante destacar el cambio de enfoque en la gestión del fenómeno, abandonando el paradigma de “cero fuego” al de “convivir con el fuego” (Myers, 2005 y 2006) desde una perspectiva integral y participativa (Van Lierop, 2009; Vignote *et al.* 2013) y de prevención (Myers, 2006; Lloret, 2012). Una de las principales líneas de trabajo científico-técnico en materia de prevención, es el desarrollo de mecanismos de anticipación (Lara, 2013) como diversos índices, entre ellos el de dificultad de extinción de incendios de cobertura vegetal, IDEICV.

Los referentes conceptuales y metodológicos sobre los índices de dificultad de extinción de incendios forestales, son muy escasos a nivel mundial, al parecer no es un tema que cobre gran interés; sin embargo la escasa literatura existente (ICONA, 1990, citado por Novo, *et al.*, 2001; Bajardi y Molina, 1998; Rodríguez y Silva, 2000; Petrakis, *et al.*, 2005 y Galiana *et al.*, 2007;

Novo et al., 2001), presentan diferentes componentes y alcances y por lo tanto requerimientos de información. El que se propone en el presente trabajo, denominado *Índice de Dificultad de Extinción de Incendios de la Cobertura Vegetal, el caso de Santiago de Cali en el departamento del Valle del Cauca- Colombia*, está orientado a establecer *el grado de resistencia que ofrece un territorio para el desarrollo de las labores que deben implementarse para la extinción de un ICV con la oportunidad debida, con los menores riesgos y costos posibles considerando las posibilidades institucionales y sociales de la localidad, región o país*. En este contexto conceptual, se establecen las siguientes categorías de análisis, las cuales metodológicamente son transformadas en variables de primer orden o principales:

- a) **Accesibilidad al territorio.** Capacidad que tienen los medios terrestres para llegar a cualquier lugar del territorio en función de la infraestructura de transporte por las que se movilizan. Las variables: densidad de vías de acceso, transitabilidad de vías de acceso, modelo de combustible, pendiente dominante y estabilidad del terreno.
- b) **Movilidad en el territorio.** Mayor o menor dificultad que ofrece el área forestal al tránsito de los vehículos para extinción fuera de los trazados viales de cualquier tipo. Las variables: existencia y estado de las líneas de control, modelo de combustible, pendiente dominante y estabilidad del terreno.
- c) **Penetrabilidad al territorio.** Mayor o menor dificultad que tienen los medios humanos para acceder caminando a través del área de cobertura vegetal, en relación a los diferentes lugares del espacio que ésta comprende. Las variables: densidad de senderos y caminos, exposición del combustible, modelo de combustible, pendiente dominante y estado del terreno.
- d) **Recurso hídrico de acceso.** Disponibilidad en el territorio de lugares, tanto naturales como artificiales, de los que se puede obtener agua por los medios de extinción. Las variables: distancia del hidrante de aprovisionamiento, distancia de la vía y disponibilidad de otras fuentes de abastecimiento.

- e) **Peligrosidad de los combustibles.** Características de la cobertura vegetal que lo hacen más propensa al fuego y, por tanto, a propagarlo en escalas crecientes. Las variables: inflamabilidad cama combustible, combustibilidad cama combustible, densidad de la cama combustible, exposición del combustible, continuidad horizontal y vertical del combustible y altura de la llama.
  
- f) **Contexto social operacional.** Garantías de seguridad razonablemente apropiadas, derivadas del ambiente social local, para la vida e integridad del personal que interviene en la extinción del fuego, lo mismo que para el cuidado y conservación de los materiales, herramientas y equipos utilizados por ellos.
  
- g) **Capacidad de respuesta institucional de los bomberos.** Rapidez y capacidad con que los bomberos hacen presencia en el lugar o área y despliegan recursos para intervenir un evento en desarrollo.

## **8. Marco de política y normativa pública para la gestión del riesgo de incendios de cobertura vegetal en Colombia**

Para el caso colombiano y en particular del municipio de Santiago de Cali, puede afirmarse en general que la gestión del riesgo de Incendios de Cobertura Vegetal –ICV- resulta ser un proceso complejo debido a factores como:

- a) Complejidad del territorio, ya que se constituye por mosaicos de diversas unidades naturales y transformadas, de escalas variables y fenómenos sociales asociados diversos e íntimamente imbricados.
- b) Falta alineación por parte de las instituciones del Estado que intervienen en escenarios concretos, en cuanto a objetivos relacionados con la sustentabilidad del desarrollo territorial.
- c) La baja gobernanza territorial, determinada por la falta de proyectos de territorio consensuados entre el Estado y los actores sociales presentes.
- d) Subvaloración de los impactos generados por los incendios de cobertura vegetal en el imaginario de la sociedad civil y el Estado.
- e) Precariedad de recursos de distinta índole que tienen las instituciones encargadas de atender de manera directa estos eventos.

Pese a lo anterior, en Colombia existen suficientes marcos de política y normativa pública que permitirían desarrollar una gestión integral del fenómeno de ICV. A continuación se hace una breve reseña de los mismos:

- a) **Constitución Política de la República de Colombia de 1991**<sup>10</sup>. Uno de cuyos mandatos centrales es el de promover un desarrollo sostenible que garantice el bienestar de las futuras generaciones a través de la conservación de la plataforma natural del país.
- b) **Decreto Ley 2811 de 1974**. (Código de los Recursos Naturales y Protección del Medio Ambiente). Prohíbe las quemas, establece procedimientos precisos y claros para la prevención y control de incendios forestales, ordena la expedición de una reglamentación para prevenir y controlar incendios forestales y recuperar áreas afectadas y además le define a la policía nacional responsabilidades al respecto.
- c) **Ley 46 1988 y Decreto 919 de 1989**. Mediante los cuales se creó y organizo el sistema nacional para la prevención y atención de desastres y se establece la obligatoriedad de incorporar la prevención y atención de desastres en los planes de desarrollo de todas las entidades territoriales y la formulación de los respectivos planes de contingencia para atender este tipo de eventos. De igual manera ordenan la organización de comités regionales y locales con funciones de planificación, articulación y coordinación de actividades.
- d) **Ley 99 de 1993**. Establece responsabilidades específicas a las autoridades ambientales territoriales para atender y prevenir desastres como parte de las estrategias orientadas a proteger el medio ambiente en sus respectivas jurisdicciones. Responsabiliza al estado de la coordinación de todos los aspectos relacionados con esta materia y de la promoción e incentivo de organismos no gubernamentales para la protección ambiental, pudiendo incluso delegar en ellos algunas funciones. Esta misma ley inviste de funciones policiales al Ministerio del Medio Ambiente, las Corporaciones Autónomas Regionales, los Departamentos, Municipios y Distritos con régimen constitucional especial.

---

<sup>10</sup> CALERO, Fabio. SAAVEDRA, Saúl. Prevención y control de incendios forestales: fortalecimiento institucional. El Departamento del Valle del Cauca ante los incendios forestales. Santiago de Cali: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2001.

- e) **Decreto 948 de 1995.** Por el cual, en el marco de la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire, prohíbe las quemas a campo abierto, de bosque natural, o de vegetación protectora y somete a control del Ministerio del Medio Ambiente y de las CAR's las fogatas con fines recreativos o quemas con fines agrícolas.
  
- f) **Ley 322 de 1996.** Crea y reglamenta el Sistema Nacional de Bomberos y le establece la responsabilidad de atender los incendios forestales. Específicamente le ordena: a) Atender oportunamente las emergencias relacionadas con incendios, explosiones y calamidades conexas, b) Investigar las causas de las emergencias que atiendan y presentar su informe oficial a las autoridades correspondientes, c) Desarrollar campañas públicas y programas de prevención de incendios y otras calamidades conexas.
  
- g) **Documento CONPES 2834 de 1996<sup>11</sup>.** Establece la necesidad de formular e implementar el “Programa Nacional para la Prevención, Control y Extinción de Incendios Forestales y rehabilitación de áreas afectadas”. Propone, entre otras cosas, el diseño y puesta en marcha de un Programa Nacional en éste campo, el desarrollo de una red de alertas bajo la coordinación de las autoridades ambientales territoriales, la creación de un programa nacional de ciencia y tecnología para bosques naturales y plantados que incluya las investigaciones identificadas en el documento y aquellas de carácter socioeconómico complementarias a las eco biológicas.
  
- h) **Documento CONPES 2948 de 1997.** Recomienda el diseño y desarrollo de acciones para prevenir y mitigar los posibles efectos del fenómeno del niño del periodo 1997-1998.

---

<sup>11</sup> Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2002. *Plan Nacional de Prevención y Control de Incendios Forestales y Restauración de Área Afectadas*. Bogotá D.C.: Imprenta Nacional de Colombia. Pág. 39.

- i) **Decreto 2340 de 1997.** El cual crea y reglamenta las Comisiones Asesoras para la prevención y mitigación de Incendios Forestales en los diferentes entes territoriales. Entre las funciones asignadas a estas comisiones están:
- Asesorar a las entidades del sistema nacional para la prevención y atención de desastres y del sistema nacional ambiental –SINA- del orden departamental, distrital, municipal, en la formulación y desarrollo de planes, programas, proyectos y actividades en materia de prevención y mitigación de incendios forestales.
  - Analizar y evaluar la problemática de incendios forestales del departamento, distrito, municipio o área metropolitana.
  - Proponer programas educativos a la comunidad en todos los aspectos relacionados con incendios forestales.
  - Evaluar el cumplimiento de planes, programas, proyectos y actividades en materia de prevención y mitigación de incendios forestales, proponer nuevas iniciativas y sugerir correctivos.
- j) **Decreto 93 de 1998.** Mediante el cual se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, incluidos los incendios forestales, sean estos de origen natural o antrópico.
- k) **Ley 599 de 2000 (Código Penal).** Establece sanciones para quienes generen daños a los recursos naturales, o afecten áreas especialmente protegidas; también para quienes contaminen el medio ambiente o alguno de sus componentes de tal forma que ponga en peligro la salud humana, los recursos fáunicos, forestales, florísticos o hidrobiológicos, además establece multa y penas a quienes prendan fuego en bosque, recurso florístico o en área de especial importancia ecológica. En especial los artículos 331, 332 y 350 hacen referencia a la penalización relacionada con incendios forestales.
- l) **Documento CONPES 3125 de 2001.** “Plan Nacional de Desarrollo Forestal” en el Subprograma “Protección en Incendios Forestales”, establece la obligación a las



entidades públicas del SINA de formular planes de contingencia regionales y municipales contra incendios forestales; la organización y 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.

