UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Diseño de un modelo SIG para la determinación de zonas en riesgo por incendios forestales en los cerros orientales de la ciudad de Bogotá

Ingeniera Agrícola

María Cristina Prado Fajardo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería Agrícola
Departamento de Ingeniería
Bogotá, Colombia
2014

Diseño de un modelo SIG para la determinación de zonas en riesgo por incendios forestales en los cerros orientales de la ciudad de Bogotá

María Cristina Prado Fajardo

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería – Ingeniería Agrícola

Director:
Ph.D., Luis Eduardo Machado
Codirectora:
MSc., Olga Isabel Palacios Palacios
Asesor técnico:
Ing. Rafael Robles

Línea de Investigación:
Adecuación de tierras y manejo sostenible

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola
Ciudad, Colombia
2014

"Primero tienes que aprender las reglas del juego, y después jugar mejor que nadie". (Albert Einstein).

Agradecimientos

Agradezco a Dios por la vida, la salud y las oportunidades que me ha dado, también doy gracias a mis padres, María Eudes Fajardo y Cristóbal Prado Sánchez, que por ellos he cumplido y estoy cumpliendo mis sueños, los amo. A mi prima Elena Luisa Margarita Brochero, quien estuvo en los momentos que necesité una guía, para brindar siempre una voz de apoyo y ayuda con sabiduría. Le doy gracias a mis amigos incondicionales, que siempre han estado en los momentos difíciles.

A mi director de tesis el respetado Doctor en Ingeniería Civil el Ingeniero Luis Eduardo Machado, quien sin conocerme con anterioridad, me brindo su aceptación, conocimiento y sabiduría para poder organizar mis ideas y darle luz a este trabajo tan importante, que será para el servicio de la comunidad.

Institucionalmente, doy gracias a la Defensa Civil Colombiana, especialmente al director seccional Bogotá el Coronel Roosbell León, por el apoyo y el patrocinio en la ejecución de esta investigación. A todas las entidades delegadas de la Comisión Distrital de Incendios Forestales, que colaboraron en el proceso largo y tedioso del proyecto.

A la Embajada de Brasil, quien me brindo los cursos necesarios para complementar y estructurar este trabajo, a JICA, ABC, EMBRAPA, INPE y el Corpo de Bombeiros de Brasilia, que fueron las instituciones que ofrecieron la capacitación y financiación para la realización de los cursos ofrecidos.

A la Corporación Autónoma Regional, quienes tomó como propio este proyecto e hicieron posible su realización, para que no solo quedara en las hojas de una tesis, sino que sirviera para la predicción de incendios forestales en Bogotá y próximamente en la jurisdicción CAR, agradezco especialmente a Rafael Robles asesor técnico de la investigación, quien ofreció oficialmente la institución para el acompañamiento, y así

poder dar cumplimiento a una de las actividades propuestas en el plan de acción de la Comisión Distrital de Incendios Forestales. Le agradezco a todo el Grupo Interno de Gestión del Riesgo de la CAR, quienes me acogieron en su grupo y brindaron su apoyo como si fuera parte de la institución.

Agradezco a la Universidad Distrital, y en especial la profesora y mi codirectora de tesis, la Ingeniera Olga Isabel Palacio, quien fue una guía para la culminación de este trabajo, por su amplio conocimiento en incendios forestales y su trayectoria en Gestión del Riesgo.

A la Secretaría Distrital de Salud, Centro Regulador de Urgencias y Emergencias, quien me brindó las primeras bases del conocimiento en todo lo relacionado con el manejo de Emergencias, Desastres y Gestión del Riesgo.

Y por último doy gracias a tres docentes de Ingeniería Agrícola quienes dejaron buenos cimientos en mi vida, no solo como Ingeniera, sino también como persona. El Ingeniero Germán Mendoza R., que ha sido un amigo y un excelente consejero, dando siempre una visión de responsabilidad, en especial con la investigación de maestría. El Ingeniero Bernardo Castillo H., quien con su excelente capacidad para enseñar me mostró lo maravillosa que es la Ingeniería Agrícola. Y al Ingeniero Carlos González M., quien siempre tuvo el tiempo para compartir su conocimiento, lo que me ayudo en la ejecución y culminación de este proyecto.

Resumen

Los incendios forestales constituyen un problema ambiental, que no solo afecta la cobertura vegetal y especies vivientes que habitan en la zona, sino también la integridad física y los bienes de las comunidades aledañas. En el marco del plan de acción de la Comisión Distrital para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales (CDPMIF), en el componente de sistemas de alertas para la gestión del riesgo, que lideran la Defensa Civil Colombiana y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, y como adelanto de la actividad se presenta este trabajo, un modelo de sistema de alertas tempranas de incendios forestales. Para ello, se revisaron, analizaron y ajustaron manualmente los datos de los incidentes forestales ocurridos en Bogotá para el periodo 1999-2012. A su vez, a partir de los datos meteorológicos correspondientes al periodo 1966-2013, se realizó un estudio comparativo del desempeño de dos modelos para determinar el índice de peligro estimado y la ocurrencia de incidentes en periodos específicos para la zona de estudio. Se encontró que el índice de peligro del modelo Montealegre (FMA) presentó mayor significancia en la ocurrencia de incidentes, lo que permitió la asignación de una ponderación y por tanto el ser introducido a la variable de amenaza de la ecuación de riesgo establecida en el “Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios forestales de la cobertura vegetal escala 1:100.000”, publicado oficialmente por el IDEAM en el 2013. El modelo resultante de este trabajo permite la obtención de mapas diarios de riesgos de incendios de la cobertura vegetal en los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá. La herramienta será utilizada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, delegada, permitiendo la generación diaria de informes de alertas tempranas para la toma de decisiones, acciones de vigilancia, prevención y control de eventos que impactan detrimentalmente el ecosistema.

Palabras clave: Incendios forestales, alertas tempranas, Índice de incendios, FMA, FMA^+

Abstract

Forest fires are an environmental problem that affects not only living vegetation cover and species that inhabit the area, but also the physical integrity and property of the surrounding communities. Under the action plan of the Comisión Distrital para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales (CDPMIF), the component of alert systems for risk management, leading the Defensa Civil Colombiana and the Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, and in advance of the activity this paper, a model system of early warning of forest fires is presented. To this end, reviewed, analyzed and manually adjusted the data of forest incidents in Bogotá for the period 1999-2012. In turn, from the meteorological data corresponding to the period 1966-2013, a comparative study of the performance of two models were performed to determine the estimated risk index and the occurrence of incidents in specific periods for the study area. We found that the hazard ratio Montealegre model (FMA) provided greater significance in the occurrence of incidents, which allowed the assignment of a weight and therefore be introduced to the variable threat of the risk equation set to " “Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios forestales de la cobertura vegetal escala 1:100.000", officially published by the IDEAM in 2013. The resulting model of this paper allows obtain daily maps of fire hazards vegetation cover in the eastern hills of Bogota. The tool will be used by the Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, official delegate, allowing daily reporting early for decisions, actions, surveillance, prevention and control of events that detrimentally impact the ecosystem alerts.

Keywords: Forest fire, early warnings, Fire danger index, FMA, FMA^+

Contenido

Pág.
Resumen ..... ¡Error! Marcador no definido.
Lista de figuras ..... ¡Error! Marcador no definido.
Lista de tablas ..... ¡Error! Marcador no definido.
Introducción ..... ¡Error! Marcador no definido.
1. Antecedentes de la investigación **5**
1.1 Algunos Incendios Forestales con víctimas mortales 5
1.2 Sistemas que evalúan riesgos de incendios forestales 7
1.2.1 Criterios de evaluación de riesgos 7
1.2.2 Normativa Colombiana para el control de Incendios Forestales 11
1.3 Historia recopilada de incendios forestales en Colombia 12
1.4 Importancia del control de los incendios forestales en el Distrito Capital 15
2. Fundamentos teóricos **17**
2.1 Incendios forestales 17
2.2 Fuego 18
2.3 Vulnerabilidad 18
2.4 Amenaza 18
2.5 Sistema de cálculo de peligros y de alertas tempranas 19
2.6 Riesgo 20
2.7 Análisis y evaluación del Riesgo 22
2.8 Índices de propagación de los incendios forestales 22
2.9 Cambio climático 23
2.10 Humedad relativa 23
2.11 Precipitación 24
2.12 Temperatura 24
2.13 Viento 24
2.14 Fenómeno del Niño 25
2.15 Sistema de información geográfica – SIG 26
2.16 Modelo Conceptual o modelo entidad-relación 27
2.17 Modelos Lógicos 27
3. Análisis experimental **29**

3.1 Características de la zona de estudio 29
3.1.1 Ubicación geográfica 29
3.1.2 Caracterización 29
3.2 Materiales y metodología 32
3.2.1 Recopilación de información digital 32
3.2.2 Análisis de los datos digitales 33
3.2.3 Descripción de los datos reportados de incidentes 35
3.2.4 Análisis descriptivo 36
3.2.5 Datos meteorológicos 51
3.2.5.1 Preparación de los datos 51
3.5.2.2 Identificación de errores gruesos 53
3.5.2.3 Generación de datos faltantes 53
4. Análisis de los modelos planteados 57
4.1.1 Índice de Nesterov 58
4.1.2 Índice de Tellysin 59
4.1.3 Índice de Montealegre o Soarez 59
4.1.4 Formula de Montealegre alterada (FMA+) 60
4.1.5 Índice de peligro desarrollado en Francia 61
4.2 Establecimiento del Índice de Montealegre 62
4.3 Análisis de los Índices Montealegre (FMA) y Montealegre alterada (FMA+) 63
5. Evaluación del modelo propuesto 75
5.1 Reconocimiento del protocolo IDEAM 75
5.1.1 Información requerida para la implementación del protocolo 76
5.2 Introducción de la variable (índice de Montealegre FMA) al protocolo IDEAM 82
5.3 Diseño de los modelos SIG para generar alertas tempranas en los cerros orientales de la ciudad de Bogotá 85
6. Conclusiones y recomendaciones 88
6.1 Conclusiones 88
6.2 Recomendaciones 91
A. Anexo: Cálculos para la obtención del valor de skill score 93
B. Anexo: Mapas de amenaza de incendios forestales 99
Bibliografía 109

Lista de Ilustraciones

Pág.

Ilustración 1. Área afectada y número de eventos reportados. 13
Ilustración 2. Reportes por tipos de cobertura vegetal. 14
Ilustración 3 Esquema gráfico del riesgo 21
Ilustración 4. Ubicación de los Cerros Orientales-Bogotá 31
Ilustración 5. Metodología para el establecimiento del modelo de peligro..... 32
Ilustración 6. Localización de las estaciones CAR 52
Ilustración 7 Metodología para determinar el control de calidad de los datos usados. 55
Ilustración 8. Hora de afectación de inicio de incendios..... 57
Ilustración 9. Establecimiento del Índice de Montealegre FMA 64
Ilustración 10 Metodología para realizar el análisis de los modelos planteados 66
Ilustración 11 Porcentaje de suceso de FMA y FMA+ 72
Ilustración 12 Mapa de amenaza por incendios reportados (histórico) 77
Ilustración 13 Tipo de cobertura 78
Ilustración 14 Calificación de amenaza de vías 80
Ilustración 15. Interrelación entre los factores de amenaza de incendios de la cobertura vegetal 81
Ilustración 16 Metodología propuesta basada en el protocolo IDEAM (amenaza). 82
Ilustración 17 Modelo lógico propuesto 86
Ilustración 18 Modelo entidad-relación E-R 87

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Tabla de incendios forestales con víctimas humanas 6
Tabla 2. Algunos criterios de evaluación de Riesgo de Incendios Forestales 10
Tabla 3 Distribución temporal (mes y año) del número de incidentes forestales registrados entre los años 1999 y 2008 38
Tabla 4 Distribución porcentual del área quemada (m2) por causa. 39
Tabla 5 Total área quemada por clasificación y año 40
Tabla 6. Frecuencia de los incidentes por tipo de cobertura y clasificación 41
Tabla 7 Total área (en metros cuadrados) quemada por tipo de cobertura y clasificación. 41
Tabla 8 Área quemada (m2) según causa y clasificación. 42
Tabla 9 Frecuencia de los incidentes (1999-2008) por localidad. 44
Tabla 10. Tabla (mes y año) del número de incidentes forestales registrados entre los años 2009 y 2012 45
Tabla 11 Total área (en metros cuadrados) quemada por tipo de cobertura y clasificación. 47
Tabla 12 Frecuencia de los incidentes forestales entre 1999 y 2008 según causa y clasificación. 47
Tabla 13 Frecuencia de los incidentes forestales (2009-2012) por localidad. 48
Tabla 14 Número de datos faltantes según variables. 49
Tabla 15. Estaciones Meteorológicas 51
Tabla 16 Índice de Nesterov 58
Tabla 17. Escala de peligro 60
Tabla 18 Descuento por lluvia (%) 60
Tabla 19 Escala de peligro 61
Tabla 20 Descuento por lluvia (%) 61
Tabla 21 Clasificación de índices de los incidentes ocurridos en el 1991 65
Tabla 22. Tabla de contingencia. 65
Tabla 23. Cálculo de la tabla de contingencia 67
Tabla 24. Número de días previstos en valor absoluto y porcentaje de cada clase de peligro en las escalas FMA y FAM+ (fenómeno muy fuerte Niño 1982-1983). 68
Tabla 25. Incendios registrados en valores absolutos y porcentajes en cada clase de peligro de las escalas FMA y FAM+ (fenómeno muy fuerte Niño 1982-1983) 69
Tabla 26. Tabla de contingencia para FMA y FAM+ (Fenómeno de Niño muy fuerte 1982-1983) 69