- m) **Documento CONPES 3146 de 2001.** El cual permitió la formulación del “*Plan Nacional de Prevención, Control de Incendios Forestales y Restauración de las Áreas Afectadas*”<sup>12</sup> documento que sustenta en gran parte el presente proyecto de Observatorio, ya que las líneas de acción definidas en el mismo orientan en gran parte los programas y sub programas del mencionado proyecto. De manera relevante hay que destacar el ***Programa de Investigación y Mejoramiento del Conocimiento en Incendios Forestales*** precisamente con la finalidad de desarrollar toda una gestión de la problemática desde bases científicas.
- n) **Política Nacional de Investigación Ambiental**<sup>13</sup>. Que establece la necesidad de desarrollar una gestión ambiental fundamentada en conocimiento científico y técnico.
- o) **Estrategia de Fortalecimiento de la Ciencia, la Tecnología y la Educación para la Reducción de Riesgos y Atención de Desastres**<sup>14</sup>. Que define la necesidad de desarrollar procesos orientados a la Apropriación social y a la Diseminación del Conocimiento relativo a los riesgos.

---

<sup>12</sup> Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2002. *Plan Nacional de Prevención y Control de Incendios Forestales y Restauración de Área Afectadas*. Bogotá D.C.: Imprenta Nacional de Colombia. Pág. 39.

<sup>13</sup> Ministerio del Medio Ambiente, Consejo Ambiental Nacional, Departamento Nacional de Planeación y Colciencias, 2001. *Política Nacional de Investigación Ambiental*. Bogotá. <http://www.colciencias.gov.co/programas/ma/pdfs/politica.pdf>.

<sup>14</sup> Ministerio del Interior, Dirección General para la Prevención y Atención de Desastres, Departamento Nacional de Planeación, Colciencias, Ingeominas, Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Educación Nacional, 2002. *Estrategia de Fortalecimiento de la Ciencia, la Tecnología y la Educación para la Reducción de Riesgos y Atención de Desastre*. <http://www.colciencias.gov.co/programas/ma/pdfs/desastres.pdf>

- p) **Ley 1523 de 2012**<sup>15</sup>. Por la cual se adopta la política de riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones, que fija el sustento legal, con el fin de que las entidades atendiendo a su competencia frente al riesgo de desastres, realice la gestión oportuna para la prevención y atención de incendios forestales ya que están inmersos en la misma ya que generan un riesgo ecológico y como lo establece la política ambiental, la prevención es de obligatorio cumplimiento.
- q) **Ley 1575 de 2012**. Por la cual se establece la Ley general de Bomberos de Colombia. La mencionada ley concibe que los incendios forestales también serán responsabilidad de los bomberos.

Infortunadamente persiste a nivel del Estado la concepción tradicional frente a los Incendios de Cobertura Vegetal –ICV-, en el sentido de ignorar la importancia de la prevención y de la investigación y de solo reaccionar cuando este fenómeno se escala y se hace visible ante los medios de comunicación. Para el caso del Municipio de Santiago de Cali por ejemplo, en el marco de la Ley 1523 del 24 de abril del 2012 que crea la *Política y Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres*, se promovió desde el Gobierno local la formulación del Plan de Gestión del Riesgo de Incendios Forestales para el Municipio, con la intervención activa del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Cali y la Universidad Autónoma de Occidente<sup>16</sup> donde se definieron los componentes de prevención, capacitación, infraestructura y equipamiento requerido, dotación e investigación científica, incluyendo los respectivos presupuestos. Sin embargo, a pesar de haberse tenido un incremento de los ICV en el Municipio, a la fecha el citado plan de gestión no ha sido aprobado.

---

<sup>15</sup> Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=428:plantilla-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistematicos-23>

<sup>16</sup> Dicho equipo de trabajo estuvo integrado por el Capitán Jairo Soto por el BCBC y la autora del presente documento por la Universidad Autónoma de Occidente.

## 9. Metodología

El presente estudio se enmarca en un enfoque metodológico descriptivo-analítico ya que utiliza planteamientos y técnicas cuantitativas y cualitativas.

### 9.1 Unidad de análisis

La unidad conceptual de trabajo es la dificultad de extinción de incendios de cobertura vegetal, la cual no solo es re-conceptualizada para adaptarla al contexto colombiano, sino que también operativamente se traduce en un conjunto de variables pertinentes a la realidad nacional. La unidad de análisis espacial es la franja periurbana del municipio de Santiago de Cali, localizada entre los 1.100 y 2.200 msnm.

### 9.2 El proceso investigativo

El proceso metodológico definido para alcanzar los objetivos planteados para el presente trabajo, comprende los siguientes pasos:

- a) **Definición del modelo conceptual.** Se construyó un modelo conceptual basado en factores o macro-variables<sup>17</sup>, adimensionales, constituidos por variables secundarias. La primera versión del modelo fue construida por la autora del presente trabajo a partir de referentes bibliográficos y de su conocimiento sobre el tema. Dicha versión estableció tanto las variables primarias y secundarias, como su relación –directa o inversa- con la dificultad de extinción.
  
- b) **Validación empírica del modelo.** La propuesta inicial del modelo conceptual fue validado con un grupo de expertos en la gestión de operaciones de combate de incendios de cobertura vegetal, bajo el criterio de considerar únicamente las variables primarias y

---

<sup>17</sup> El concepto de factor o macro-variable alude al conjunto de variables que describen características o significados íntimamente relacionados en torno a un objeto de estudio.

secundarias que estructuralmente determinan la dificultad de extinción. Así mismo, se validó el tipo de relación de cada variable secundaria con la dificultad de extinción.

- c) **Selección de expertos.** Participaron dos grupos de expertos<sup>18</sup>: el primero, integrado por oficiales de bomberos de Cali, con experiencia en la planificación y comando de operaciones de combate a ICV y, el segundo, integrado por oficiales, suboficiales y personal experto en combate de campo de incendios, identificados a partir del reconocimiento que tienen entre sus colegas por su profundo conocimiento y experticia en el tema.
- d) **Ponderación de variables.** Considerando que el modelo propuesto es jerárquico dado que las variables tienen diferentes pesos en la determinación de la dificultad de extinción, la ponderación de las variables se hizo utilizando el método de valoración multicriterio bajo el enfoque de consulta a expertos, el cual básicamente asigna pesos a criterios de decisión a partir de la opinión calificada de expertos en alguna situación de decisión (Saaty, 1990). En el presente caso, se siguieron las orientaciones metodológicas dadas por Munda (1998). La ponderación se realizó utilizando un esquema tipo cuestionario (Apéndice 1), el cual estaba acompañado por un glosario sobre la definición, el sentido y alcance de cada una de las variables consideradas, lo mismo que sobre la mecánica de ponderación. La encuesta fue presencial, con explicaciones y orientaciones personalizadas, con el fin de garantizar la consistencia de la información solicitada y dada por cada uno de los participantes.

La ponderación fue realizada a partir de la calificación del nivel de importancia (Alta, Media y Baja) otorgada por los dos grupos de expertos reseñados en el literal anterior. Ambos grupos fueron sujetos de una inducción sobre el sentido y alcance de la investigación, lo mismo que acerca de los conceptos involucrados en el trabajo y sobre la mecánica de ponderación

---

<sup>18</sup> La categoría de *experto* está referida a personas con trayectoria en las diferentes operaciones de combate de incendios de cobertura vegetal y a la vez tengan un profundo conocimiento acerca de las características del territorio objeto de estudio, en este caso la zona rural del Municipio de Santiago de Cali.

- e) **Sistematización y procesamiento de la información.** La información obtenida fue almacenada en archivos digitales. Posteriormente se calculó la moda de las calificaciones dadas para cada variable secundaria, las cuales se adoptaron como los pesos para cada una de las variables secundarias.
- f) **Construcción del algoritmo matemático del modelo.** Considerando las variables definidas, el tipo de relación con la dificultad de extinción y el peso relativo otorgado para cada una de ellas por parte del equipo de expertos, se procedió a integrar de manera lineal (sumativa) las variables como factores del modelo. De igual forma, se establecieron tres categorías (Alta, Media y Baja) para gradar la dificultad de extinción de un ICV según el índice propuesto.
- g) **Representación espacial del modelo.** Para ello se utilizó la información pertinente a cada variable secundaria integrante del modelo conceptual para alimentar el modelo informático construido en el sistema de información geográfica. La espacialización de la información se hizo a escala 1:5.000, generándose mapas para cada variable secundaria y primaria. Las medias obtenidas se adoptan como los pesos para cada una de las variables y sub-variables.

Para la espacialización del Índice de Dificultad de Extinción –IDE- en las categorías establecidas de Alta, Media y Baja, se píxela el territorio del área de estudio en unidades de 10 m x 10 m (100m<sup>2</sup>), posteriormente se contaron el número de píxeles por categoría y se multiplicó por 100; con el fin de trabajar en unidades estandarizadas, dicho producto se dividió entre 10.000. Posteriormente se calculó el respectivo porcentaje para cada categoría sobre la base del área total.

Como producto principal se obtuvo el algoritmo matemático y la cartografía del Índice de Dificultad de Extinción de Incendios de la Cobertura Vegetal –IDEICV- derivada para el área de estudio.

### **9.3 Técnicas e instrumentos de recolección de información**

Para el almacenamiento y procesamiento de la información se utilizaron el paquete Microsoft Excel<sup>®</sup>. Para la espacialización y generación de la cartografía temática se empleó la herramienta ArcMap del software ArcGIS 10<sup>®</sup>.

Los insumos de información secundaria necesarios para llevar a cabo el trabajo (topografía, red hidrológica, red vial y de caminos, centros poblados, división político-administrativa, predios rurales, disponibilidad de recursos hídricos, entre otros), se utilizó la información digital (datos y cartografía) disponible en la Oficina de Catastro el Departamento Administrativo de Planeación del Municipio de Santiago de Cali.

## 10.Resultados

### 10.1 El modelo conceptual de índice de dificultad de extinción de incendios de la cobertura vegetal

En la figura 13 se observa el modelo conceptual del índice de dificultad de extinción de incendios de cobertura vegetal para la zona de ladera del Municipio de Santiago de Cali.