Tabla 27. Cálculo de la tabla de contingencias para FMA y FMA+ (Fenómeno muy fuerte Niño 1982-1983)..... 70
Tabla 28. Valores de skill score y porcentaje de suceso de FMA y FMA+ (Fenómeno muy fuerte Niño 1982-1983)..... 70
Tabla 29 Matriz de calificación de las variables del sistema 83
Tabla 30. Matriz de ponderación con las variables del Protocolo IDEAM 84
Tabla 31. Matriz de calificación final, valorando el índice de Montealegre (FMA) 84

Introducción

“Durante la última década, muchas regiones del mundo han experimentado una tendencia creciente hacia la aplicación excesiva del fuego en los sistemas de uso y de cambio de uso de las tierras. Algunos de los efectos de los incendios traspasan las fronteras, por ejemplo el humo y la contaminación de agua y sus efectos sobre la salud y la seguridad humana, la pérdida de la diversidad y la degradación del sitio a nivel del paisaje, lo que lleva a la desertificación, la erosión del suelo o las inundaciones” (FAO, 2007).

“La gestión y actividades orientadas a la Prevención y Control de los Incendios Forestales tienen su fundamento en la Constitución Política de Colombia de 1991, que establece el deber de emprender acciones tendientes a lograr el desarrollo humano sostenible, entendido como aquel que satisface las necesidades de las generaciones del presente sin comprometer las opciones de bienestar de aquellas que poblarán el territorio en el futuro” (MINAMBIENTE, 2002).

“Las zonas rurales de Bogotá ocupan una extensión de 121.474 Ha que representan el 76.6% del total del distrito capital, con predominancia en 8 localidades, siendo la de Sumapaz la más extensa con el 47.7%, seguida de Usme y Ciudad Bolívar, marcadas por la primicia urbana pero con suelo rural se encuentran las localidades de San Cristóbal, Santafé, Chapinero, Usaquén y Suba”. Comisión Distrital para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales (CDPMIF, 2010). Estas zonas son las más afectadas con relación a los incendios forestales en ciudad de Bogotá.

Los sistemas de evaluación de peligros son herramientas imprescindibles para la planificación de actividades en la prevención de incendios, estos se utilizan como indicadores para determinar áreas donde es necesario efectuar reducción de combustible, y establecer el momento adecuado para realizarlo. También sirve para

designar los recursos antes, durante y en el desarrollo de los incendios forestales; y comprobar la eficiencia de las medidas preventivas y técnicas de supresión utilizadas.

Un componente que complementa a los sistemas de evaluación, es el índice de peligro, que es una herramienta útil en la planeación de las actividades de prevención y combate de los incendios forestales. “En Brasil, debido a los grandes incendios ocurridos en 1963, fueron divulgados por el Ministerio de Agricultura los índices de Angstron y Nesterov, desarrollados en Suecia y Rusia, respectivamente, como viables para utilizarlos en el país. En 1972 Soares desarrollo el primer índice de peligro de incendios forestales para el país, la formula Monte Alegre-FMA, este índice es acumulativo y utilizado con variables meteorológicas, como la humedad relativa” (França, 2010).

“Teniendo en cuenta que un sistema de gestión del riesgo en incendios forestales requiere de bases de datos suficientes, precisas y actualizadas de las áreas afectadas por incendios forestales, los factores de riesgo para la ocurrencia (amenaza, vulnerabilidad y riesgo) y de la cartografía de las áreas quemadas, es necesario disponer de métodos consistentes, fiables y rápidos que permitan obtener resultados con un margen adecuado de precisión a una escala espacial y temporal adecuada para dicha gestión” (IDEAM, 2011).

Uno de los objetivos específicos fue, la identificación de la calidad de la información brindada por algunas entidades que pertenecen a la Comisión Distrital para Prevención y Mitigación de Incendios Forestales (CDPMIF). El otro objetivo específico fue, el establecimiento de un modelo de índice de peligro, para determinar la ocurrencia de incendios forestales, y poder determinar cual es el modelo que presenta mayor viabilidad en la determinación de zonas de posibles riesgos, y así poder generar alertas tempranas diarias en tiempo casi real de incendios forestales para el Distrito.

El alcance de esta investigación se estableció en la evaluación del desempeño de dos modelos para determinar índices de peligro por incendio forestal. Y poder determinar cual es el modelo que mejor se comporta con los datos meteorológicos de la zona de estudio.

Una de las limitaciones observadas fue, la calidad de los datos utilizados, ya que al realizar el análisis estadístico (descriptivo) se muestra una visión de la problemática que

se tiene al respecto, tanto en la captura, como en su utilización de los datos. Otra limitación fue la obtención de la información, dado que las entidades responsables manejan los datos en forma paralela, impidiendo la complementación y articulación posteriormente.

La metodología utilizada se base en los trabajos de Soares, et al. (2009), Borgues, et al. (2011) y França, et al. (2010), donde se determinó el desempeño de dos índices de riesgo de incendio forestal (Modelo Montealegre FMA y del Modelo Montealegre Alterada FMA+) y establecieron el modelo que mejor se ajustara a la zona de estudio, “con ayuda del skill score (método estadístico), que se base en el uso de tablas de contingencia, que registran y analizan el patrón de relación entre dos o más variables, conteniendo los valores observados y previstos para un evento. Básicamente, este método es la razón de la diferencia entre los aciertos y el número esperado de aciertos, la diferencia entre los números de días observados y el número de días con aciertos” (Borgues, 2011).

Posteriormente se ajusta la variable vulnerabilidad de la ecuación de riesgo establecida en el protocolo IDEAM, introduciendo el índice de peligro con el modelo que presentó el mejor desempeño con el skill score.

En la actualidad no se ha establecido un sistema de riesgos de incendios forestales en Bogotá basado en alertas tempranas, por esta razón se realizó esta investigación. Por medio de un convenio de responsabilidad entre dos entidades (Defensa Civil Colombiana y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca), se dió cumplimiento a una actividad del plan de acción de la CDPMIF, en el componente Sistemas de Alertas por Incendios Forestales, del proyecto alertas.

1. Antecedentes de la investigación

A continuación se presenta un bosquejo de información del cual se fundamenta este estudio, primero se da a conocer algunos de los incendios forestales más importantes a nivel mundial, no solamente por su afectación en la cobertura vegetal sino que también por generar la pérdida de vidas humanas. Luego se despliega algunos sistemas que ayudan a evaluar los factores de ocurrencia y el comportamiento del fuego en los incendios forestales. Posteriormente se da a conocer por qué Colombia introduce las políticas de gestión del riesgo, contemplando en ellas la necesidad de realizar un plan para el control de incendios forestales. Y por último se muestra a nivel regional cuál es la importancia de controlar los incendios forestales y qué se ha realizado para ello.

1.1 Algunos Incendios Forestales con víctimas mortales

Algunos de los incendios forestales que se han destacado a nivel mundial, no por el área de cobertura vegetal consumida en llamas, sino por la pérdida de vidas humanas son, los ocurridos en Australia, donde tenemos el (i) El Jueves Negro (Artículo misceláneo, 2000), del 6 de febrero de 1851, donde unas 12 personas murieron en la naciente colina de Victoria, el fuego cubrió un área de aproximadamente 5 millones de Hectáreas. (ii) el Viernes Negro (Film & Fahi, 2003), que ocurrió en 13 de enero de 1939, también en Victoria, consumiendo 2 millones de Ha y dejando un saldo de 71 muertos. (iv) Domingo Negro (Summary, 1851), donde no se tiene exacta la referencia del área afectada, y dejando 2 muertos como víctimas fatales. (v) El martes negro, un incendio producido en el sur de Australia en la península de Eyre, 7 de febrero de 1967, con un área afectada de 264.000 Ha, dejando como resultado fatal 9 personas muertas; y (vi) el sábado negro, un incendio forestal que va del 7 de febrero de 2009, hasta el 14 de marzo del mismo año, dejando un total de 173 personas muertas, en un área de 418.000 Ha consumida por las llamas. Estos datos fueron referidos por un informe de la Dirección General de Sostenibilidad de Victoria, (Film et al., 2003). A continuación en la tabla 1., se muestra un resumen de estos incendios, considerados por tener mayor número de víctimas humanas.

Tabla 1. Tabla de incendios forestales con víctimas humanas

FECHA	NOMBRE	UBICACIÓN	ÁREA AFECTADA (HA)	VICTIMAS MORTALES
06/02/1851	JUEVES NEGRO	VICTORIA	APROX 5 MILLONES	12
01/02/1898	MARTES ROJO	VICTORIA	260.000	12
13/01/1939	VIERNES NEGRO	VICTORIA	2 MILLONES	71
02/01/1955	DOMINGO NEGRO	SUR DE AUSTRALIA	NO SE ESTIMO	2
07/02/1967	MARTES NEGRO	PENÍNSULA DE EYRE	264.000	62
16/02/1983	MIERCOLES DE CENIZA	SUR DE AUSTRALIA Y LA VICTORIA	418.000	75
07/02/2009	SÁBADO NEGRO	VICTORIA	APROX 450.000	173

Fuente: Propia, basada en un informe de la Dirección General de Sostenibilidad de Victoria, (Film et al., 2003).

Según Pérez (citado por Silva, 2011), sustentó que, uno de los incendios forestales que a pesar de ser considerado el peor de la historia de los Estados Unidos de América, solamente retuvo la atención del país por media hora, dándole importancia a otro incendio que comenzó en Chicago, relegando al olvido el pueblo de Peshtigo, el 14 de Octubre de 1871. Peshtigo un pequeño pueblo del estado de Wisconsin, vivió 8 semanas de intensa preocupación con un incendio forestal que luego de afectar más de un millón de hectáreas, dejó un saldo de aproximadamente 1.200 muertos. Otro estado de los Estados Unidos de América que también presentó cifras considerables de víctimas fatales fue, Minnesota donde se registraron dos incendios forestales importantes que dejaron aproximadamente unos 1800 muertos, estos fueron en Cloquet, del 13 al 15 de Octubre de 1918, y en Hinkley en 1894.

Según Silva, otro país que refiere incendios que han dejado numerosas pérdidas, es Indonesia, que en dos años (1997-1998) registró incendios forestales sin precedentes, como los de Jamal Narangnaha Nhelioua Lee, Kalimantal y Sumatra Oriental, que en total, afectaron más de 97 ha de bosque, generando 2.6 gigatoneladas de CO_2 que fueron lanzados a la atmósfera; sin registrar pérdidas humanas. (McGrath, 2008). Otro de

los países nombrados por Gareth es Alemania que en 1975, en baja Sajonia registró una quema de un páramo con un área de 0,74 ha, con víctimas fatales del cuerpo de bomberos quienes asistieron para la extinción del incendio. También nombra a Polonia, que el 26 de agosto de 1992 en la ciudad de Kuznia Raciborska, registró una quema de 0,91 ha de bosque, dejando dos bomberos muertos y uno más herido. Para Gareth, el incendio que por ser, el más intenso (para él), en hectáreas afectadas de América latina, fue el de Bolivia, el 15 de agosto de 2010, que afectó más de 15 ha de bosque amazónico. Aunque Colombia ha registrados incendios con más área afectada, se observó que ninguno de ellos fue referido en los documentos de los mayores incendios forestales a nivel mundial. Otro incendio forestal que según Gareth tuvo trascendencia internacional fue, en Israel en el monte de Carmelo, el 2 de diciembre de 2010, que en 0,14 Ha, dejó un saldo 44 muertos, que en su mayoría eran del sistema penitenciario de Israel. (Silva, L. 2011).