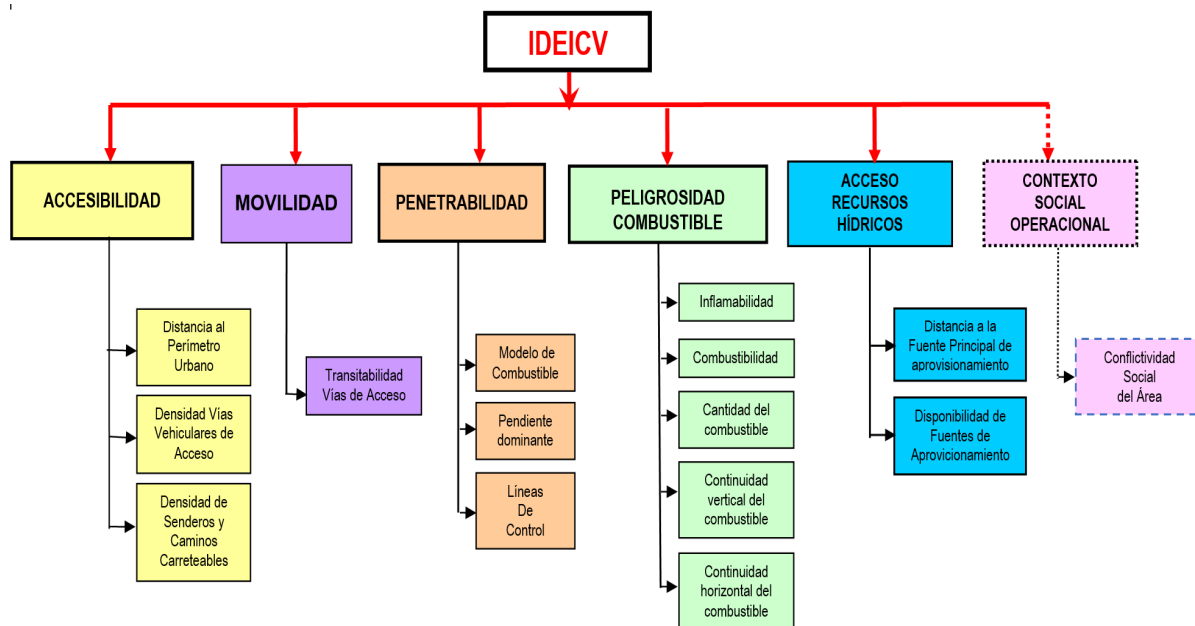


Figura 13. Modelo conceptual propuesto del índice de dificultad de extinción de incendios de cobertura vegetal

**Fuente:** Elaboración propia

Aunque inicialmente la autora del presente trabajo había considerado siete variables principales, finalmente se excluyó una (Capacidad de respuesta institucional de los bomberos), dejándose solo para estudios comparativos a nivel regional o nacional, por considerar que a nivel municipal las distintas unidades de combate se integran operando como una sola entidad. De igual forma, del análisis hecho con los grupos de expertos se excluyeron ocho variables por tener una importancia media, es decir, no determinante de la dificultad de extinción.

## 10.2 Descripción y análisis de las variables del Índice de Dificultad de Extinción

A continuación se reseñan las variables seleccionadas, su descripción, su relación con la dificultad de extinción, el indicador de medición y su moda (Cuadros 3-9), con sus correspondientes comentarios.

### a) Factor 1. **Accesibilidad (Acc)**

- **Definición:** infraestructura vial disponible para que los medios de transporte puedan llegar a cualquier punto para desarrollar actividades de combate al fuego.

Cuadro 3. Variables secundarias – Accesibilidad (Acc)

Variable	Definición	Relación con la DIFICULTAD DE EXTINCIÓN	Indicador de medición	MODA
1. Distancia del perímetro urbano por vía carretable (Dpu)	Alude a la longitud total de la(s) vía(s) referenciada(s) cartográficamente (primarias, secundarias o terciarias), que conectan la celda con el punto perimetral urbano más próximo.	<b>DIRECTA</b> (a <b>mayor</b> distancia, <b>mayor</b> dificultad)	3 = Alta distancia 1 = Baja distancia	3
2. Densidad vías vehiculares de acceso (Dva)	Cantidad de vías primarias, secundarias o terciarias de acceso por unidad de celda, por las cuales puedan circular vehículos de más de 2 tn.	<b>INVERSA</b> (a <b>mayor</b> densidad, <b>menor</b> dificultad)	3 = Baja densidad 1 = Alta densidad	3
3. Densidad de senderos y caminos carreteables (Dsc)	Cantidad de senderos y caminos cartografiados dentro de áreas con cobertura vegetal, por los cuales se puedan desplazar pequeños vehículos utilizados para el combate del fuego. Indicador.	<b>INVERSA</b> (a <b>mayor</b> densidad, <b>menor</b> dificultad)	3 = Baja densidad 1 = Alta densidad	3

- **Algoritmo del factor o variable principal:**

$$Acc[\alpha (Dpu) + \beta(1/Dva) + \gamma(1/Dsc)]$$

Del análisis de las modas de calificación de los expertos, se deduce que las tres variables tienen una alta incidencia en la dificultad de extinción de incendios.



b) Factor 2. **Movilidad (Mo)**

- **Definición:** mayor o menor dificultad que ofrece la infraestructura vial disponible al tránsito de las unidades motorizadas de extinción dentro y fuera de las coberturas vegetales para las tareas de combate al fuego.

Cuadro 4. Variables secundarias – Movilidad (Mo)

Variable	Definición	Relación con la DIFICULTAD DE EXTINCIÓN	Indicador de medición	M0DA
Transitabilidad de las vías de acceso (Tv)	Estado de las vías (primarias, secundarias o terciarias) que permitan a los medios terrestres transitar de forma continua.	<b>INVERSA</b> (a mayor transitabilidad, <b>menor</b> dificultad)	1 = Vía pavimentada 3 = Vía no pavimentada	3

- **Algoritmo del IDE en función de las variables del Factor:**

$$Mo = [\sigma(1/Tv)]$$

En general, la transitabilidad por las vías de acceso rural hasta el perímetro urbano es buena; sin embargo, a partir del mismo, dicha variable depende más del trazado de las vías considerando su diseño en zig-zag permanente y banca angosta.

c) Factor 3. **Penetrabilidad (Pe)**

- **Definición:** mayor o menor dificultad que tienen los medios humanos para acceder caminando a través del área de cobertura vegetal, en relación a los distintos lugares del espacio que ésta comprende.

Cuadro 5. Variables secundarias – Penetrabilidad (Pe)

Variables	Definición	Relación con la DIFICULTAD DE EXTINCIÓN	Indicador de medición	M0DA
1. Existencia de líneas de control o de precombate (Lc)	Existencia de líneas de control o precombate en la unidad de celda.	<b>INVERSA</b> (a mayor densidad, <b>menor</b> dificultad)	3 = Ausencia de líneas en celda 1 = Presencia líneas en celda	3

Variables	Definición	Relación con la DIFICULTAD DE EXTINCIÓN	Indicador de medición	MODA
2. Pendiente dominante (Pe)	Pendiente dominante en la respectiva celda.	<b>DIRECTA</b> (a <b>mayor</b> pendiente, <b>mayor</b> dificultad)	1 = < 25% 2 = 25,1 Y 50 % 3 = > 50 %	3
3. Tipo de vegetación existente (Tv)	Características de la vegetación que facilitan o dificultan la penetrabilidad del personal y la construcción de líneas de defensa durante el control del evento.	<b>DIRECTA</b> (a <b>mayor</b> complejidad de la vegetación (continuidad horizontal y vertical, existencia de lianas, bejucos y especies espinosas, <b>mayor</b> dificultad).	De acuerdo a los modelos de combustibles propuesto por Parra (2018), se establece que: 1 (Baja): Pasto Bajo, Pasto Alto, Cañaveral, Guadual 2 (Media): Pinar, ciprés, eucalipto, sucesión intermedia y avanzada 3 (Alta): Helechales, rastrojo bajo y alto.	3

- **Algoritmo del IDE en función de las variables del Factor:**

$$Pe[\sigma(1/Lc) + \varepsilon Pd + \eta Ve]$$

Teóricamente las tres variables consideradas tienen una fuerte incidencia en la dificultad de extinción de incendios, aunque la existencia de líneas de control puede ser intervenida con el fin de disminuir dicha dificultad.

#### d) Factor 4. **Peligrosidad del combustible (Pc)**

- **Definición:** características térmicas de la cobertura vegetal que lo hacen más propensa al fuego y, por lo tanto, a propagarlo o a intensificarlo en escalas crecientes.
- **Variables:** incluye carga/ha, continuidad horizontal y vertical, Inflamabilidad y consumibilidad de los combustibles. Se adopta la clasificación del nivel de peligrosidad establecido por Parra (2019).

Cuadro 6. Variables secundarias – Peligrosidad combustible (Pc)

Variables	Definición	Relación con la DIFICULTAD DE EXTINCIÓN	Indicador	MODA
Nivel de peligrosidad (Pe)	Es la temperatura a la cual, bajo condiciones apropiadas, se auto-inflama un combustible.	<b>DIRECTA</b> (a <b>mayor</b> peligrosidad, <b>mayor</b> dificultad de extinción)	De acuerdo a los modelos de combustibles propuesto por Parra (2018), se establece que: 1 (Bajo): Caña fistula o “cañaveral”, guadual, helecho “marranero”, rastrojo bajo y alto, sucesión intermedia y avanzada y plantaciones de ciprés. 2 (Medio): Pasto alto, pinares y plantaciones de eucaliptos. 3 (Alta): Pasto bajo y helecho “pata de gallina”	3

- **Algoritmo del IDE en función de las variables del Factor:**

$$PC[\kappa(Pe)]$$

La *Peligrosidad del combustible*, como variable agregada -resultante de varias sub-variables-, tiene una alta importancia en la dificultad de extinción; sin embargo, dicho peso puede ser reducido mediante la construcción y mantenimiento de líneas de control en los sectores con coberturas con mayores niveles de peligrosidad como en los pastizales bajos.

e) Factor 5. **Recursos hídricos (Rh)**

- **Definición:** disponibilidad en el territorio de sitios, tanto naturales como artificiales, de los que se puede obtener agua por los medios de extinción.

Cuadro 7. Variables secundarias – Recurso hídrico (Rh)

Variables	Definición	Relación con la DIFICULTAD DE EXTINCIÓN	Indicador de medición	MODA
1. Disponibilidad de fuentes de abastecimiento (Df)	Existencia de otras fuentes abastecedoras de agua (hidrantes, humedales, reservorios, piscinas, represas, quebradas o ríos)	<b>INVERSA</b> (a la existencia de fuentes de agua, <b>menor</b> dificultad)	1: Existencia fuente de abastecimiento dentro de la celda 3: Ninguna fuente de abastecimiento dentro de la celda	3
2. Distancia a la fuente principal de	Distancia de la fuente abastecedora.	<b>DIRECTA</b> (a <b>menor</b> distancia a las fuentes de	1 = Menor a 100 m de la celda 3 = Mayor a 100 m de la	3

Variables	Definición	Relación con la DIFICULTAD DE EXTINCIÓN	Indicador de medición	MODA
aprovisionamiento (Df)		agua, menor dificultad)	celda	

- **Algoritmo del IDE en función de las variables del Factor:**

$$IDE = \theta(1/Df) + \kappa Df$$

Considerando que el principal agente utilizado para el combate del fuego es el agua, tanto por costos como por su disponibilidad, resulta de alta importancia tener acceso a fuentes aprovechables en los volúmenes requeridos y en distancias que faciliten las operaciones de recarga. Para el caso del Municipio de Santiago de Cali, la disponibilidad del recurso parece ser, en opinión de los expertos consultados, un asunto manejable, es decir, de mediana importancia. Por el contrario, la distancia entre el foco del incendio y el sitio de aprovisionamiento si tiene alta incidencia en la dificultad de extinción ya que a mayores periodos de recarga, mayor probabilidad de escalamiento del incendio.

f) Factor 6. **Contexto social operacional (Cs)**

- **Definición:** garantías de seguridad razonablemente apropiadas, derivadas del ambiente social local, para la vida e integridad del personal que interviene en la extinción del fuego, lo mismo que para el cuidado y conservación de los materiales, herramientas y equipos utilizados por ellos.

Cuadro 8. Variables secundarias – Contexto social operacional (Cs)

Variables	Definición	Relación con la DIFICULTAD DE EXTINCIÓN	Indicador de medición	MODA
Conflictividad social del área (Ps)	Presencia o no de actores armados o delincuenciales en el área generadores de riesgo para el personal de combate.	<b>DIRECTA</b> (a mayor peligrosidad social del área, mayor dificultad para el combate del fuego).	1: Ausencia de actores 3: Presencia de actores  Se asigna el mismo valor por vereda	1

- **Algoritmo del IDE en función de las variables del Factor:**

$$IDE = \lambda Ps$$

Las operaciones de combate están expuestas a una doble condición de seguridad *in situ*: las generadas por el fuego y las de carácter social. Estas últimas hacen referencia al acompañamiento de la comunidad y a la protección del personal interviniente y su equipamiento de apoyo contra actores delincuenciales. En este sentido, aunque es una variable importante en el caso presentarse, es manejable pasivamente por el personal.

g) Factor 7. **Capacidad de respuesta institucional de los bomberos (Cri)**

- **Definición:** rapidez y capacidad con que los bomberos hacen presencia en el lugar o área y despliegan recursos para intervenir un evento en desarrollo.

Cuadro 9. Variables secundarias – Capacidad respuesta institucional bomberos Cali (Cri)

Variables	Definición	Relación con la DIFICULTAD DE EXTINCIÓN	Indicador de medición	MODA
1. Sistemas zonales o locales de alerta temprana (Sa)	Existencia de sistemas humanos (comunitarios o de agentes locales) o tecnológicos (cámaras, sensores), que minimicen el tiempo de intervención de los bomberos	<b>DIRECTA:</b> (existencia de sistemas de alerta, menor tiempo de intervención).	1: Existencia. 3: Ausencia.  Se asigna el mismo valor por vereda	3
2. Tiempo efectivo de respuesta institucional (Tr)	Lapso de tiempo entre el conocimiento del evento por parte de los bomberos y su salida a atender la emergencia).	<b>DIRECTA:</b> (menores tiempos de respuesta permiten una menor dificultad de extinción)	1: Menos de 30 minutos 3: Más de 30 minutos. Se asigna el mismo valor por vereda y se toma como referente la estación de bomberos encargada de atender los incendios.	3
3. Infraestructura técnica y humana (Ith)	Capacidad técnica y humana con que cuentan los bomberos para hacer frente a un incendio bajo criterios de seguridad y efectividad.	<b>DIRECTA</b> (a mejores infraestructuras disponibles, menor dificultad de extinción)	1: infraestructura suficiente 3: Infraestructura precaria. Se toma como referente la estación de bomberos encargada de la vereda.	3

- **Algoritmo del IDE en función de las variables del Factor:**

$$IDE = \mu Sa + oTr + \pi Ith$$

La capacidad de respuesta institución no solo es relevante como mecanismo para la atención oportuna de un incendio, sino también para la atención de eventos simultáneos, situación que en el actual contexto resulta altamente probable. Este factor resulta muy importante en el análisis de capacidades intermunicipales, con el fin de establecer estrategias zonales o subregionales de atención de incendios.

### 10.3 Peso de los factores y variables en la Dificultad de Extinción de incendios

Por ser un modelo jerarquizado, es importante conocer qué factores y variables influyen más en la dificultad de extinción. Del Cuadro 10 se infiere que se destaca que *Accesibilidad*, *Penetrabilidad* y *Capacidad de respuesta institucional*, son –teóricamente- los factores o macrovariables de mayor peso (23,7% cada una) y *Contexto social operacional* la de menor peso, tendencia que se conserva al ajustar el modelo para Cali eliminando el último factor (*Capacidad de respuesta institucional*).

*Cuadro 10.* Factores o macro-variables de mayor incidencia en la dificultad de extinción de incendios de cobertura vegetal en la zona de ladera del Municipio de Santiago de Cali

FACTOR	NÚMERO DE VARIABLES	PESO FACTOR		PESO AJUSTADO FACTOR	
		TOTAL	%	TOTAL	%
a) Accesibilidad	3	9	23,7	9	31,0
b) Movilidad	1	2	5,3	2	6,9
c) Penetrabilidad	3	9	23,7	9	31,0
d) Peligrosidad del combustible	5	3	7,9	3	10,3
e) Recursos hídricos	2	5	13,1	5	17,2
f) Contexto social operacional	1	1	2,6	1	3,4
g) Capacidad de respuesta institucional de los bomberos	3	9	23,7		

**Fuente:** Elaboración propia

Esto quiere decir que son los factores que se deben intervenir para disminuir la dificultad de extinción de incendios. A nivel de variables, teóricamente las relacionadas con la *Transitabilidad de las vías de acceso*, la *Disponibilidad de fuentes de abastecimiento de agua* y la *Presencia o no de actores armados o delincuenciales en el área generadores de riesgo*, parece no tener una

importancia relevante. En la primera variable aparentemente el estado pavimentado o no de la vía es un asunto secundario ya que la velocidad de circulación está condicionada por su irregularidad de trazado; la *Disponibilidad de fuentes de abastecimiento de agua*, no tiene la importancia teórica esperada considerando la abundancia de fuentes existentes en cortos trayectos en el área rural del Municipio de Santiago de Cali. La variable *Presencia o no de actores armados o delincuenciales en el área generadores de riesgo*, si bien es importante, es una condición con la cual hay que adelantar el trabajo de combate del fuego y, por lo tanto manejar en cada coyuntura.

#### 10.4 Algoritmo del Índice de Dificultad de Extinción (IDE)

El algoritmo que integra los diferentes factores y variables es el siguiente:

$$IDE = Acc[\alpha(Dpu) + \beta(1/Dva) + \gamma(1/Dsc)] + Mo[\sigma(1/Tv)] + Pe[\sigma(1/Lc) + \epsilon Pd + \eta Ve] + PC[\kappa(Pe)] + Rh[e(1/Df) + \kappa Da] + Cs[\lambda Ps] + Cri[\mu Sa + oTr + nth]$$

En donde:

**IDE:** Índice de Dificultad de Extinción

**Acc: Accesibilidad**

- *Dpu*: Distancia del perímetro urbano por vía carretable.
- *Dva*: Densidad vías vehiculares de acceso.
- *Dsc*: Densidad de senderos y caminos carretables.

**Mo: Movilidad**

- *Tv*: Transitabilidad de las vías de acceso.

**Pe: Penetrabilidad**

- *Lc*: Existencia de líneas de control o de pre-combate.
- *Pe*: Pendiente dominante.
- *Tv*: Tipo de vegetación existente.

**PC: Peligrosidad del Combustible**

- *Pe*: Nivel de peligrosidad.

**Rh: Recurso Hídrico**

- *Df*: Disponibilidad de fuentes de abastecimiento.
- *Da*: Distancia a la fuente principal de aprovisionamiento.

**Cs: Contexto Social Operacional**

- *Pd*: Presencia o no de delincuencia.

### **Cri: Capacidad de respuesta institucional**

- *Sa*: Sistemas de alerta temprana.
- *Tr*: Tiempo efectivo de respuesta institucional.
- *Ith*: Infraestructura técnica y humana.

La escala de graduación del índice propuesto es: 3: Alta; 2: Media y 1: Baja

## **10.5 Representación espacial del índice propuesto en la franja media rural del municipio de Cali**

Para una mejor comprensión de la espacialización del Índice de Dificultad de Extinción de Incendios de Cobertura Vegetal en el área de estudio, se presenta a continuación por separado el mapa y los comentarios respectivos para cada factor en función de las respectivas variables.

## **10.6 Accesibilidad**

Una consideración importante en el análisis de este factor es la disposición geométrica del área urbana de la Ciudad, a manera de bloque espacial paralelo, con respecto al área rural de estudio, razón por la cual la red vial rural conecta desde varios puntos del perímetro urbano a los corregimientos del Municipio a partir de vías primarias (Cali-Popayán y Cali-Buenaventura)<sup>19</sup> y terciarias<sup>20</sup>. Así mismo, a excepción del corregimiento de *Pance*, los demás corregimientos tienen más de una vía carretable por vehículos hasta los centros poblados o veredas. También se destaca que debido a la topografía accidentada del área de estudio, la población y las actividades productivas, agropecuarias especialmente, se localizan a borde de carretera.

---

<sup>19</sup> Troncales, transversales y accesos a capitales de Departamento que cumplen la función básica de integración de las principales zonas de producción y consumo del país y de éste con los demás países. Son vías pavimentadas (INVIAS, 2019).

<sup>20</sup> Unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí (INVIAS, 2019).



En general, las condiciones de *accesibilidad*, considerando las variables *Distancia del perímetro urbano por vía vehicular*, *Densidad vías vehiculares de acceso* y *Densidad de senderos y caminos carreteables*, oscilan de manera predominante (>70%) entre regulares y buenas (Media-Alta) en toda el área de estudio, aunque la franja correspondiente a las cotas de mayor altura no son las mejores (Figura 14).

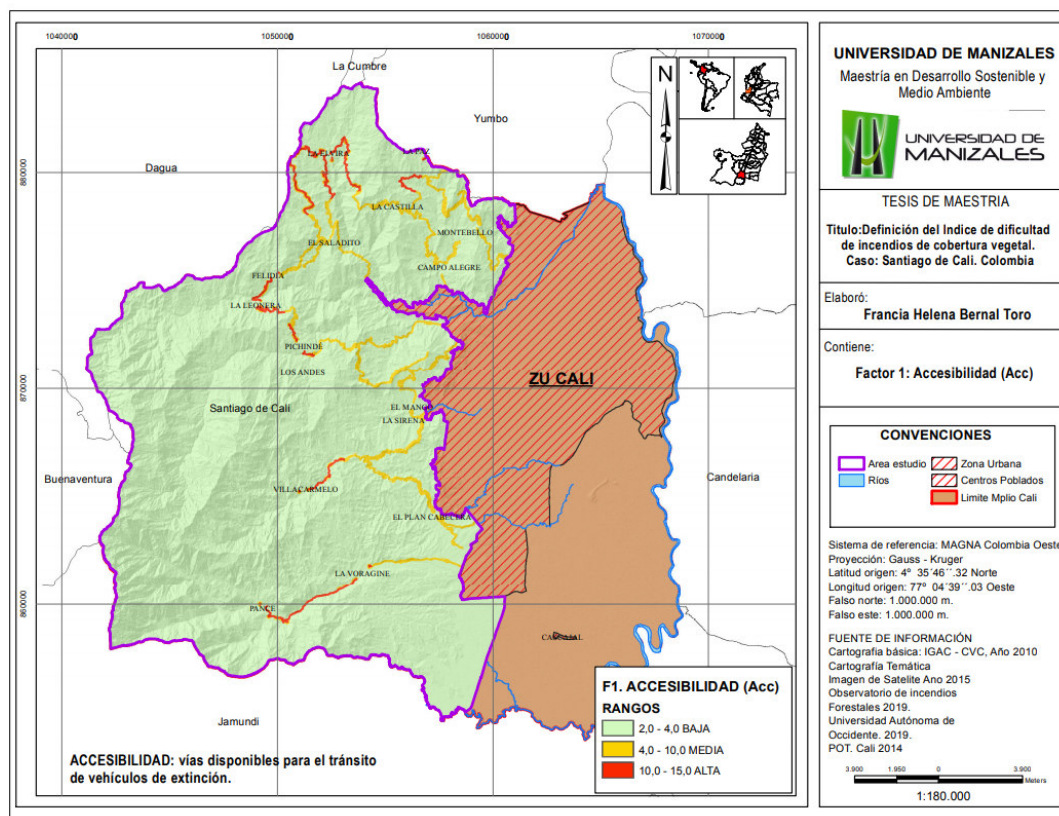


Figura 14. Accesibilidad vehicular para el área de estudio. Municipio de Santiago de Cali