1.2 Sistemas que evalúan riesgos de incendios forestales

Como se pudo observar anteriormente los incendios forestales no solo son un peligro para las comunidades que se encuentran cerca a zonas de vegetación y reservas forestales, sino que también afectan a los seres vivos que habitan en ella. “Diversos sistemas se han desarrollado con el objetivo de evaluar factores condicionantes de la ocurrencia, comportamiento y efectos de los incendios. Aquellos sistemas que evalúan la probabilidad de que exista una fuente de ignición, se denominan sistemas de evaluación de riesgos de incendios. Aquellos sistemas que además del riesgo, toman en cuenta la probabilidad de ignición, las características del comportamiento del fuego en caso que un foco prospere, las dificultades para el control y los daños que causaría, se denomina sistema de evaluación de peligro de incendio”. (Dentoni & Muñoz, 2010, p. 3).

1.2.1 Criterios de evaluación de riesgos

Existen diferentes modelos que ayudan a predecir y generar posibles comportamientos en los incendios forestales, Ruiz (2004) afirma:

- “Un modelo de predicción del comportamiento del fuego es un conjunto de ecuaciones (en ocasiones tablas y/o gráficos interconectados) que pronostican el desarrollo de un incendio en función de variables del medio referente tanto a los combustibles como al tiempo atmosférico o a la topografía del lugar.

- Los modelos de combustible son representaciones de los distintos lechos de combustibles o estructuras de vegetación que existen en la naturaleza y que pueden propagar un fuego. Un modelo de predicción de la humedad del combustible es una herramienta que permite estimar su contenido en agua en función de determinadas variables del medio. Los modelos más antiguos, anteriores al uso de las calculadoras y ordenadores personales, solían presentarse en forma gráfica o tabular. Modelos más modernos y también nuevas versiones de los antiguos se presentan a través de expresiones matemáticas y programas informáticos.

- Los modelos de intercambio de vapor tienen en cuenta únicamente el intercambio de vapor entre la atmósfera y el combustible como fuente de humedad y tratan de cuantificar los procesos complementarios de adsorción y desorción (humedades en equilibrio con diferencias de 2%) según King y Linton (1963). Algunos de estos modelos proponen ecuaciones diferentes para los momentos del día en que el combustible se encuentra ganando humedad que para aquellos en los que la está perdiendo. Sin embargo otros modelos presentan una única expresión para ambas situaciones. Por otro lado, alguno de estos modelos se asocia al concepto de humedad de equilibrio pero otros estiman la humedad del combustible directamente a partir de la humedad relativa y la temperatura sin el cálculo intermedio de la humedad en equilibrio. El concepto de la humedad en equilibrio o contenido de humedad de equilibrio para las maderas, es cuando un material sólido pierde o gana humedad en el intento de llegar a su estado de equilibrio o balance, esto se puede medir por el porcentaje de peso seco (Silva, 2011).
- Los modelos más completos que los anteriores son los que añaden el efecto humectante de la lluvia al intercambio de vapor con la atmósfera. Son de dos tipos; uno se basa en la cantidad de lluvia y otros en la duración de la precipitación. De acuerdo con Simard (1968a) citado por Ruiz, 2004, los parámetros que hay que considerar para relacionar la humedad del combustible con la cantidad de lluvia son numerosos: pérdida de escorrentía y percolación, efectos de cubierta vegetal sobre la intercepción y goteo, características del lecho, etc. Esto significa que no se trata simplemente de relacionar la cantidad de lluvia con el aumento experimentado en la humedad del combustible.

- Existen también modelos de condensación. Son muy escasos los trabajos de estimación de la humedad que consideran este proceso natural de incremento de humedad debido probablemente a la dificultad de medición. Sin embargo la condensación es una fuente de humedad muy importante durante la noche que puede incrementar la humedad de los combustibles muy por encima de las posibilidades del transporte de vapor.

- Modelos que consideran el suelo como fuente de humedad: Hatton et al (1988), (citado por Ruiz, 2004) estudiaron la influencia de la humedad del suelo en el combustible situado sobre el mismo o en un entorno cercano. En vista a los resultados obtenidos por los autores indicaron que en los modelos de estimación de la humedad de los combustibles finos debería de incluirse un factor de humedad del suelo o en su defecto un algoritmo de transformación de las variables atmosféricas medidas a metro y medio del suelo a sus equivalentes en el entorno del combustible para de este modo recoger la influencia de la evaporación del agua a nivel superficial. Fosberg (1972) (citado por Ruiz, 2004) habla de la importancia del tiempo que el combustible del suelo se encuentra encharcado tras la lluvia. En realidad son muy pocos los modelos que incluyen el suelo como fuente de humedad.

- Los modelos físicos predicen la evolución de un proceso en función de las leyes naturales que lo rigen. Estos modelos son potencialmente válidos para su aplicación en cualquier situación, pero es necesario conocer en profundidad dichas leyes para poder elaborarlos. No hay modelos de estimación del contenido en humedad totalmente física por la cantidad de procesos y variable implicada, el modelo que más se aproxima a este tipo es el de condensación de Viney y Hatton (1990) (citado por Ruiz, 2004).Y los modelos semifísicos que se caracterizan por poseer una parte sustentada en la ley de la física que rige el proceso natural de variación de la humedad que tratan de cuantificar mientras que otra parte se obtiene a partir de ajustes empíricos. En general los modelos semifísicos son más sencillos que los físicos y requieren menor cantidad de información para ser empleados, sin embargo sus estimaciones se alejan más de la realidad.

- Los modelos empíricos y experimentales están constituidos por ecuaciones ajustadas en su totalidad, sin tener ningún tipo de base física. Son modelos mucho más sencillos de elaborar y de aplicar que los anteriores pues en ellos se relaciona la humedad combustible con variables ambientales fáciles de medir. Sólo son aplicables a situaciones idénticas aquellas para las que se crearon". En la tabla 2., se muestra una tabla resumen de los criterios usados por Ruiz, 2004.

Tabla 2. Algunos criterios de evaluación de Riesgo de Incendios Forestales

NOMBRE DEL MODELO	CARACTERÍSTICA	VARIABLES	HERRAMIENTAS
COMPORTAMIENTO DEL FUEGO	Pronostica el desarrollo de un incendio en función de variables del medio	Cantidad de combustible, tiempo atmosférico y topografía	Programas informáticos
COMBUSTIBLE	Predice la humedad del combustible	Estructuras de vegetación, variables atmosféricas	Presentación gráfica o tabulada, programas matemáticos e informáticos
INTERCAMBIO DE VAPOR	Cuantifica los procesos de adsorción y desorción (perdida o ganancia de humedad)	Humedad relativa y temperatura	Presentación gráfica o tabulada, programas matemáticos e informáticos
CONDENSACIÓN	Considera el incremento de la humedad	humedad relativa	gráficos de tablas tabuladas
CONSIDERAN EL SUELO COMO FUENTE DE HUMEDAD	La influencia de la humedad del suelo al combustible presente en este	Humedad del suelo y nivel freático	gráficos de tablas tabuladas

Fuente: Propia basada en información la tesis doctoral de Ruiz, A. 2004.

Los criterios que se usan en la evaluación de riesgos de incendios forestales dependen de las variables que se tengan de la zona como: pendiente, temperatura, humedad

relativa, velocidad del viento, entre otras que en el desarrollo de la investigación han tenido que ser tomadas en cuenta.

1.2.2 Normativa Colombiana para el control de Incendios Forestales

Para Colombia es importante la prevención y la atención de desastres, por esto existe la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), la cual fue creada por la legislación Colombiana, después del 13 de Noviembre de 1985, por el desastre producido por la avalancha del volcán del Nevado del Ruiz, que afectó a los departamentos de Tolima y Caldas, dejando pérdidas económicas y más de 25.000 víctimas mortales; “el fantasma de Armero sigue rondando en la memoria de los Colombianos, especialmente de aquellos de quienes depende la seguridad de las comunidades frente a la eventual ocurrencia de fenómenos naturales con carácter de amenaza” (Wilches, 2000). Por esta causa y después de las lamentaciones hechas por los entes de control, se creó el Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres (SNAPD), el cual fue creado por la ley 46 de 1988, y el decreto ley 919, posteriormente para regular las acciones del sistema se adopta el Plan Nacional de Prevención y Atención de Desastres (PNPAD), por el decreto 93 de 1998. (UNGRD, 2005). El 24 de abril de 2012 se derogo la ley 46 y el decreto 919 de 1989, con la implementación de la ley 1523, la cual adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres, es la primera política nacional para la gestión del riesgo de desastre en Colombia, se establece la obligatoriedad de la elaboración de los planes de gestión del riesgo por parte de las entidades gubernamentales (municipios), también se da la posibilidad de ejecución de presupuesto necesarios para la atención, se garantizan derechos y deberes colectivos, en la prevención y atención de desastres, se plantea la planeación del desarrollo seguro con la ejecución de la evaluación ambiental en todas las etapas de los proyectos planteados por del territorio nacional y se adiciona el manejo de materiales peligrosos. (Gobierno Nacional, 2012).

“El crecimiento demográfico en Colombia, ha generado mayor demanda de bienes y servicios, lo que genera que se presente la ampliación de zonas para vivienda, en su mayoría con protección ambiental. El hombre en sus actividades cotidianas sigue usando

el fuego, y este uso de una manera indiscriminada, sin tomar las precauciones necesarias, genera así la mayoría de incendios forestales. El Plan Nacional de Prevención de Desastres, informa que entre los años de 1986 y 2002, se registró un número considerable de incendios forestales en el país, los cuales consumieron un total de 400.788 ha. Para mejorar la atención de los incendios forestales a nivel del Distrito Capital, en octubre de 1996 el DAMA (hoy Secretaría Distrital de Ambiente) convocó a diferentes entidades de orden distrital y regional para tratar el tema de los incendios forestales, con el fin de lograr la coordinación interinstitucional para la planificación y la atención de este tipo de eventos. Actualmente es la Comisión Distrital de Prevención y Mitigación de Incendios Forestales del distrito la que se encarga de organizar y gestionar la atención de los incendios forestales de Bogotá, esta comisión se reúne mensualmente, contando con la participación de (15) miembros permanentes, algunos de ellos son: la Secretaria Distrital de Ambiente, Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias (FOPAE), Unidad Administrativa Especial Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá (UAECOB), Defensa Civil Colombiana (DCC), Jardín Botánico “José Celestino Mutis”, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAABESP), Instituto Distrital de Recreación y Deporte (IDRD), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), y como invitados permanentes esta: la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (UD), Unidad administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales (UAESPNN) y el Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)”. (SDA, 2008).

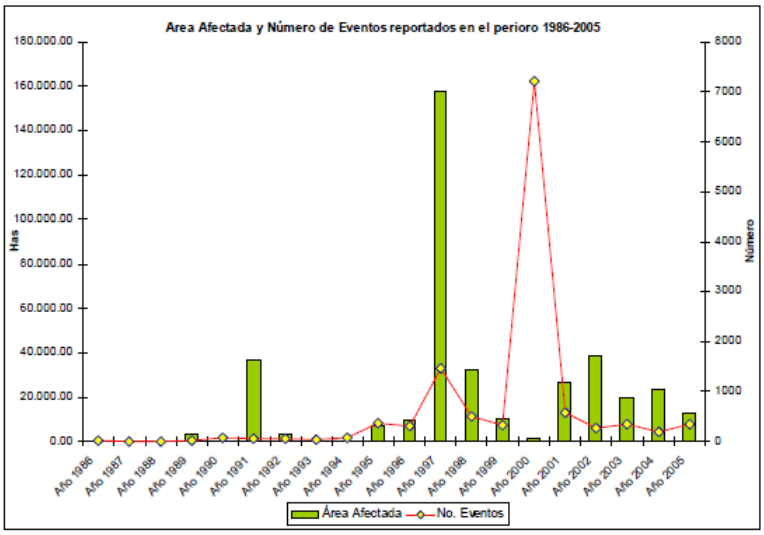
1.3 Historia recopilada de incendios forestales en Colombia

“La información disponible sobre la ocurrencia de incendios forestales en Colombia, se ha venido recopilando desde 1986, a partir de diversas fuentes proporcionadas por las entidades estatales con responsabilidad en el tema. Es importante destacar que la existencia de estas series históricas fue posible desde el 2003 con el formato único de captura de incendios forestales diseñado por el IDEAM y MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial), con el cual se ha venido llevando la información de incidentes de forma organizada. Para los años entre 1986-2002, se observó que la información es muy general, dado que esta información fue limitada por la cantidad de incidentes reportados por las instituciones.

Teniendo en cuenta lo anteriormente dicho, se pudo observar que en el periodo de 1986-1990, se presentó mayor número de incidentes y mayor área afectada en los departamentos del Nariño y Cauca. En 1990 se presenta un número alto de incidentes en el departamento de Quindío, lo que le da gran importancia para ese periodo. Entre 1991 y 1995 se destaca la gran cantidad de eventos presentes en Cali y Bogotá con 176 incendios en 1995; y por las áreas afectadas se destacan, el incendio producido en el parque nacional natural la Macarena con 35.000 ha, el de los Cerros Orientales de Bogotá con un área de 30 ha; aunque los incendios de los Cerros no fueron de un área tan grande, fueron importantes por clase de cobertura que se afectó, al ser en los dos casos coberturas de preservación nacional, que le dio mayor importancia.

Como se ve en la ilustración 1., para el periodo comprendido de 1996 y 2000 se pudo observar que la cantidad de reportes fue mayor y fue mejorando la calidad de los mismos, dado que las entidades ambientales se hicieron cargo del registro de los reportes, esto ayudó a la calidad y el aumento de la cantidad de los incidentes registrados; también se vio que ese número de reportes aumentó, porque en el año de 1997 se vivió un fenómeno del Niño. Se destaca el número de incendios ocurridos en Ibagué durante los años de 1996, 1997, 1998 y 1999; con 525 incidentes; de la misma manera se produjo un record histórico en la Macarena en el año 2000 con 7160 incendios. En este periodo se afectó un área de 157.927 ha.

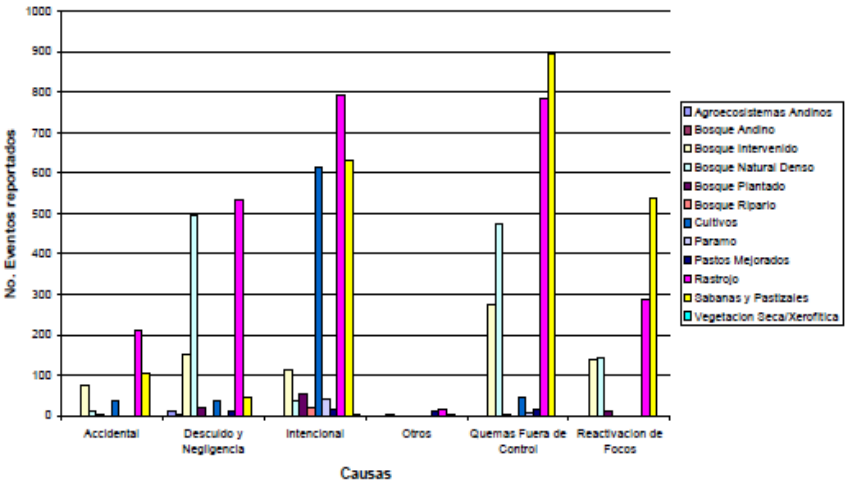
Ilustración 1. Área afectada y número de eventos reportados.



Fuente: IDEAM, Desarrollo del mapa nacional de zonificación de riesgo de incendios de la cobertura vegetal, a partir de de información temática e información complementaria y el aplicativo informático para automatizar las posteriores actualizaciones, 2009.

Es importante destacar que los tipos de cobertura vegetal afectada por los incendios forestales generalmente no se caracterizan, por ello es difícil hacer análisis muy profundos y detallados, eso es significativo para el ejercicio que se realiza de generar los mapas de susceptibilidad de la cobertura vegetal. Según el IDEAM con el resumen de los datos consolidados, los departamentos con mayor porcentaje de afectación son: el Meta (17%) y Vichada (12%), estos departamentos se caracterizan por tener mayor cantidad de áreas de sabanas naturales las cuales son muy vulnerables a los incendios forestales. El departamento del Cesar (9%), se caracteriza por tener bosques abiertos. En el centro del país en la región andina, los departamentos que presentaron mayor afectación de incendios fueron: Tolima, Cundinamarca, Antioquia, Nariño, Caldas, Valle del Cauca, Boyacá y Huila; y con menos proporción de incidentes se encuentra el departamento del Santander. Para el periodo de 1990 y 2000, se observó una disminución de estos incidentes, esto pudo ser por la presencia del fenómeno de la Niña.

Ilustración 2. Reportes por tipos de cobertura vegetal.



(Fuente: IDEAM, Desarrollo del mapa nacional de zonificación de riesgo de incendios de la cobertura vegetal, a partir de de información temática e información complementaria y el aplicativo informático para automatizar las posteriores actualizaciones, 2009).

Como se puede observar en la ilustración 2., los tipos de cobertura por los incendios sobresalen la sabana, pastizales y rastrojos; además el bosque plantado y el bosque natural denso". (IDEAM, 2007, p. 11-16).

En Colombia el IDEAM es la entidad que más se ha interesado en la generación de diferentes estudios para la captura, mejora e interpretación de la información de los datos de incendios forestales, generando bases para caracterizar y utilizar la información en

diferentes aspectos, dos de estos que pueden ser relevantes para este estudio son: primero la “guía para el diligenciamiento del formato único de incendios”, de la cual se parte para entender cómo es que se vienen tomando los datos históricos de los incidentes y el segundo es el “protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos de incendios de la cobertura vegetal escala 1:100.000, realizado para el municipio de Puracé en el Quindío y para el parque nacional Chingaza en Cundinamarca. Y cuya importancia resultó ser la base con que se desarrolló este trabajo.

1.4 Importancia del control de los incendios forestales en el Distrito Capital

En un estudio hecho por la Secretaria Distrital de Medio Ambiente “Reserva forestal protectora bosque oriental de Bogotá”, se muestra la importancia de algunos de los cerros que conforman los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá, entre los que están incluidos: el Cerro el Cable, Monserrate y el parque ecológico Entrenubes, según corresponden al componente de la estructura ecológica principal a nivel Distrital, la cual se ha visto afectada por la incidencia de incendios forestales, que se presentan con mayor frecuencia en las zonas rurales de las localidades de Usme, San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe y Chapinero. Los Cerros Orientales son un ecosistema que alberga cientos de especies de flora y fauna, los cuales producen un ambiente de conservación natural, y el cual se ha visto afectado por los cambios climáticos, sumado a la mano del hombre, generando así las grandes emergencias en la atención de incendios forestales, para esta zona de los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá. (SDA, 2008).

Los incendios pueden ser ocasionados por el hombre o por fenómenos naturales (fenómeno del Niño), que en los últimos años se ha visto con mayor ocurrencia. En la actualidad las actividades de prevención y mitigación (conocimiento y reducción del riesgo) que se efectúan para disminuir los riesgos presentes por los incendios forestales, no ha sido suficiente, esto según la Comisión de Incendios Forestales del Distrito y la Secretaría de Ambiente. Para la Comisión de Incendios Forestales es fundamental crear una estrategia y poder disminuir la ocurrencia de los incendios forestales, mejorando el manejo y control de estos, por esta razón se está implementando un sistema para el control de incendios forestales que con la ayuda

de un SIG (Sistemas de Información Geográfica) como herramienta, que pueda generar alertas tempranas para la determinación de zonas en Riesgo por Incendios Forestales. Este trabajo se realizó como una de las actividades del plan de acción (2012-2013) de la Comisión de Incendios Forestales del Distrito, con la responsabilidad de dos entidades, la Defensa Civil Colombiana y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), y como entidades de apoyo el resto de las entidades de la Comisión Distrital de Incendios Forestales de Bogotá.

2. Fundamentos teóricos

A continuación se presenta un resumen de la base teórica necesaria para desarrollar las actividades metodológicas, y poder cumplir con los objetivos de la investigación. Primero se describen algunos conceptos básicos para el estudio. Posteriormente, se da a conocer la terminología de la cual se hará uso para hacer la clasificación propuesta en la determinación de zonas de riesgo.

2.1 Incendios forestales

Los incendios forestales se definen como: “el fuego que se expande sin control sobre especies arbóreas, arbustivas, de matorral o herbáceas”. Sus causas se clasifican en tres categorías: 1) Intencional (60-70%), 2) negligencia y otras causas accidentales (15-25%) y naturales (5%), esta última se cree que si la humedad del terreno desciende a un nivel inferior del 30% se genera un estrés hídrico lo que produce que las plantas se sequen rápidamente, provocando la emisión de etileno a la atmósfera, que es altamente combustible; esto según estadísticas de incendios forestales del Ministerio del Medio Ambiente de España (2010). Una de las definiciones usadas para incendio forestal en Colombia es: “Un incendio forestal es aquel fuego que se propaga sin control, consumiendo materia vegetal ubicada en áreas donde predominan los bosques o en aquellas que sin serlo tenga importancia ambiental” (MINAMBIENTE, 1997).

Un concepto aprobado por la Comisión de Incendios Forestales del Distrito es: que el incendio forestal “es el fuego que se propaga sin control, es decir, sin límites preestablecidos, consumiendo materia vegetal ubicada en áreas rurales de aptitud forestal o, en aquellas que sin serlo, cumplan una función ambiental y cuyo tamaño es superior a 0.5 ha” (Torres, 2001)

2.2 Fuego

“Es un fenómeno que se produce cuando se le aplica calor a un cuerpo combustible (en este caso materia vegetal) en presencia del aire. Para que el fuego se inicie o se mantenga es indispensable la concurrencia en el mismo sitio y al mismo tiempo de estos tres elementos, pero a su vez se requiere que haya una reacción en cadena que los haga interactuar entre sí. Si al menos uno de ellos falta, no es posible que se origine el fuego, estos componentes son:

- Suficiente combustible (árboles, arbustos, pajonales) con un contenido de humedad tan bajo, que les permia arder.
- Suficiente oxígeno (aire) para que el fuego se propague, y
- Temperatura alta y propicia para que el fuego se expanda (calor)”. (Ministerio de Medio Ambiente, 2007, p.10).

2.3 Vulnerabilidad

“Es el grado en que un sistema natural o social es capaz o incapaz de afrontar los efectos negativos del cambio climático, incluso la variabilidad climática y los episodios extremos. La vulnerabilidad está en función de carácter, la magnitud y el índice de variación climática a que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación” (IDEAM, 2011).

Otra definición importante es la establecida por la ley del riesgo, (Gobierno Nacional, 2007) que la define como “la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir de efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos”.

2.4 Amenaza

“La amenaza se representa por un peligro latente asociado con un fenómeno o evento climático en un sitio específico y en un tiempo determinado, produciendo efectos

adversos en personas y/o el medio ambiente; la amenaza también puede expresarse matemáticamente como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad en un cierto sitio y en cierto periodo de tiempo. La diferencia fundamental entre la amenaza y el riesgo radica en que la amenaza está relacionada con la probabilidad de que se manifieste un evento natural, mientras que el riesgo está relacionado con la probabilidad de que se manifiesten ciertas consecuencias, las cuales también están íntimamente relacionadas con la vulnerabilidad que tienen dicho elemento a ser afectados por el evento" (IDEAM, 2011).

Según la Ley actual para la gestión del riesgo la amenaza es el "peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicio y los recursos ambientales. (Gobierno Nacional, 2012).

Una de las definiciones más recientes es que la amenaza "es un peligro latente que representa la posible manifestación de un fenómeno particular (en este caso, un incendio de la cobertura vegetal), de origen natural, socio-natural o antropogénico, en un territorio particular, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios y el ambiente". (IDEAM, 2013).

2.5 Sistema de cálculo de peligros y de alertas tempranas

"Estado que se declara con anterioridad a la manifestación de un evento peligroso, con base en el monitoreo del comportamiento del respectivo fenómeno, con el fin de que las entidades y la población involucrada activen procedimientos de acción preventivamente establecidos". (Gobierno Nacional, 2012).

"El cálculo de alertas de peligro de incendios se ha venido utilizando desde hace mucho tiempo para determinar el nivel de peligro de incendios y proporcionar una alerta temprana sobre el potencial de incendios graves. Los sistemas de cálculo utilizan datos climatológicos básicos diarios para estimar el potencial de incendios forestales. Se

pueden proporcionar sistemas de alerta temprana con muchos días de anticipación de un acontecimiento importante de incendios.

La información generada localmente sobre las alertas tempranas, puede ser más útil porque refleja las características meteorológicas locales y las condiciones de la vegetación. La participación activa de las comunidades locales en la recolección de información sobre el tiempo respecto a los incendios y en la difusión de las alertas creará un concepto de propiedad, y aumentará la responsabilidad local (corresponsabilidad social en la lucha contra incendios forestales) y la eficacia del sistema de alertas tempranas.

Los organismos forestales y de ordenamiento territorial, los propietarios de tierra y las comunidades, se beneficiarán de un sistema de alerta temprana que identifica los períodos críticos de alto peligro de incendios con anticipación a su existencia. Tal alerta temprana, particularmente si se comunica con una elevada resolución espacial y temporal, que incorpore medidas de incertidumbre y la probabilidad de condiciones extremas, permite a los encargados del manejo de incendios ejecutar planes de prevención, detección y preparación antes de que comiencen los problemas de incendios". (FAO, 2007).