Fuente: Elaboración propia

## 10.7 Movilidad

La red vial rural del Municipio de Santiago de Cali es, términos generales, adecuada para la transitabilidad de vehículos pequeños y medianos. Sin embargo, tiene dos problemas: los corredores están incompletos, es decir con tramos bien conservados, incluso pavimentados, y otros en regulares condiciones. El segundo problema es el conflicto de las vías con el agua, especialmente en periodos de lluvia en las franjas altas, considerando que las primeras sirven de

interceptoras a la escorrentía de ladera y al no contar siempre con las obras hidráulicas para evacuación del agua terminan siendo erosionadas.

En general la *Movilidad*, en función de la *Transitabilidad* vehicular, es buena (Alta-Media) para toda el área de estudio, aún para la franja altitudinal mayor (Figura 15).

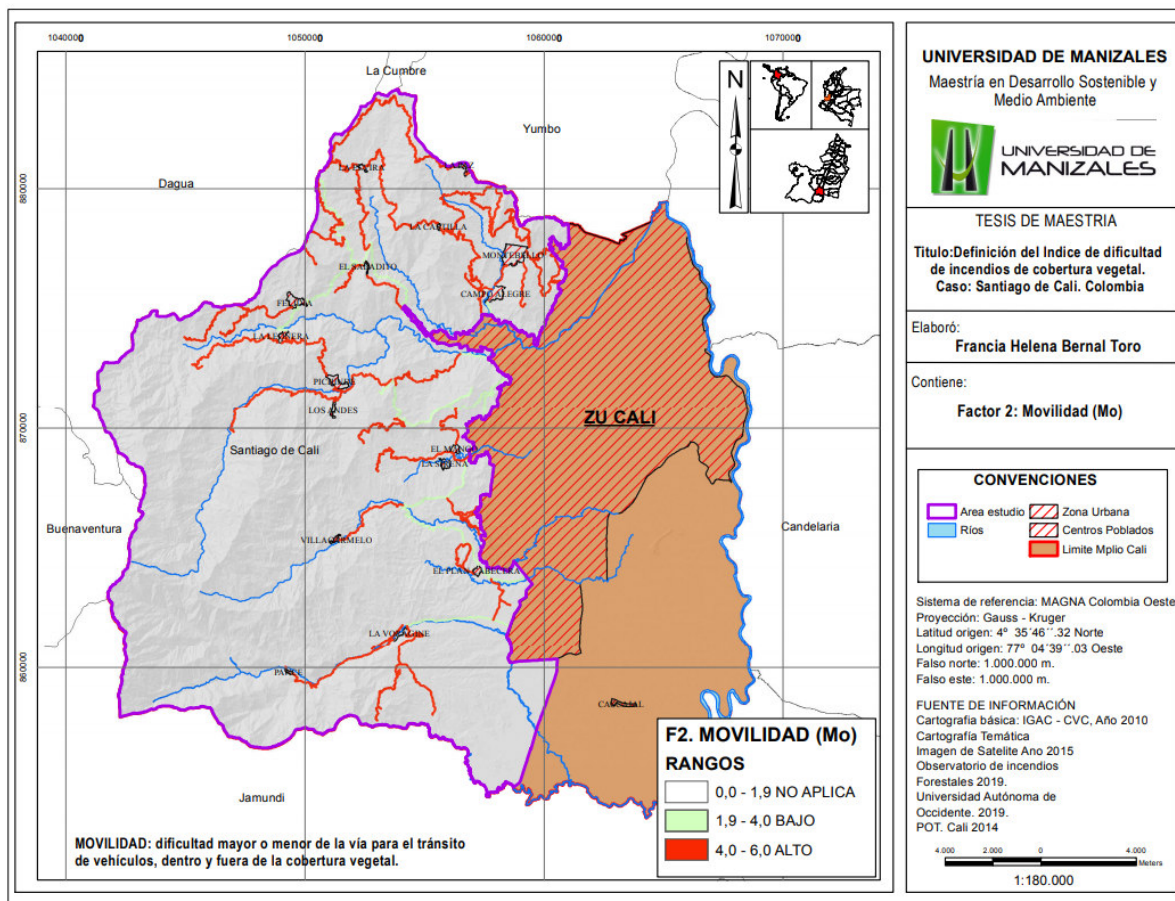


Figura 15. Movilidad vehicular para el área de estudio. Municipio de Santiago de Cali

**Fuente:** Elaboración propia.

## 10.8 Penetrabilidad

Considerando la existencia de líneas de control o de pre-combate, la pendiente dominante y el tipo de vegetación existente, la penetrabilidad en la zona de estudio es media-alta (Figura 16), es decir que no ofrece mayores dificultades a los medios humanos para acceder caminando a través del área para llegar a los sitios en donde se pueda presentar el fuego. Esta condición del territorio es favorecida por la matriz de gramíneas bajas que predomina en la franja media de las cuencas

hidrográficas. Los sitios con mayor dificultad para la penetración de brigadas de combate al fuego, están localizados en las cañadas de quebradas y en algunos sectores de los ríos. El grado de penetrabilidad disminuye en la medida en que se asciende hacia “Los Farallones de Cali”, debido al incremento la pendiente y a la accidentalidad del terreno.

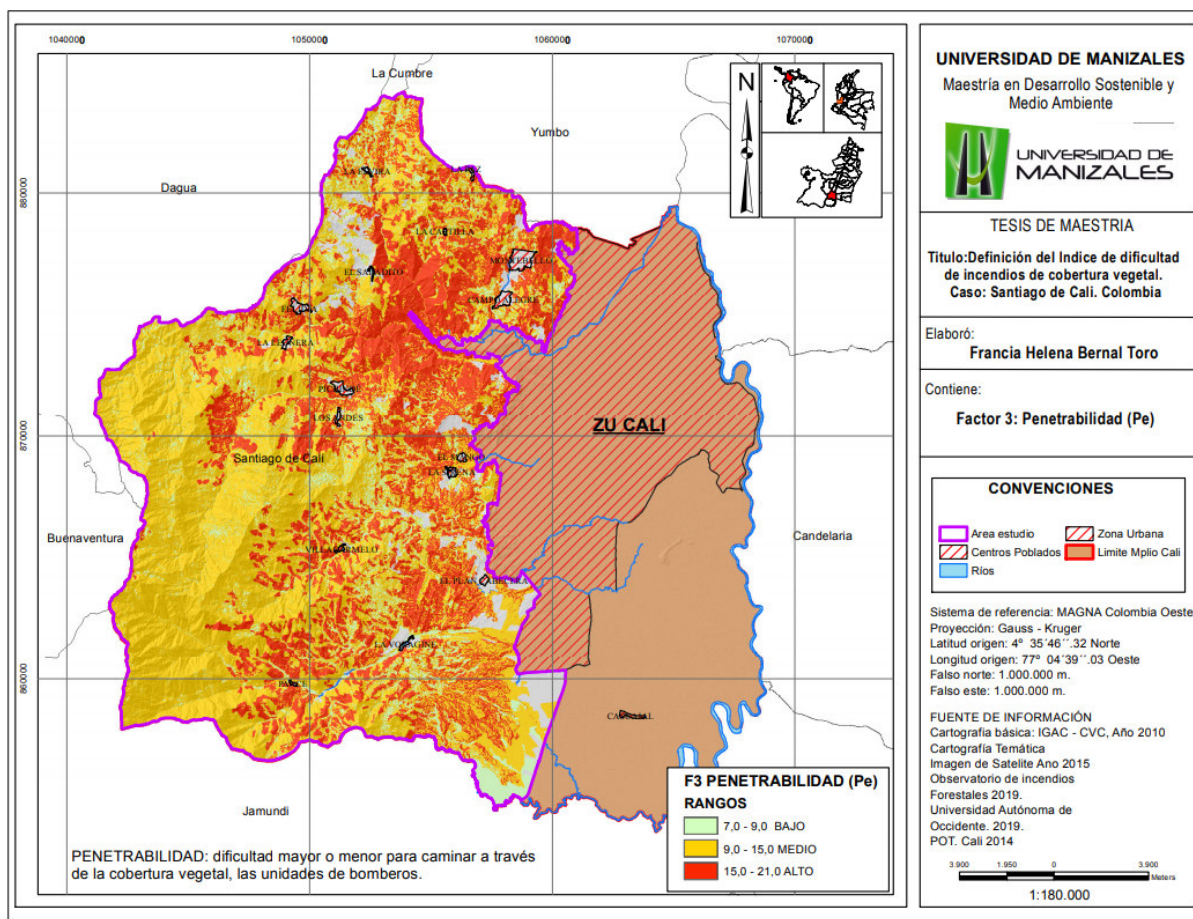


Figura 16. Penetrabilidad en el área de estudio. Municipio de Santiago de Cali

**Fuente:** Elaboración propia.

### 10.9 Peligrosidad del combustible

El nivel de peligrosidad del combustible superficial -en función de sus propiedades térmicas, de su cantidad y continuidad espacial-, está concentrado en la franja más peri-urbana del área de estudio, es decir en la franja media de las cuencas hidrográficas (Figura 17).