"La estrategia de corresponsabilidad social en la lucha contra incendios forestales que se plantea en el Plan de desarrollo de 2010 y 2014, en capítulo VI "Sostenibilidad Ambiental y prevención del Riesgo es de carácter preventivo, e involucra a todos los actores de la comunidad rural. Su objetivo es el de activar la participación de todos los actores, para evitar la presencia de recurrencia de los incendios forestales" (Minambiente, 2011).

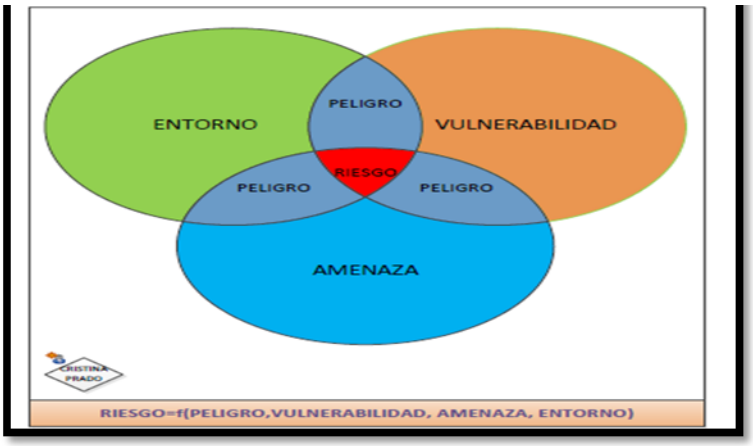
2.6 Riesgo

Es el "evento identificable en el tiempo y en el espacio, en el cual una comunidad ve afectado su funcionamiento normal, con pérdidas de vidas y/o daños de magnitud en sus propiedades y servicios, que impiden el cumplimiento de las actividades esenciales y normales de la sociedad" (Moreno & Múnera, 2000).

"Para eventos climáticos el riesgo se entiende como la probabilidad y la magnitud de las consecuencias [adversas] después de un evento climático de peligro. Esta probabilidad

es una función de la interacción entre las posibles amenazas y la vulnerabilidad de un sistema” (IDEAM, 2001).

Ilustración 3 Esquema gráfico del riesgo



Fuente: propia.

El proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible, esta es una de las definiciones usadas para la gestión del riesgo. Como lo muestra la ilustración 3., el riesgo es función de la vulnerabilidad, de la amenaza y del peligro, que comprometa al entorno.

Un indicador generado por el riesgo es la prevención del riesgo, que es definido por: “las medidas y acciones de intervención restrictiva o prospectiva dispuestas con anticipación con el fin de evitar que se genere riesgo. Puede enfocarse a evitar o neutralizar la amenaza o la exposición y la vulnerabilidad ante la misma en forma definitiva para impedir que se genere nuevo riesgo. Los instrumentos esenciales de la prevención son aquellos previstos en la planificación, la inversión pública y el ordenamiento ambiental territorial, que tienen como objetivo reglamentar el uso y la ocupación del suelo de forma segura y sostenible” (Gobierno Nacional, 2007).

2.7 Análisis y evaluación del Riesgo

"Implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación" (Gobierno Nacional, 2012).

2.8 Índices de propagación de los incendios forestales

Estos son algunos de los índices más usados para la evaluación de riesgos a nivel mundial, los cuales pueden ser evaluados individualmente o combinado.

- "Índice de carga de fuego: indicador cuantitativo y/o cualitativo utilizado para evaluar el esfuerzo total requerido para contener todos los incendios probables, dentro de un área determinada y durante un período específico.
- Índice de ignición: Indicador cuantitativo y /o cualitativo realizado con la facilidad con la cual los combustibles finos (pastos, vegetación herbácea, acículas, ect), podrían encenderse cuando son expuestos a una fuente de ignición (cigarrillos, fósforos, rayos).
- Índice de liberación de energía: Indicador cualitativo y/o cuantitativo de la razón de combustión y de la liberación de calor.
- Índice de ocurrencia: Indicador cualitativo y/o cuantitativo de la incidencia potencial de focos dentro de un área determinada. Se deriva del riesgo y de la facilidad de ignición.
- Índice de peligro: Indicador cualitativo y/o cuantitativo de peligro de incendios.
- Índice de propagación: Indicador cualitativo y/o cuantitativo de la velocidad de propagación pronosticada para el fuego en un determinado tipo de combustible, una determinada pendiente y bajo condiciones meteorológicas específicas.
- Índice de quema: Indicador cualitativo y/o cuantitativo del esfuerzo potencial necesario para contener un incendio en un tipo de combustible en particular, dentro de un área determinada y durante un período determinado.

- Índice de riesgo: Indicador cuantitativo y/o cualitativo de la probabilidad de que un área esté expuesta a una fuente de ignición, ya sea natural o antrópica.
- Índice de severidad estacional: Sumatoria de los índices de carga de fuego" (Ruiz, 2004).

2.9 Cambio climático

Según la Organización Mundial de Meteorología "Es un significativo aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, que los científicos atribuyen como causa de un cambio global del clima, producido por el fenómeno del Niño término usado para describir la aparición, de tiempo en tiempo, de aguas superficiales relativamente más cálidas de lo normal en el Pacífico tropical central y oriente, frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia. Este calentamiento de la superficie del Océano Pacífico Colombiano y con un aumento del nivel medio del mar, cubre grandes extensiones y por su magnitud afecta el clima en diferentes regiones del planeta, entre ellas, el norte de Suramérica. Dentro de una evolución típica del fenómeno del Niño es posible identificar las siguientes fases: inicio, desarrollo, madurez y debilitamiento. (Bandi, 2004).

El cambio climático es una importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un periodo prolongado (normalmente decenios o incluso más). El cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras (Gobierno Nacional, 2012).

2.10 Humedad relativa

"La humedad es un elemento meteorológico que tiene una relación estrecha con la componente en la estabilidad atmosférica y por consiguiente con la ocurrencia y distribución de la precipitación en una zona o porción terrestre". (IDEAM, 2007).

"Es la cantidad de vapor de agua contenida en el aire. A mayor temperatura, mayor es el grado de sequedad del aire y la pérdida de agua en los combustibles (en el bosque y sus componentes), los seca por pérdida de humedad, e incrementa la vulnerabilidad ante los incendios forestales". (Ministerio de Medio Ambiente, 2007, p.16).

2.11 Precipitación

“La precipitación se define como la caída de hidrometeoros que alcanzan finalmente el suelo. La medida de la cantidad de lluvia se expresa por la altura de la capa que cubriría el suelo, supuesto perfectamente horizontal, si no se filtrase, evaporase, ni escurriese. A esta medida se llama altura de precipitación y es expresa en milímetros, donde un milímetro equivale a un litro de agua por metro cuadrado de superficie. La precipitación es una variable meteorológica con gran variabilidad espacial y temporal”. (IDEAM, 2007, p. 35).

2.12 Temperatura

“La temperatura es un parámetro del estado térmico de la materia; el valor de éste depende de la energía cinética media de las moléculas. La medida de temperatura se hace posible debido a la transferencia de calor entre cuerpos de niveles distintos de energía cinética molecular media; esta variable se determina como una magnitud física, que caracteriza el movimiento aleatorio medio y presenta una variabilidad en función de la elevación, en los trópicos” (IDEAM, 2007, p.17).

2.13 Viento

“El viento es el movimiento del aire cuya intensidad está sujeta a variaciones, tanto en el período como en amplitud, debido a que no es laminar. El viento sobre la Tierra es un flujo turbulento, que comprende remolinos de tamaños diversos y parámetros físicos que se desplazan con el flujo. La orográfia (descripción del relieve montañoso) de la Tierra es el principal factor que determina la estructura turbulenta del viento. Esta estructura del flujo del aire se manifiesta a través de la llamada “Rafagosidad” del viento, o sea fluctuaciones de los parámetros del viento de superficie. La dirección del viento es determinada por la trayectoria media que hace el aire en su movimiento y en general, está dada por el punto correspondiente de donde fluye la corriente de viento y no de aquel, hacia el cual se dirige. Las distintas direcciones del viento están referidas en la rosa de los vientos, la cual señala los diferentes puntos cardinales que van desde 4 hasta 16 direcciones. La velocidad del viento se determina por el espacio recorrido por las partículas de aire que el flujo del aire impulsa en su movimiento, o también por la presión

que el viento ejerce sobre un obstáculo dado, se expresa en metros por segundo (m/s), Kilómetros por hora (Km/h), nudos y millas por hora (mi/h)". (IDEAM, 2007, p. 48).

2.14 Fenómeno del Niño

"El niño es un evento de naturaleza marina y atmosférica que consiste en el calentamiento anormal de las aguas superficiales en el pacífico tropical central y oriental, frente a las costas del norte del Perú, Ecuador y sur de Colombia, que dependiendo de la intensidad alcanzada puede afectar el clima mundial. En términos generales, este calentamiento de la superficie del Océano Pacífico es recurrente, aunque no periódico, y se presenta entre cada dos y siete años. En ciertas ocasiones esta perturbación climática se revierta luego de haber comenzado". (Mejía, 2007, p. 1).

"La intensidad de un fenómeno el Niño se refleja en la magnitud de las anomalías, tanto en el océano, como en la atmósfera en el área del pacífico tropical. Esta intensidad, aunque influye, es diferente de la magnitud del efecto climático y del impacto producido por el fenómeno en las actividades humanas. El efecto climático depende de la época del año en que se presenta el fenómeno y el impacto socioeconómico está más relacionado con la vulnerabilidad de las diferentes regiones del país y de los sectores de la actividad nacional. En el pasado ocurrieron fenómenos El Niño con diferentes intensidades. Así por ejemplo, el fenómeno El niño de 1982-1983 se consideró muy fuerte, los de 1957-1958, 1965-1966, 1972-1973 y 1991-1992, fuertes y los de 1976-1978 y 1986-1987, moderados. No obstante, el efecto climático y el impacto socioeconómico de estos fenómenos no estuvieron acordes con su intensidad.

El marco general del desarrollo de un fenómeno El Niño considera que el calentamiento se inicia con un desplazamiento de aguas cálidas desde el Pacifico tropical occidental hacia el Oriente en dirección de las costas Suramericanas. Dentro de la evolución típica del fenómeno El niño es posible identificar las siguientes fases:

- La fase inicial es el desplazamiento de aguas cálidas desde el sector occidental del Pacifico tropical hacia la zona cercana a la línea del cambio de fecha (los 180° de longitud). No obstante, en esta etapa, otros procesos oceánicos y atmosféricos pueden revertir el proceso iniciado.

- En la fase de desarrollo continúa el desplazamiento de las aguas cálidas hacia el Oriente a través del Pacifico tropical.
- En la fase de madurez es posible encontrar el máximo calentamiento de la superficie del mar en el sector oriental del Pacifico tropical frente a las costas de Perú, Ecuador y Colombia.
- Finalmente, en la fase de debilitamiento se presenta la disminución del calentamiento de las aguas del Pacifico tropical oriental hasta llegar a condiciones cercanas a las normales. Es importante aclarar que los procesos que ocurren en el océano Pacifico tropical están interrelacionados con la dinámica de la atmósfera que yace sobre él y conforman un fenómeno de mayor amplitud y complejidad, comúnmente conocido como ENSO (El Niño-Oscilación del sur)". (IDEAM, 1997, p.9).

2.15 Sistema de información geográfica – SIG.

Es un instrumento que apoya la toma de decisiones en las entidades, organizaciones y gobiernos locales, regionales y nacionales; permite gran rapidez en la formulación de políticas y en la evaluación de los posibles resultados. Campo básico de investigación que busca redefinir conceptos de la información geográfica y la era digital. Los SIG deberán proporcionar el marco conceptual para orientar, la investigación y animar la explotación de productos, más allá de la solución de problemas inmediatos". (Moreno y Múnera, 2000).

"Es un sistema de base de datos en que la mayor parte de los datos tienen incluido el aspecto espacial, y un conjunto de procedimientos que permiten responder preguntas sobre entes espaciales en la base de datos" (Smith et al. 1987). "Es un conjunto poderoso de herramientas para capturar, almacenar, recuperar, transformar y mostrar datos espaciales del mundo real con un propósito particular" (Burrough & McDonnell 1998).

En términos prácticos, un SIG cuenta con una base de datos geográficos, con funciones de análisis espacial, con la misión principal de contribuir a resolver problemas espaciales o territoriales.

Según Gómez, (2010): los sistemas de información geográfica pueden ser definidos como sistemas para la captura, almacenamiento, verificación, integración, manipulación, análisis y despliegue de datos que están referidos especialmente a la tierra.

2.16 Modelo Conceptual o modelo entidad-relación

"Es la forma de idear o conceptualizar la realidad a través de la definición de entidades (objetos que se encuentran en la superficie de la tierra), de sus relaciones espaciales y sus características o atributos, representando y describiendo el mundo real en una forma abstracta, pero que sea entendida por el usuario. De aquí nacen los métodos de entidad-asociación (E-A) y modelo de entidad-relación (EM-ER), este segundo, por asegurar una mejor organización de las entidades con sus relaciones, se considera más eficiente, especialmente el caso de SIG, que revista algún grado de complejidad. Para este modelo, uno de los aspectos importantes es definir las entidades y sus correspondientes atributos, y también es fundamental que se hable en el mismo idioma, para que sea entendido por cualquier persona que quiere tomarlo o ejecutarlo". (Gómez, 2010, p.59).

2.17 Modelos Lógicos

"Se refiere a la conceptualización detallada de las entidades a trabajar y al diseño en detalle de las bases de datos donde se registrarán los atributos de esa misma entidad. Este modelo debe incluir también la definición de los niveles de la información que se emplearán. Este diseño debe incluir:

- Identificadores, para cada una de las entidades a utilizar.
- Conectores, que definan la forma de relacionar unas con otras.
- Tipos de datos y su longitud, bien se refiera a datos numéricos o de carácter, cantidad de espacio que necesite en la base de datos. Algunos sistemas traen también la diferenciación de si se trata de enteros o de reales.
- Descripción detallada de los atributos". (Gómez, 2010, p.62).

3. Análisis experimental

En este capítulo se describe la zona donde se realizó el estudio y se muestran algunas características principales. Luego en materiales y método se da a conocer como fue el proceso de adquisición de la información de los datos ofrecidos por la CDPMIF, y se describe con que datos se contó en relación a los incendios forestales del Distrito. Luego se realizó una descripción estadísticas de los incidentes forestales, proceso necesario para determinar la calidad de la información con que se realizó esta investigación. Posteriormente se recomienda algunas metodologías usadas por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), para el manejo y uso de los datos meteorológicos.

3.1 Características de la zona de estudio

3.1.1 Ubicación geográfica

La investigación se realizó en los Cerros Orientales ubicados al oriente de Bogotá – Cundinamarca, perteneciente al Distrito capital; limita al norte con Torca y al sur por el Boquerón de Chipaque. Tiene varios puntos de acceso, pero los más usados son: el camino peatonal hacia el Cerro de Monserrate y la vía que conduce a Fómeque para visitar el Cerro de Guadalupe. Esta es una reserva que se localiza en su totalidad en el Distrito Capital y su ubicación de suelo se encuentra, una parte en la zona rural y la otra en la zona urbana.

3.1.2 Caracterización

“Se encuentra en un rango de altitud de 2.600-3.100 msnm, temperatura ambiente promedio 13°C, precipitación máxima de 1.500 mm/año y tiene una extensión de 14.111 hectáreas.

Su vegetación corresponde a Selva Andina o Bosque Andino y Páramo, con humedad relativa de 78%, cobertura vegetal en buen estado con el 64% cubierta por bosque, rastrojo, rondas en las riberas (cordones riparios) y matorrales, que corresponde a especies nativas, mientras que el restante 36% se encuentra en estado medio y alto de fragmentación.

De esta área de fragmentación y transformación en el 18% predominan forestales de especies exóticas (pinos y eucaliptos) y los asentamientos urbanos ocupan el 4.26%, mientras que las explotaciones mineras ocupan el 0.77%

Las características topográficas del terreno proporcionan a las fuentes hídricas que nacen en esta Reserva un carácter altamente dinámico con tiempos de concentración de lluvias de corta duración.

Los cerros de Monserrate y Guadalupe junto con el paisaje de la sabana constituyen el mayor referente físico de la ciudad de Bogotá y de los municipios que se interconectan. Esta zona es considerada como un referente social y ambiental para el hábitat de Bogotá.

Los sectores más conservados de vegetación se ubican en las localidades de Candelaria, Usme, San Cristóbal y Ciudad Bolívar en los adquiridos por la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAB), y en las cuencas de las quebradas Contador y Chicó.

Se encuentran aproximadamente 443 especies entre nativas y exóticas tales como Encenillo (*weinmannia tomentosa*), Laurel de cera (*morella pubecens*), Angelito, Arrayán (*myrcianthes leucoxyla*), Magle (*escallonia pendula*).

De fauna típica se encuentran animales pequeños como Comadreja (*mustela frenata*) y la Chucha (*didelphys albiventris*), conejo silvestre (*sylvilagus brasilensis*), ratón de páramo (*thomasomys laniger*), musaraña (*cryptotis thomasi*) y curi.

Aves como colibrí orejivioleta (*colibrí coruscans*), colicintillo (*lesbia sp*), toche (*lcterus chysater*), torcacita (*zenaida auriculata*); se han observado el murciélago migratorio de Norteamérica (*lasiurus boreales*) y algunos reptiles y anfibios.

La geología de los Cerros Orientales se caracteriza por la presencia de rocas de origen marino y continental, cuyas edades oscilan entre el Cretáceo y el Paleoceno”. (CAR,

2007, p. 66). En la ilustración 4., se observa un mapa de Bogotá donde se destaca a la derecha de la imagen, los Cerros Orientales.

Ilustración 4. Ubicación de los Cerros Orientales-Bogotá

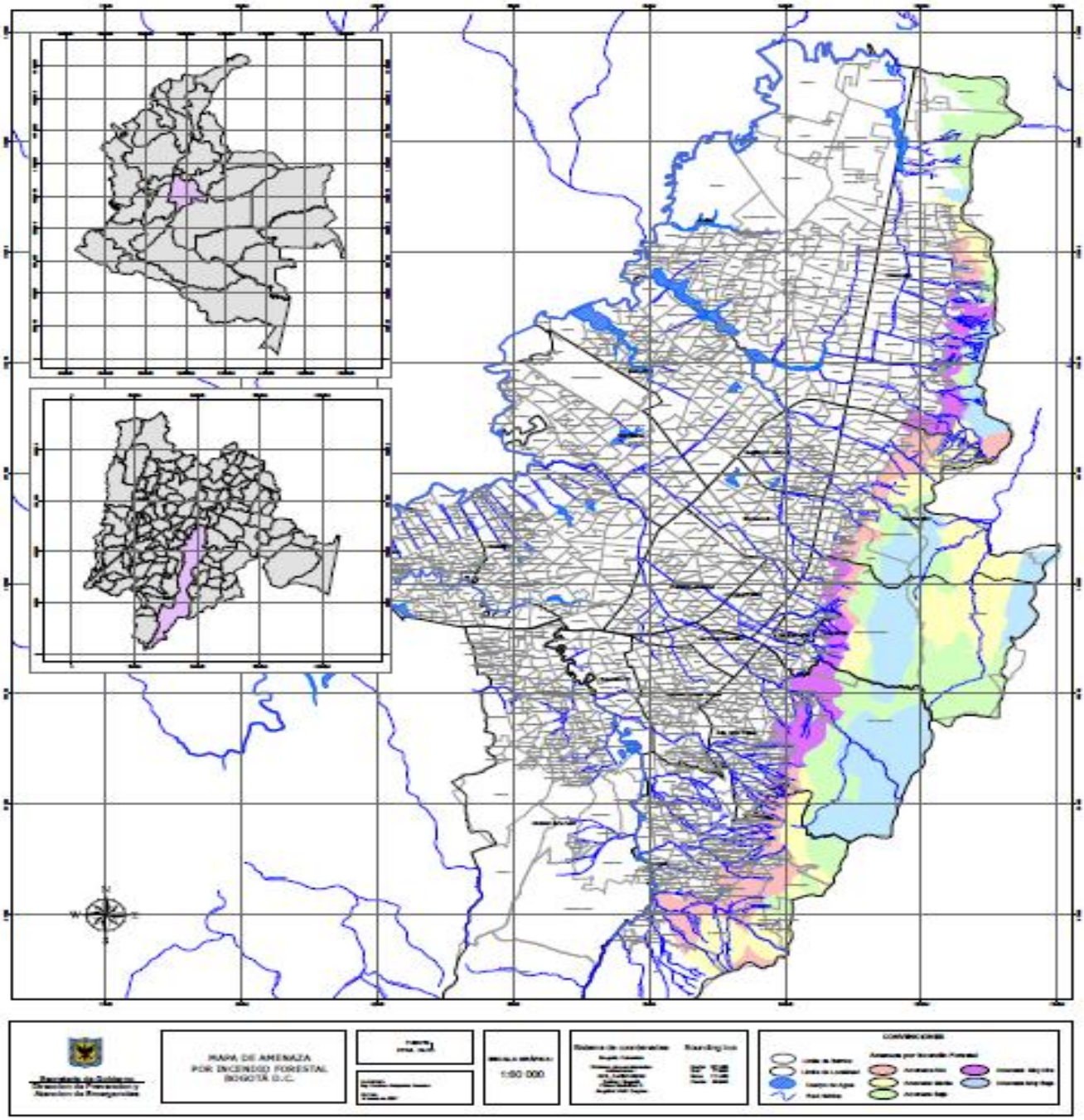
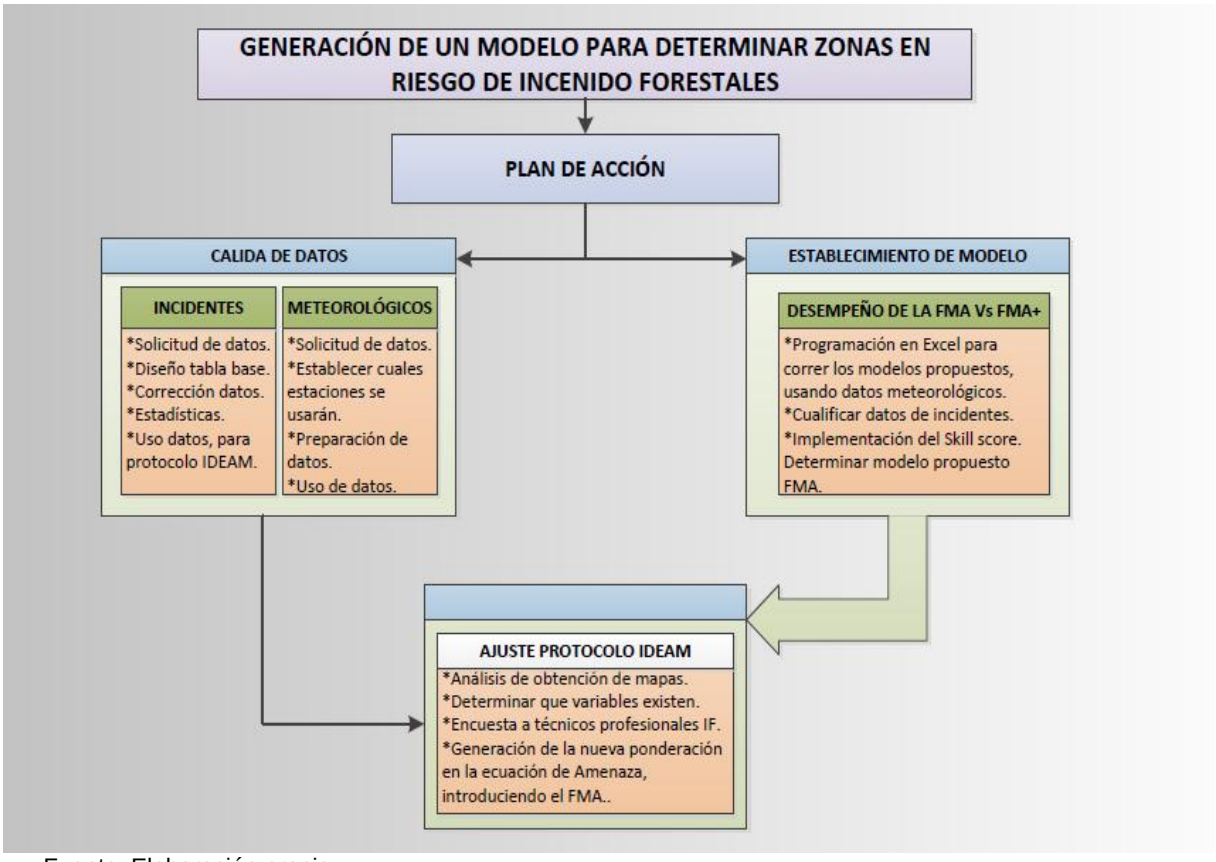


Imagen tomada: http://www.sire.gov.co/portal/page/portal/sire/componentes/geoportal/wms/MapaIncendios.pdf

3.2 Materiales y metodología

La metodología propuesta se puede observar en la ilustración 5., donde se muestra que los resultados de esta investigación fueron un avance para uno de los indicadores del plan de acción de la CDPMIF para el 2013. Se indica las actividades realizadas, en las que se encuentra la verificación de la calidad de datos de incidentes forestales, y el establecimiento del modelo de índice de peligro, para posteriormente incluirlo en el protocolo IDEAM.