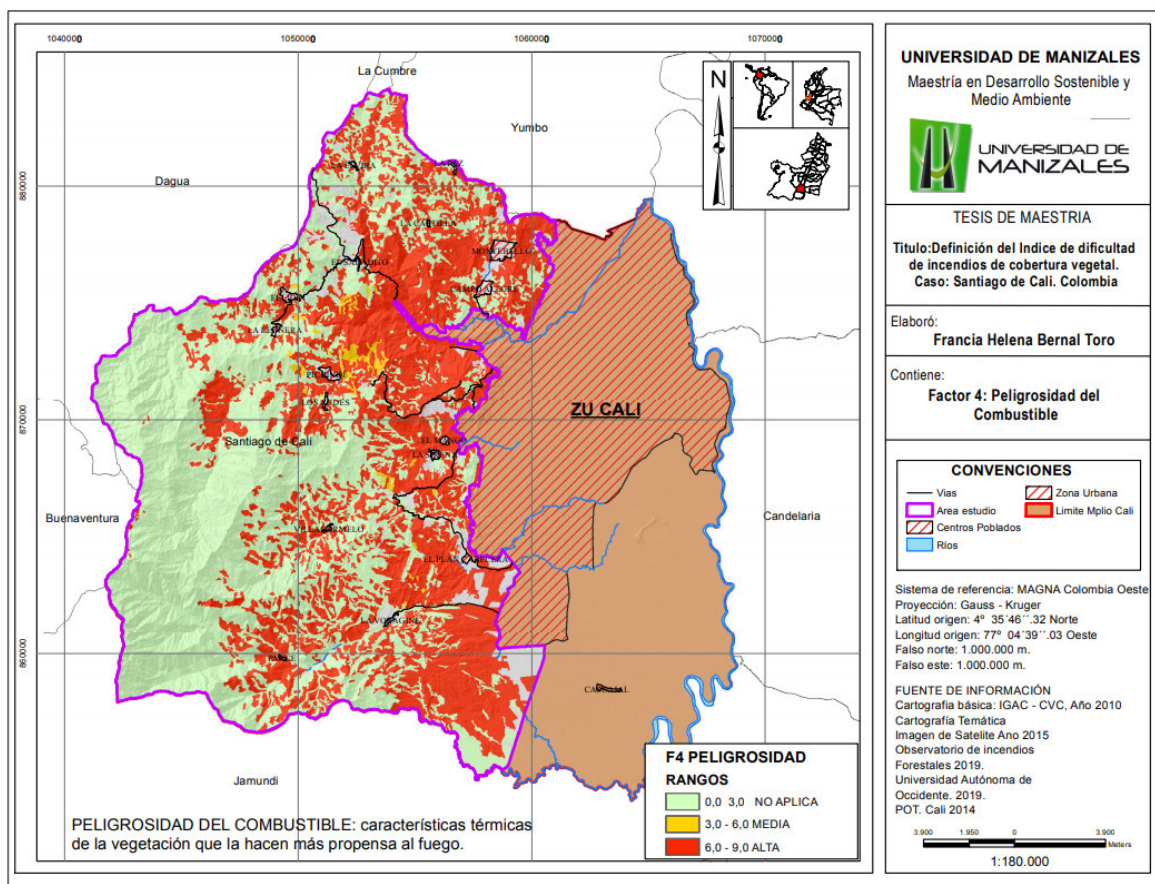


Figura 17. Peligrosidad del combustible en el área de estudio. Municipio de Santiago de Cali

**Fuente:** Elaboración propia.

La razón principal para dicha peligrosidad de los combustibles es la dominancia de pastos bajos fácilmente combustibles, condición que introduce riesgos para las brigadas de combate, especialmente en las franjas horarias de tarde-noche cuando la dinámica de vientos es del valle geográfico hacia los “Farallones”.

### 10.10 Recurso hídrico

Aunque el área de estudio corresponde a la franja media-alta de las cuencas de los ríos Cali, Aguacatal, Meléndez, Cañaveralejo, Lili y Pance, los cuales concentran el agua de escorrentía y de los numerosos nacimientos presentan en ellas, no existen sitios de concentración importantes sobre los cauces mismos o en humedales aledaños a los mismos en razón de la pendiente y de los volúmenes de caudales. En este sentido, la oferta hídrica, en relación a la disponibilidad de

fuentes de abastecimiento o a la distancia a una fuente principal de aprovisionamiento, es muy limitada para actividades de combate al fuego (Figura 18).

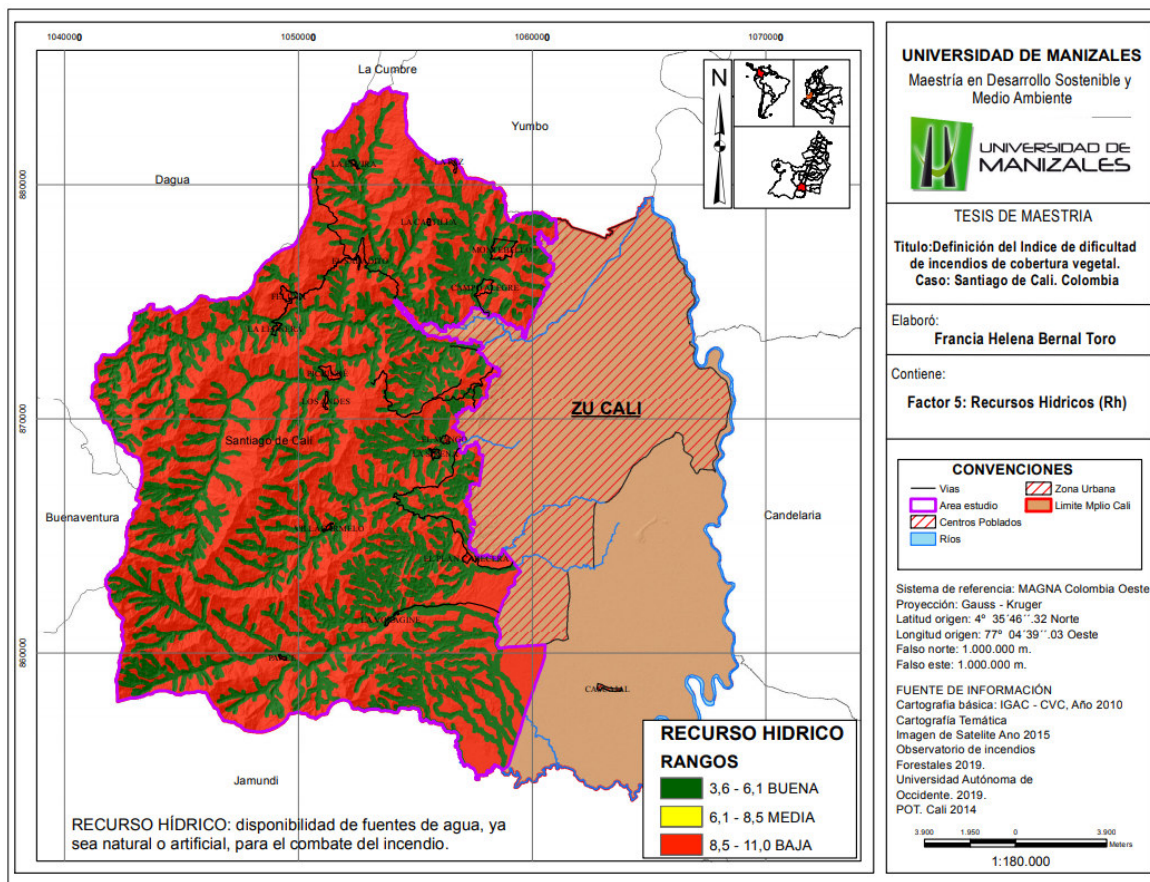


Figura 18. Recurso hídrico en el área de estudio. Municipio de Santiago de Cali

**Fuente:** Elaboración propia.

Un indicador de lo anteriormente manifestado es que los bomberos y helicópteros que intervienen en este tipo de operaciones se proveen de agua, los primeros, en los hidrantes de la Ciudad más cercanos al sitio del incendio y, los segundos, en la piscina que para tal efecto se dispone en la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez” ubicada en el área urbana de la Ciudad de Cali.

La oferta hídrica señalada en la figura 18 corresponde, por lo tanto, a la que puede abastecer bombas de espalda para la liquidación de incendios.

### **10.11 Contexto social Operacional**

Las condiciones de seguridad social para el desarrollo de operaciones de combate a incendios de cobertura vegetal, asumidas en el presente trabajo como la presencia o no de delincuencia común en el sector de intervención, es un factor que incide de manera determinante en la dificultad de extinción de estos eventos. Por una parte, puede comprometer la vida o integridad de quienes intervienen y, por otro lado, por la pérdida de la capacidad operativa de la unidad interviniente al no contar, por lo menos de manera inmediata, con las herramientas o equipos robados, los cuales son necesarios para que el fuego no escale y se torne más difícil de combatir.

Infortunadamente no existe información estadística acerca de las condiciones de seguridad social por corregimiento, excepto las referencias que al respecto hace la prensa local. Por ejemplo, la publicación estadística “Cali cómo vamos” de la Alcaldía del Municipio, la información sobre seguridad es presentada de manera agregada a nivel municipal.

Aunque el abordaje de delincuentes al personal de bomberos en el área rural del Municipio cuando realizan actividades de combate a ICV no es muy frecuente, se han presentado incidentes en donde los despojan de herramientas, equipos y artículos personales (relojes, celulares, billeteras). En otras ocasiones personal de bomberos ha sido objeto de agresiones, incluso armadas, cuando tratan de combatir incendios en zonas de fronteras invisibles entre pandillas que se disputan el dominio de territorios peri-urbanos.

Por las razones anteriormente expuestas, en el presente se excluyó el factor de *Contexto Social Operacional*.

### **10.12 Capacidad de respuesta institucional**

La capacidad de respuesta institucional para el combate de ICV es fundamental para su control oportuno, evitando de esta manera que escalen y sean más complejas y riesgosas las operaciones. Contar con sistemas de alerta temprana, tiempos efectivos de respuesta institucional e infraestructuras técnicas y humanas apropiadas, son fundamentales. Para el caso del Municipio de Santiago de Cali, los Bomberos cuentan con una red de monitoreo de las áreas con mayor probabilidad de ICV en las diferentes cuencas, integrada por cámaras de alto poder de

resolución, incluyendo de visión infrarroja, ubicadas en torres distribuidas estratégicamente para lograr mayor cobertura espacial. Esta red tecnológica de monitoreo es apoyada por una red humana de confirmación integrada por voluntarios y miembros de las juntas de acción comunal.

Para la atención y combate de ICV los Bomberos de Cali cuentan con 11 estaciones, una de ellas especializada en emergencias forestales (Alcaldía de Santiago de Cali, 2018); así mismo, disponen de recursos tecnológicos y humanos especializados para atender estos eventos, incluyendo equipos de alta tecnología ahorradora de agua (Bomberos Cali, 2019). Por otra parte, los bomberos de Cali han construido una red de apoyo a las actividades de combate de ICV, aprovechando el marco de competencias que le otorga la Ley 322 de 1996 (Sistema Nacional de Bomberos), el Decreto-ley 919 de 1989 (Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres) y el Plan nacional de prevención y control de incendios forestales y restauración de áreas afectadas (MAVDT, 2002. Dicha red interinstitucional de apoyo lo integra la Fuerza Aérea Colombiana<sup>21</sup>, la Alcaldía Municipal de Santiago de Cali, la Policía y el Ejército Nacional, la Defensa Civil y la Cruz Roja, principalmente.

La imposibilidad de contar con información histórica completa sobre las distintas variables, obligó a no considerar este factor de capacidad respuesta institucional al presente estudio.