Ilustración 5. Metodología para el establecimiento del modelo de peligro.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.1 Recopilación de información digital

La información con que se cuenta en materia de incendios forestales en Bogotá es amplia, no obstante el problema radica en la duplicidad de los datos, ya que cada entidad maneja la información individualmente, y no se compila antes de hacerla pública. De

acuerdo con la investigación realizada, las entidades que manejan los datos de incidentes de incendios forestales ocurridos en el Distrito Capital son:

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, esta información por estatutos y normas, es la oficial, la cual es la que se presenta a la UNGRD, que registra e informa si es necesario que el distrito se encuentra en alerta por un incendio forestal.
- Unidad Administrativa Especial Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá, la información manejada por esta institución, es oficial para la comisión de incendios forestales, esta es georreferenciada luego de ser controlado el incidente.
- Defensa Civil Colombiana, quien toma información de los eventos atendidos en situ, está no es georreferenciada posteriormente, por consiguiente no es una información confiable, de la cual se pueda hacer uso. Aunque la Defensa Civil Colombiana es la institución con mayor personal capacitado para atender este tipo de eventos.
- Otra entidad encargada de la toma de información de los incidentes, es el NUSE (Número Único de Seguridad de Emergencias, Línea 123), el cual registra y da atención telefónica a cada una de las llamadas de un mismo incidente, esta información, tampoco es de tipo oficial, con la que se pueda contar para el control de incendios forestales.

Para obtener la información de los datos de incendios forestales, se tuvo que realizar una solicitud directamente con la Comisión Distrital de Incendios Forestales, por medio de una carta oficial del director de la Defensa Civil Colombiana, a la secretaría técnica (SDA) de la comisión, la respuesta a esta solicitud duró un mes, y se hizo efectiva directamente en reunión mensual de la Comisión Distrital de Incendios Forestales.

3.2.2 Análisis de los datos digitales

El día 27 de julio de 2012 fueron entregados en reunión mensual de la CDPMIF, los datos solicitados a la Secretaría Distrital de Ambiente, por medio de un CD y un oficio de respuesta al radicado SDA1012ER078101, este CD, contiene la siguiente información:

- Una carpeta llamada División Política, la cual cuenta con 37 elementos, entre los cuales tiene información shapes (archivo compuesto por mínimo tres extensiones

(.dbf), (.shx) y (.xml); que sirve para trabajar en un software SIG) de barrios, localidades, municipios, veredas.

- Una carpeta llamada EEP, la cual contiene 23 elementos shapes con información del Rio Bogotá, Rondas hídricas, Parques metropolitanos, etc.
- Una carpeta llamada equipamentos, con 15 elementos shapes, con información de áreas verdes, colegios y los parques del IDRD.
- Una carpeta llamada Hidrografía, con 30 elementos shapes de cuencas, hidrolíneas, hidrocuerpos del acueducto, lagos, información del río Bogotá y otros ríos rurales.
- Otra carpeta llamada humedales, que contiene 92 elementos shapes, entre los que está, el humedal capellanía, humedal córdoba, humedal de la vaca, humedal del burro y el humedad techo.
- Una carpeta llamada Incendios Forestales, en la cual se encuentran 6 carpetas anexas, con shapes, la primera carpeta contiene 21 elementos que registran los polígonos de los incidentes atendidos, llamadas shapes 1995 al 2008, pero esta información luego de ser analizada en el Arcgis, mostró que solo son puntos de los incidentes, no polígonos.

  La segunda carpeta que se encuentra se llama shapes bomberos 2009, en la cual hay 7 elementos que muestran los polígonos de los incidentes ocurridos ese año. La tercera subcarpeta, llamada Shapes bomberos 2010, que contiene también 7 elementos con los polígonos con los incidentes atendidos para ese año. En la cuarta subcarpeta, llamada Shapes Ene_Jun_2011 bomberos, se encuentra 7 elementos con información relacionada de los incendios ocurridos para ese año en el periodo de enero a junio. Otras dos subcarpetas una llamada shape Ago_Dic_2011, con 9 elementos shapes, y en la carpeta Shape 2012 con nueve elementos en los cuales se encuentra un resumen en pdf de los incidentes, una foto y 7 shapes que contienen los polígonos correspondientes.
- Una carpeta llamada infraestructura la cual contiene información de shapes de Bogotá que caracteriza la malla vial del distrito.
- Una carpeta llamada regional, en la cual se muestran shapes con información de las zonas rurales y urbanas, cercanas a Bogotá.
- Reporte de incidentes forestales, con información en excel de los reportes de los eventos ocurridos en el transcurso de los años desde 1999 hasta el 2012, teniendo variaciones en la información registrada, con la cual se va a establecer la descripción

de los datos reportados de incidentes. Y la última carpeta topografía, con 30 elementos, los cuales contienen los shapes de la topografía de Bogotá.

3.2.3 Descripción de los datos reportados de incidentes

En los datos entregados por la Secretaría de Ambiente, esta carpeta llamada reporte de incendios forestales, en la cual se encuentra la información de los incidentes ocurridos desde el años 1999 hasta el 2012. Como los datos estaban registrados en diferentes tablas de Excel, se diseña una tabla de datos, que contiene los datos corregidos, tabulados y ajustados para esta investigación, la cual posteriormente fue dejada en la CDPMIF para el uso de posteriores estudios. Esta tabla de incidentes es la oficial para el Distrito, y contiene los siguientes datos:

- Tiempo, este tiempo es la información de tres tiempos importantes, el primero es el tiempo del reporte del incidente, el cual es reportado por el NUSE al UAECOB, el segundo es el tiempo de llegada del organismo de atención al sitio del evento y poder prestar la ayuda, y empezar con las labores de extinción del fuego, y el último tiempo reportado, es cuando ya se tiene apagado en fuego, de estos tres se saca el tiempo completo de duración del incidente.

- Clase, este dato representan la clase de incidente presentado, el cual tienen una tipología ya establecida para el manejo de los Incendios Forestales, donde encontramos, los siguientes términos definidos por la CDPMIF (Torres, 2001):

  Quema: “el fuego que se propaga con o sin control y/o límite preestablecido consumiendo combustible como basura, artículos de madera, pastos y otros residuos vegetales producidos en actividad agrícolas, pecuarias y forestales”.

  Conato: “Es el fuego que se propaga sin control, sin límite preestablecido, cuyo tamaño oscila entre 0 y 0.5 ha, y presenta relativamente poca dificultad para su control”. E incendio forestal, definido en el capítulo anterior.

- Cobertura, la cual establece una serie de especies vegetales manejadas con frecuencia en incendios forestales para los cerros orientales de Bogotá; se puede encontrar, pastos, residuos vegetales y otros (tipología de quemas); bosque nativo, pino, eucalipto, matorral o rastrojo y retamo espinoso; estos se utilizan tipológicamente para conatos e incendios.

- Atención, este dato registra quien fue el primero que respondió en el evento, o cual fue la entidad encargada de atender el incidente.

- Ubicación, esta se subdivide en cuatro, para la buena localización del incidente, indicando el nombre del cerro, vereda o barrio, localización (dirección exacta si se tiene) y localidad.

- Y por último las Causas, que indican cuales fueron las causas establecidas que provocaron el incidente, entre las que se te tienen:

  i) Accidental, es cuando una actividad ajena a la de iniciar un incendio, ocurre ocasionando uno. ii) Causas naturales, son producidas como lo dice su nombre por una causa natural, ajena a la mano del hombre, un ejemplo de ella es un rayo, que ocasiona un incendio forestal. iii) Causa desconocida, es cuando no se establece el origen del incendio. iv) Manos criminales, causada por el hombre, pero a diferencia de la accidental, hay intención anticipada de generar un incendio forestal, sin medir las consecuencias de este. v) La provocada, a diferencia de la anterior es producida por el hombre pero por realizar una quema que se salió de control. vi) La quema controlada, es la que siempre es realizada en compañía del personal profesional para esta clase de incidentes, que en Bogotá es solo la UAECOB. Y por último, vii) la quema agrícola, la cual es generada en las zonas rurales por los campesinos, es una actividad cultural realizada desde hace muchos años, que acelera los tiempos productivos, pero genera la degradación de las características del suelo.

3.2.4 Análisis descriptivo

Posteriormente de haber compilado todos los incidentes e incendios en una sola tabla, en la cual se realizó correcciones de algunos datos (la mayoría ubicación), se le hizo el análisis de calidad, un análisis descriptivo de la información registrada, logrando una caracterización cualitativa y cuantitativa de los mismos.

3.2.4.1Descripción de los datos

Los datos hacen referencia a los incidentes forestales presentados en la ciudad de Bogotá entre los años 1999 a 2012. La base tiene en total 6.900 observaciones, cuenta con 19 variables, 7 de ellas de tipo categórico; de las restantes, una de ellas es el número del evento registrado, tres de ellas contienen la fecha del evento, otras tres son la horas relacionadas con el evento, una que cuenta el tiempo de atención, es decir, desde el momento en que se presenta el incendio, luego cuando llega el organismo de atención, y una que cuenta el tiempo total de la duración del incidente, desde que comienza hasta su extinción. Las otras tres variables hacen referencia al área quemada por clasificación (Conato, quema, incendio).

Como la información proporcionada para los años 1999-2008 cuenta con información completa relacionando conatos, quemas e incendios, y la del periodo 2009-2012 hace sólo referencia a incendios, teniendo un ajuste posteriormente.

PERÍODO 1999-2008

De acuerdo con los registros, entre el año 1999 y el año 2008 se presentaron 4.606 incidentes forestales, siendo el 2003 el año con mayor cantidad de incidentes forestales. Además, en los meses de febrero y septiembre se presentó la mayoría de los incidentes, esto puede ser porque se estaba analizando una zona bimodal (lluvia en 2 periodos del año), lo cual se pude ver en la tabla 3., que igualmente exhibe una tendencia entre los meses de Junio y Noviembre, y un aumento de los eventos que comienza en Junio y llega a su pico en el mes de Septiembre, mes en el que comienza un decremento hasta el mes de Noviembre. Finalmente, una observación importante es el incremento notable (considerable) de los incidentes forestales de Diciembre a Enero del siguiente año, puede ser porque es una época caracterizada como verano en Colombia.

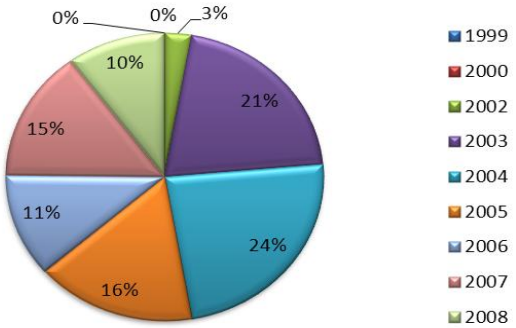
Tabla 3 Distribución temporal (mes y año) del número de incidentes forestales registrados entre los años 1999 y 2008.

Mes	1999	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Total general
Enero	40		11	259	141	130	10		65	656
Febrero		4	12	217	292	105	48		101	779
Marzo		1	12	162	82	243	15	40	63	618
Abril				29	17	44	2	28	25	145
Mayo	1		1	56	16	22	1	16	16	129
Junio		3	1	60	29	27	20	10	7	157
Julio	3			65	32	66	47	56	19	288
Agosto	2			123	60	101	86	46		418
Septiembre			2	128	93	120	233	165	44	785
Octubre			1	48	63	15	121	48	14	310
Noviembre			1	7	12	19	7	21	2	69
Diciembre			106	25	29	22	39	18	13	252
Total general	**46**	**8**	**147**	**1179**	**866**	**914**	**629**	**448**	**369**	**4606**

Fuente: Propia, pasada en los datos de incidentes entregados por la CDPMIF.

Una de la hipótesis a probar era que el (60-70%) de los incidentes forestales tiene su origen por causas humanas, sin embargo, de acuerdo con la información que se obtuvo, sólo el 35.52% fue causado por “manos criminales”, la primera causa es la “desconocida”, abarcando el 50.08% de los registros para todos los años del período de estudio, sin embargo como en Colombia no se ha establecido una ley para que se realicé el seguimiento por parte de la policía, o entidades judiciales en estos incidentes, el porcentaje no es real. En ninguno de los años predominaron las “manos criminales” como causa principal, el porcentaje máximo alcanzado por esta causa fue del 23.66% en el año 2004, como se puede ver en la gráfica 1.

Gráfico 1 Distribución porcentual de la causa “manos criminales” por año.



Fuente: Propia, pasada en los datos de incidentes entregados por la CDPMIF.