### 10.13 Índice de Dificultad de Extinción (IDE)

La dificultad de extinción de ICV para el área de estudio es media-alta (aproximadamente 70.8%), como se deduce del cuadro 11 y se observa en la figura 19.

Cuadro 11. Áreas y porcentajes por categorías de IDE en la zona de estudio

Ítem	Baja	Media	Alta	Total
Área	10.340,3	13.963,7	11.101,3	35.405,3
%	29,2	39,4	31,4	100,0
		<b>70,8</b>		

Fuente: Elaboración propia.

<sup>21</sup> La Fuerza Aérea Colombiana –FAC- dispone de una unidad de Bamby Bucket que permite transportar y descargar 600 galones de agua desde un helicóptero.

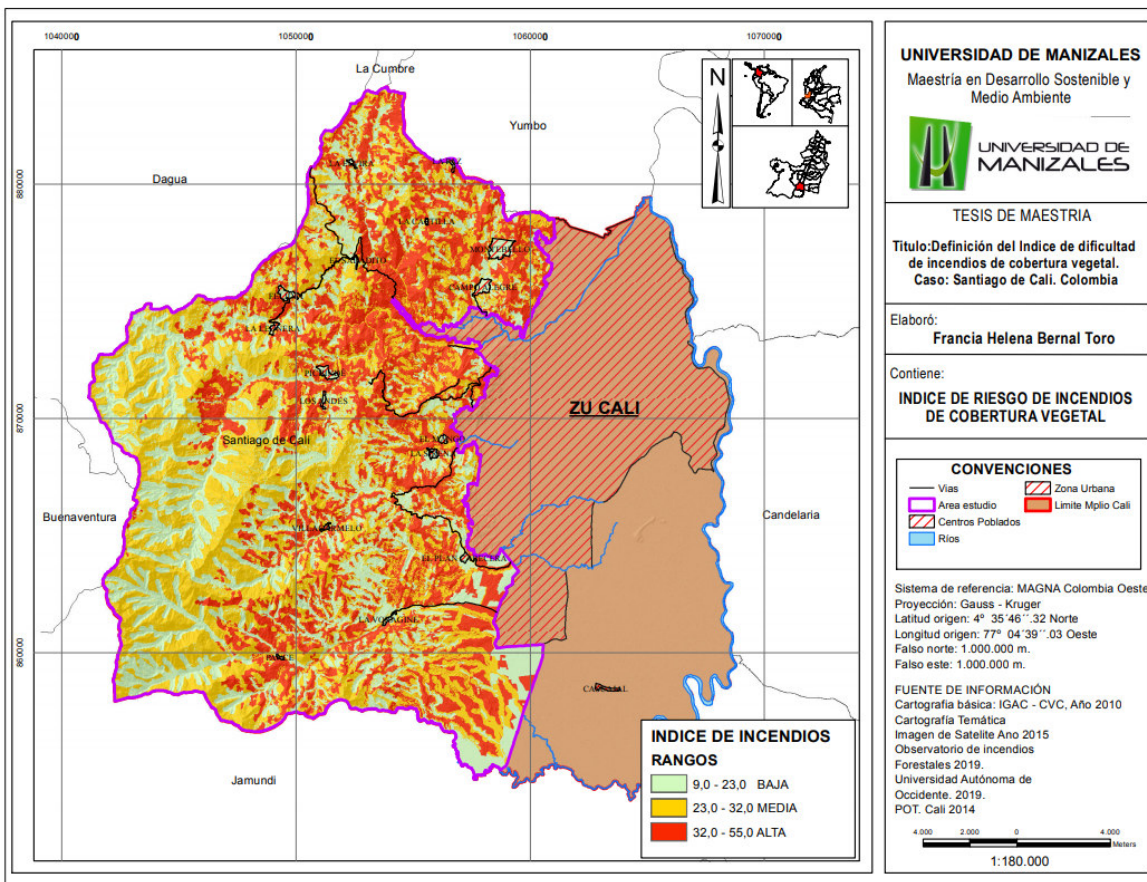


Figura 19. Índice de Dificultad de Extinción

Fuente: Elaboración propia.



## 11. Conclusiones y Recomendaciones

- a) El modelo conceptual planteado, por incorporar factores y variables apropiadas en la medida en que son pertinentes al territorio y a las instituciones de combate del fuego, es posible de aplicar en diversos otros municipios o regiones. Al no incluir variables singulares del área de estudio, podría gozar de mayor universalidad.
- b) El modelo de índice de extinción es práctico en la medida en que permite ser alimentado con información regularmente disponible u obtenible para cualquier municipio. De igual manera, el algoritmo utilizado no requiere de recursos computacionales robustos.
- c) Los resultados obtenidos de dificultad de extinción son concordantes con las características del territorio trabajado (tipo de vegetación y propiedades térmicas asociadas, baja oferta hídrica para el combate del fuego y accidentalidad topográfica, principalmente).
- d) La ausencia de trabajos similares a nivel nacional dificulta la comparación

A nivel de recomendaciones se plantean las siguientes:

- a) Ajustar el modelo a partir de una valoración multicriterio más amplia, es decir, con un mayor número de expertos de distintas municipalidades, que incluso revisen las variables aquí consideradas.
- b) Hacer una validación *in situ* de la información generada, con el propósito de identificar las qué variables están sub o sobrevaloradas.
- c) Completar la información sobre los factores no considerados en el presente trabajo (Contexto Social Operacional y Capacidad de respuesta institucional), lo mismo que sobre algunas variables (Densidad de senderos y caminos carretables, Existencia de

líneas de control o de pre-combate, Presencia o no de delincuencia, Tiempo efectivo de respuesta institucional, especialmente), lo cual le daría mayor confiabilidad al modelo.

- d) Aplicar el modelo a nivel del Departamento del Valle para analizar su validez a una escala regional.
- e) Actualizar periódicamente el índice considerando que algunas variables son dinámicas.

Finalmente expresar que el presente estudio abre una línea de trabajo con potencia investigativo y de aplicación práctica que la autora desea recorrer.

## Lista de referencias

- Alcaldía de Santiago de Cali. Departamento Administrativo de Planeación Municipal. (2014). Plan de Ordenamiento Territorial de Santiago de Cali, 1170 p. Recuperado de [http://web1.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/pot\\_pub](http://web1.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/pot_pub)
- \_\_\_\_\_. (2017). Cali en Cifras. Departamento Administrativo de Planeación. 244 p. Recuperado de <http://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/137802/libro-cali-en-cifras-capitulos/>
- \_\_\_\_\_. (2018). Cali en Cifras. Departamento Administrativo de Planeación. 244 p. Recuperado de <http://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/137802/libro-cali-en-cifras-capitulos/>
- Arnoldos, J., Navalón, X., Pastor, E., Planas, E. Zárata, L. 2004. Manual de Ingeniería Básica para la Prevención y Extinción de Incendios Forestales. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 414 p.
- Bajardi, M y Molina, D. M. (1998). Índice de dificultad de extinción: reflexiones. Revista Montes, 53, p. 5-15.
- Benemérito Cuerpo de Bomberos de Santiago de Cali. 2019. Bomberos de Cali están capacitados para atender incendios forestales. <http://bomberoscali.org/bomberos-de-cali-estan-capacitados-para-atender-incendios-forestales/>
- Centro Internacional de Agricultura Tropical / Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca/ Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente/ Estudio para la Microzonificación Climática para el Municipio de Santiago de Cali. Recuperado de [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/biblioteca/ESTUDIO\\_PARA\\_LA\\_MICROZONIFICACION\\_CLIMATICA\\_PARA\\_EL\\_MUNICIPIO\\_DE\\_SANTIAGO\\_DE\\_CALLI.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/biblioteca/ESTUDIO_PARA_LA_MICROZONIFICACION_CLIMATICA_PARA_EL_MUNICIPIO_DE_SANTIAGO_DE_CALLI.pdf)

Corporación Observatorio Sismológico del Suroccidente –OSSO. (1997).\_\_Dirección predominante de los vientos. Plan para la mitigación de riesgos en Cali. Recuperado de <http://www.osso.org.co/docu/publicac/1996/planii/cap04/text08.htm>

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). (2010). Análisis preliminar de la representatividad ecosistémica, a través de la recopilación, clasificación y ajuste de información primaria y secundaria con rectificaciones de campo del mapa de ecosistemas de Colombia, para la jurisdicción del Valle del Cauca”.

Chuvieco, E., & Martín, I. (2004). Nuevas tecnologías para la estimación de incendios forestales. Madrid: Colección de estudios ambientales y socioeconómicos. CSIC.

Departamento Administrativo de Planeación Municipal (2000). Plan de Ordenamiento Territorial. Documento Resumen. Recuperado de [http://idesc.cali.gov.co/download/pot\\_2000/pot\\_2000\\_documento\\_resumen.pdf](http://idesc.cali.gov.co/download/pot_2000/pot_2000_documento_resumen.pdf)

\_\_\_\_\_. (2014). Subdirección del POT y Servicios Públicos (2018). Revisión ordinaria del plan de ordenamiento territorial de Santiago de Cali. Documento técnico de soporte. Circular de Doctrina N 12015413220081461\_00001 del Plan de Ordenamiento Territorial, Acuerdo 0373 de 2014. Recuperado de <http://www.cali.gov.co/documentos/276/revision-y-ajuste-del-pot>

\_\_\_\_\_. (2018). Cali en Cifras 2017. Recuperado de <http://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/137802/cali-en-cifras/>

Escobar, G. (2009). La población en Santiago de Cali: Siglo XX y primera década del siglo XXI. Recuperado de <https://planeacion.cali.gov.co/informacionestadisticacali/Demografia/Poblacion%20Cali%20Siglo%20XX%20y%20Primera%20decada%20siglo%20XXI.pdf>

Galiana, F., Toraño, A. y Suárez Torres J. (Mayo, 2007). Índice de dificultad de extinción de incendios forestales (IDEIF) para la gestión territorial del Término Municipal de Chiva, Valencia. En IV Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales.

Gobernación del Valle del Cauca. (S. f.). Normatividad Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres. Secretaria de Gobierno Departamental. 160 p.

\_\_\_\_\_. (2018). Áreas protegidas Santiago de Cali. Recuperado de <http://www.valledelcauca.gov.co/corpoencuentos/publicaciones.php?id=38965>

Hernando, C.; Guijarro, M.; Díez, C.; San Martín, J.; Madrigal, J. (S. f.). Laboratorio de incendios forestales CIFOR-INIA. Recuperado de [http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/3555/Laboratorio\\_de\\_incendios\\_forestales.pdf;jsessionid=061B57C534C64D78B4834FBDAC3CA54B?sequence=1](http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/3555/Laboratorio_de_incendios_forestales.pdf;jsessionid=061B57C534C64D78B4834FBDAC3CA54B?sequence=1)

Incendios forestales dejaron millonarias pérdidas económicas para el país en 2015. (15 de febrero de 2016). *El País*. Recuperado de <http://www.elpais.com.co>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2015). El niño evoluciona a categoría fuerte. Bogotá. COL, Sala de Prensa IDEAM. Recuperado de [http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset\\_publisher/96oXgZAHRhJ/content/el-nino-evolucion-a-categoria-fuerte](http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAHRhJ/content/el-nino-evolucion-a-categoria-fuerte)

INVIAS (Instituto Nacional de Vías), 2019. Clasificación de las carreteras. Recuperado de <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-uncategorised/2706-clasificacion-de-las-carreteras>.

Ley N° 1523. *Política y Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres*. Presidencia de la República de Colombia. Bogotá D. C. (13 de abril de 2012). Recuperado de <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/ley152324042012.pdf>

Ley N° 388. *Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones.* (Julio de 1997). Recuperado de [https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley\\_0388\\_1997.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0388_1997.pdf)

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2002). Plan Nacional de Prevención, Control de Incendios Forestales y Restauración de Áreas Afectadas. Bogotá D. C.: Comisión Nacional Asesora para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales. Recuperado de [https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Los-Incendios-Forestales/554\\_plan\\_prevencion\\_incendios.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Los-Incendios-Forestales/554_plan_prevencion_incendios.pdf)

Molina, D.M., Bajardi, M. & Castellnou, M. (1998). Probabilidad de ignición, grandes incendios y dificultad de extinción. *Ecología* (12). p. 333-350. Recuperado de [http://www.magrama.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/ecologia\\_12\\_21\\_tcm7-45973.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/ecologia_12_21_tcm7-45973.pdf)

Novo-Lodeiro, N; Merey-Pérez, MF; Ruiz-González, AD. (2001). Índices territoriales de peligro de incendio forestal. Aplicación a la Sierra del Páramo (Lugo). En: *Revista Montes*, 64: 50-59.

Novo, N., Ruiz González, A.D., Marey, M.F. (6 de abril de 2000). Viabilidad del empleo de índices territoriales y simuladores de fuegos forestales en una zona de la Comarca de Sarria (Lugo, NW de España). V Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Congreso llevado a cabo en Lleida, España.

Observatorio Colombiano de Incendios Forestales. (2008). *Incendios Forestales en Colombia.* Cali.

Parra-Lara, A del C. (2019). Propuesta y validación de un índice de riesgo local de incendios superficiales de cobertura vegetal, caso: cuenca media del río Cali, Colombia. (Tesis Doctoral). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica, 229 p.

- Parra-Lara, A del C, & Bernal-Toro, F. H. (2011). Introducción a la ecología del fuego. En: Incendios de la cobertura vegetal en Colombia, Tomo I, Cali. Universidad Autónoma de Occidente.
- Petrakis, Psiloglou y Llanou. (2005). Evaluation of fire risk and fire extinction difficulty at mountainous park of Viko-Aoos, Northern Greece: use of remote sensing and GIS technique. En International Journal of Risk Assessment and Management. 5(1). 17-56.
- PROINFO (Asociación Nacional de Profesionales de la Extinción y Prevención de Incendios Forestales, ESP). La lucha contra los incendios forestales. En: Revista Montes, 109: 69-70.
- Rodríguez y Silva. (2000). Ejemplo de planes de defensa en España (Andalucía). En Vélez R. La defensa contra los incendios forestales, fundamentos y experiencias. Madrid: McGraw-Hill.
- Rubiano, E.; A. Bolaños (2012). Presión urbana sobre la zona rural de Cali: caso corregimiento el Hormiguero entre el periodo 1980-2010. (Tesis de pregrado). Universidad del Valle. Recuperado de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/8864>
- Saaty, TL. (1980). The Analytical Hierarchical Proces. J. Willey & Sons. Recuperado de [http://www.dii.unisi.it/~mocenni/Note\\_AHP.pdf](http://www.dii.unisi.it/~mocenni/Note_AHP.pdf)
- \_\_\_\_\_. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, 48, 9-26. doi:10.1016/0377-2217(90)90057-I
- Salas, J.; Chuvieco, E. (1991). ¿Dónde arderá el bosque? Prevención de incendios forestales mediante un SIG. Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá de Henares.
- Soriano, J. (2007). *Clasificación del territorio mediante el Índice de Dificultad para la Extinción de Incendios Forestales\* en el Parque Natural de la Serra d'Espadà (Castellón)*

*mediante uso de SIG*. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Valencia, España.  
Recuperado de  
[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/89318/ANEXOS\\_15045512242093749577971060064812.pdf?sequence=4](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/89318/ANEXOS_15045512242093749577971060064812.pdf?sequence=4)

Vélez, R. (2000). *La defensa contra los incendios forestales, fundamentos y experiencias*. Madrid: McGraw-Hill. 864 p.

Weather Spark (2018). El clima promedio de Cali. Recuperado de <https://es.weatherspark.com/y/21493/Clima-promedio-en-Cali-Colombia-durante-todo-el-año#Sections-BestTime>



## Apéndice

### DEFINICIÓN DEL ÍNDICE DE DIFICULTAD DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL EN SANTIAGO DE CALI, VALLE DEL CAUCA - COLOMBIA

#### CONSULTA A EXPERTOS PRINCIPALES

##### IDENTIFICACIÓN

Fecha: \_\_\_\_\_

Nombre:	_____	Tel:	_____	e-mail:	_____
Municipio:	<u>Cali</u>				
Departamento:	<u>Valle del Cauca</u>	Institución:	_____	Cargo:	_____
Número de años de experiencia en combate de incendios de cobertura vegetal:	_____				

##### PRESENTACIÓN

Como es de su conocimiento, los Incendios de Cobertura Vegetal<sup>22</sup> -ICV-, son eventos de origen natural o antrópico que generan, de manera variable, impactos sobre el medio biofísico local y global y, que además, pueden tener implicaciones ecológicas, ambientales, económicas, sociales y humanas significativas, lo mismo que grados variables de complejidad en abordaje o combate.

En el presente estudio se trata de establecer las variables involucradas en la dificultad de extinción, entendida como el grado de resistencia que ofrece un territorio para el desarrollo de las labores que deben implementarse para la extinción de un Incendio de la Cobertura Vegetal – ICV- con la oportunidad debida, con los menores riesgos y costos posibles y considerando las posibilidades institucionales y sociales de la región. Por esta razón, se le solicita a Usted, en condición de experto, responder el presente cuestionario, siguiendo las siguientes indicaciones:

1. En la primera columna de **VARIABLES PRIMARIAS** (Capacidad de Respuesta, Accesibilidad, Movilidad, Penetrabilidad, Recursos Hídricos, Peligrosidad Combustible, Contexto Social Operacional y Capacidad de Respuesta Institucional de los Bomberos) califique el grado de importancia que tiene, según Usted, cada una de ellas en relación con la DIFICULTAD DE EXTINCIÓN de un incendio de cobertura vegetal en cualquier escenario o territorio; es decir, que tan importante es cada variable para combatir de manera rápida, eficiente y segura un evento de fuego vegetal en cualquier territorio.
2. Tomando cada **VARIABLE PRIMARIA** por separado, califique a cada una de las **VARIABLES SECUNDARIAS** correspondiente, a la importancia que tiene cada una de ellas en relación a la DIFICULTAD DE EXTENCIÓN de un incendio de cobertura vegetal en cualquier territorio. La escala de valoración es Alta (A), Media (M) y Baja (B).

Se agradece la contribución que hace al presente estudio, señalando que los resultados obtenidos serán de gran importancia para su institución.

<sup>22</sup> Parra y Bernal, 2011, comparten la perspectiva de asumir conceptualmente los llamados incendios forestales como incendios de cobertura vegetal, dada la naturaleza heterogénea de las coberturas vegetales sobre las cuales se desarrollan en Colombia.

## MATRIZ DE VARIABLES PONDERADAS

1. VARIABLES PRIMARIA	2. DESCRIPCIÓN	A, M, B	4. VARIABLES SECUNDARIAS	A, M, B
1 ACCESIBILIDAD	Infraestructura vial disponible en el área para que los medios de transporte puedan llegar a cualquier punto para desarrollar actividades de combate al fuego.		a) Densidad vías primarias, secundarias o terciarias de acceso.	
			b) Transitabilidad de las vías de acceso.	
			c) Densidad del perímetro urbano	
2 MOVILIDAD	Mayor o menor dificultad que ofrece el área forestal al tránsito de los vehículos para extinción fuera de los trazados viales de cualquier tipo.		a) Densidad senderos y caminos carreteables	
			b) Longitud del carreteable dentro de área con cobertura vegetal.	
			c) Conexión del carreteable con una vía primaria, secundaria o terciaria	
3 PENETRABILIDAD	Mayor o menor dificultad que tienen los medios humanos para acceder caminando a través del área de cobertura vegetal, en relación a los distintos lugares del espacio que ésta comprende.		a) Densidad de las líneas de control o precombate	
			b) Pendiente dominante	
			c) Modelo de combustible (Tipo de vegetación).	
			d) Estabilidad del Terreno	
4 RECURSOS HÍDRICOS	Disponibilidad en el territorio de sitios, tanto naturales como artificiales, de los que se puede obtener agua por los medios de extinción.		a) Existencia de hidrantes de aprovisionamiento	
			b) Distancia a las fuentes de aprovisionamiento.	
			c) Disponibilidad otras fuentes de abastecimiento	
5 PELIGROSIDAD COMBUSTIBLE	Características de la cobertura vegetal que lo hacen más propensa al fuego y, por lo tanto, a propagarlo en escalas crecientes.		a) Inflamabilidad Cama Combustibles	
			b) Combustibilidad Cama Combustibles	
			c) Cantidad del combustible	
			d) Continuidad horizontal del combustible	
			e) Continuidad vertical del combustible	
			f) Grado de dificultad para el combate en función del tipo de viento existente en el terreno a la hora de la intervención.	
6 HORA DEL INCENDIO	La hora del día en que se presente el evento es decisiva para atender o no el evento.		a) Diurno	
			b) Nocturno	
7 CONTEXTO SOCIAL OPERACIONAL	Garantías de seguridad razonablemente apropiadas, derivadas del ambiente social local, para la vida e integridad del personal que interviene en la extinción del fuego, lo mismo que para el cuidado y conservación de los materiales, herramientas y equipos utilizados por ellos		a) Presencia de explosivos y/o actores armados o delincuenciales en el área. b) Acompañamiento de la comunidad local al personal.	
8 CAPACIDAD DE RESPUESTA INSTITUCIONAL DE LOS BOMBEROS	Rapidez y capacidad con que los bomberos hacen presencia en el lugar o área y despliegan recursos para intervenir un evento en desarrollo.		a) Existencia de sistemas de alerta temprana zonales y locales	
			b) Tiempo de respuesta institucional	
			c) Capacidad organizacional de intervención	
			d) Infraestructura técnica disponible (equipos, maquinaria)	
			e) Capacidad probada de coordinación con otras instituciones y/o organizaciones locales o regionales de apoyo a las actividades de combate	
			f) Capacidad de monitoreo del evento en tiempo real	