Por otra parte, el total de área quemada por los 4.606 incidentes forestales registrados entre 1999 y 2008 fue de 37.550.022,75 m^2, como se puede ver en la tabla 4. De los cuales, sólo el 7.32% se debió a manos criminales, la gran mayoría, 81,18%, del total de área quemada fue por causa desconocida y en segundo lugar, con 4.221.287 m^2, se encontraron los incidentes provocados.

Tabla 4 Distribución porcentual del área quemada (m2) por causa.

Etiquetas de fila	Área quemada (m^2)	% Área quemada
ACCIDENTAL	73.832	0,20%
CAUSAS NATURALES	100	0,00%
CONTROLADA	10.327	0,03%
DESCONOCIDA	30.482.589,75	81,18%
EFECTOS NATURALES	7.782	0,02%
MANOS CRIMINALES	2.747.544	7,32%
PROVOCADO	4.221.287	11,24%
QUEMA CONTROLADA	5.431	0,01%
QUEMAS AGRICOLAS	1.130	0,00%
Total	**37.550.022,75**	**100,00%**

Fuente: Propia, basada en los datos de incidentes entregados por la CDPMIF.

En relación con la clasificación y área quemada, de los 4.606 eventos que se presentaron en ese periodo, 524 fueron clasificados como conato, 161 como incendios, 3.918 como quemas, 1 como quema y conato, como se puede observar en la Tabla 5, de lo cual, se pude concluir que la mayor área quemada no se presentó en el año con mayor número de incendios sino en el 2004.

Tabla 5 Total área quemada por clasificación y año.

Año	Conato (m^2)	Incendio (m^2)	Quema (m^2)	Quema-Conato (m^2)	Total general (m^2)
1999	22.301	60.000	11.264		93.565
2000		270.000			270.000
2002	15.150	1.156.900	30.426		1.202.476
2003	59.455	9.083.600	268.578		9.411.633
2004	24.662	15.640.000	195.454		15.860.116
2005	49.515,75	2.057.000	217.033		2.323.548,75
2006	30.650	1.082.500	166.623	84	1.279.857
2007	53.438	6.410.000	42.279		6.505.717
2008	110.343	440.000	52.767		603.110
Total general (m^2)	**365.514,75**	**36.200.000**	**984.424**	**84**	**37.550.022,75**

Fuente: Propia, basada en los datos de incidentes entregados por la CDPMIF.

Para todos los incidentes forestales registrados se contaba con la información de tipo de cobertura, sobre el cual se realiza un análisis combinado también con la clasificación y el área quemada, como se ve en la tabla 6. Se concluye que la mayor cobertura en los incidentes fue el "pasto", y que de estos el 99.62% fueron "quemas"; sin embargo, debido a que el número de "incendios" (que es la clasificación de áreas quemadas mayor) se presentaron en la cobertura "bosque nativo", la mayor área quemada fue en ese tipo de cobertura, representando el 61,36% del total de área quemada. Igualmente, la clasificación restante "conato" se dio en su mayoría en el "bosque nativo", y el tipo de cobertura que menor cantidad de registros tuvo fue, los de "residuos vegetales", y en general, el 57.68% de los incidentes presentados fueron quemas de pastos. Por otro lado, la otra de las hipótesis que se quería comprobar era que el retamo espinoso es considerado un incentivo de alto riesgo en los incendios forestales en el Distrito, dada la gran cantidad de material combustible y ceras que contiene, pero según la información de los registros con los que se contó, sólo en el 3,82% de los incidentes forestales entre los años 1999 y 2008 fue de este tipo de cobertura.

Tabla 6. Frecuencia de los incidentes por tipo de cobertura y clasificación

Tipo de cobertura	Conato	Incendio	Quema	Quema-Conato	Sin información	Total general
BOSQUE NATIVO	243	81	3		1	328
EUCALIPTO	5	4				9
MATORRAL O RASTROJO	50	34				84
OTROS	12		458	1	1	472
PASTOS	2	8	2.657			2.667
PINO	30	23	1			54
RASTROJO	2	9	1			12
RESIDUOS VEGETAL	9		795			804
RETAMO ESPINOSO	171	2	3			176
Total general	**524**	**161**	**3.918**	**1**	**2**	**4.606**

Fuente: Propia, basada en los datos de incidentes entregados por la CDPMIF.

Tabla 7 Total área (en metros cuadrados) quemada por tipo de cobertura y clasificación.

Tipo de cobertura	Conato (m^2)	Incendio (m^2)	Quema (m^2)	Quema-Conato (m^2)	Total general (m^2)
BOSQUE NATIVO	203.378,75	22.837.100	660		23.041.138,75
EUCALIPTO	1.350	40.000			41.350
MATORRAL O RASTROJO	38.776	3.610.000			3.648.776
OTROS	4.434		130.482	84	135.000
PASTOS	24	8.660.000	728.815		9.388.839
PINO	22.283	732.900	400		755.583
RASTROJO	14.000	270.000	50		284.050
RESIDUOS VEGETALES	8.933		123.717		132.650
RETAMO ESPINOSO	72.336	50.000	300		122.636
Total general (m^2)	**365.514,75**	**36.200.000**	**984.424**	**84**	**37.550.022,75**

Fuente: Propia, basada en los datos de incidentes entregados por la CDPMIF.

Otro análisis que puede resultar interesante es entre la variable causa y el tipo de cobertura, y también la variable causa con la clasificación, como un análisis suplementario a la conjetura de interés sobre la causa “manos criminales” descrita anteriormente. En relación con la última combinación, las quemas de causa desconocida ocuparon el 44.31% de los incidentes forestales, y en segundo lugar se encuentran las quemas por manos criminales representando el 27.87% de los incidentes registrados. Además, discriminando el área quemada por clasificación según causa, se tiene que del total de área quemada clasificada como “Conato”, el 48.61% fue por manos criminales, al

igual que los 84 m^2 de área que fue clasificada como “quema” y “conato”. En cuanto al área quemada correspondiente a “incendio” y “quemas”, la mayoría en cada una fue por causa desconocida, con el 82,16% y 59,63% respectivamente.

Tabla 8 Área quemada (m2) según causa y clasificación.

Causa	Conato (m^2)	Incendio (m^2)	Quema (m^2)	Quema-Conato (m^2)	Total (m^2)
ACCIDENTAL	1.050	50.000	22.782		73.832
CAUSAS NATURALES			100		100
CONTROLADA	1.370		8.957		10.327
DESCONOCIDA	154.127,75	29.741.400	587.062		30.482.589,75
EFECTOS NATURALES	5.000		2.782		7.782
MANOS CRIMINALES	177.699	2.248.600	321.161	84	2.747.544
PROVOCADO	21.168	4.160.000	40.119		4.221.287
QUEMA CONTROLADA	5.000		431		5.431
QUEMAS AGRICOLAS	100		1.030		1.130
Total (m^2)	**365.514,75**	**36.200.000**	**984424**	**84**	**37.550.022,75**

Fuente: Propia, basada en los datos de incidentes entregados por la CDPMIF.

Respecto a la combinación de la variable causa con tipo de cobertura, según la Tabla 8, la mayor área quemada fue de cobertura “bosque nativo” por causa desconocida; y discriminando cada tipo de cobertura por causa se tiene que:

- En el bosque nativo, aunque el 52.43% de los incidentes forestales se debieron a manos criminales, en la causa desconocida se encuentra la mayor cantidad de área quemada.

- Para el eucalipto, sólo se presentaron las causas desconocidas y manos criminales, doblando esta última en frecuencia a la causa desconocida y siendo igualmente la causa con mayor área quemada; sin embargo, la diferencia de área quemada no es muy grande.

- En el matorral o rastrojo predominan las manos criminales como causantes de los incidentes con 44 de 84 casos registrados en ese tipo de cobertura, pero la mayor área quemada con cobertura matorral fue por causa desconocida.

- En la clasificación otros predominan la causa desconocida tanto en frecuencia de incidentes como en área total quemada.
- Para los pastos ocurre igual que en tipo de cobertura anterior, con el 45.51% de la frecuencia de incidentes y el 91.55% del área quemada asignados a causa desconocida.
- Al igual que en los dos tipos de cobertura anterior, ocurre que el tipo de cobertura fue pino 37 de los 54 casos fueron por causa desconocida con un área quemada de 511.068 m^2.
- En los incidentes donde la cobertura fue clasificada como rastrojo, se presentaron únicamente las causas desconocida y provocado, siendo ésta última la de mayor frecuencia y área quemada, representando el 83.33% de los incidentes con cobertura rastrojo y un área de 254.050 m^2 de los 284.050 m^2 quemados en este tipo de cobertura.
- En la cobertura de residuos vegetales predominó la causa desconocida con el 79.35% de los casos registrados en ella, siendo a su vez la causa con mayor área quemada.
- Por último, en los incidentes donde se encontró retamo espinoso como cobertura, también predominó la causa desconocida, tanto en frecuencia como en área quemada.

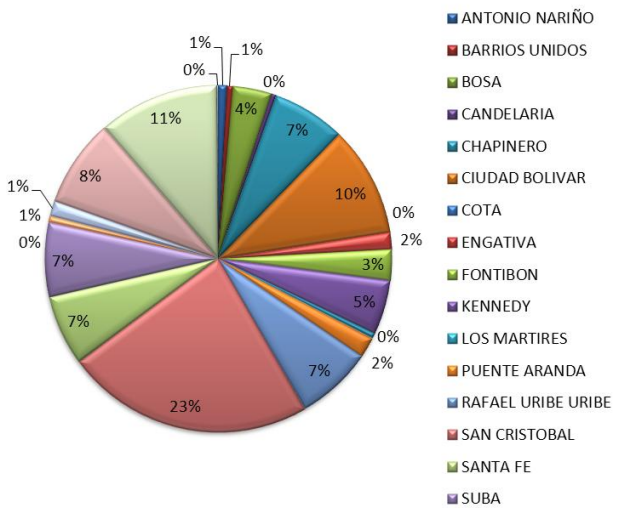
Aunque seis casos del total registrado no tienen la información de ubicación, se hace un análisis respecto a la distribución espacial de los incidentes, clasificándolos por la localidad, como se muestra en la Tabla 9 y en la gráfica 2. La mayoría de incidentes se presentaron en la localidad de San Cristóbal (23.21%), en segundo lugar se encuentra la localidad de Usme, con 519 casos de los 4.606 registrados; lo cual es natural, pues ambas localidades hacen parte de los cerros orientales de Bogotá.

Tabla 9 Frecuencia de los incidentes (1999-2008) por localidad.

Localidad	No. De incidentes	Localidad	No. De incidentes
ANTONIO NARIÑO	37	PUENTE ARANDA	89
BARRIOS UNIDOS	26	RAFAEL URIBE URIBE	329
BOSA	166	SAN CRISTOBAL	1069
CANDELARIA	21	SANTAFE	302
CHAPINERO	314	SUBA	318
CIUDAD BOLIVAR	474	SUMAPAZ	1
COTA	1	TEUSAQUILLO	27
ENGATIVA	73	TUNJUELITO	66
FONTIBON	132	USAQUEN	378
KENNEDY	234	USME	519
LOS MARTIRES	23	Sin información	6
Total		**4606**	

Fuente: Propia, basada en los datos de incidentes entregados por la CDPMIF.

Gráfico 2 Distribución porcentual de los incidentes por localidad.



Fuente: Elaboración propia, basada en datos entregados por CDPMIF.

Finalmente, sobre el tiempo total de la duración de los incidentes registrados, 31 de ellos sólo tenían el valor cero, siendo posible que sean registros vacíos y por tanto se les asignó el valor cero. Se tiene además que 652 de los 4.606 eventos duraron entre 6 horas y día, y que los restantes 3.923 incidentes duraron menos de dos horas, desde el comienzo del incidente hasta su extinción. Igualmente, el tiempo máximo registrado fue de 23 horas 59 minutos y un mínimo de 2 minutos, con un tiempo promedio aproximado de 1 hora y 12 minutos.

PERIODO 2009-2012

Para este periodo se cuenta con 2.294 incidentes forestales, se realizó el mismo análisis que en el periodo 1999-2008 obteniendo los resultados que se presentan a continuación.

En relación a la distribución temporal, el año 2012 (año atípico) presenta el menor número de incidentes y en el 2009 la mayor cantidad de incidentes, y en el mes de Enero existió el mayor número de incidentes, debido a la gran cantidad que se presentaron en el año 2010, como se ve en la Tabla 10. Además, para el año 2009 se observó la tendencia descrita en el período anterior entre los meses de Junio y Noviembre, un crecimiento de los incidentes hasta el mes de Septiembre y luego una caída hasta el mes de Noviembre.

Tabla 10. Tabla (mes y año) del número de incidentes forestales registrados entre los años 2009 y 2012

Mes	2009	2010	2011	2012	Total
Enero	46	233	24		303
Febrero	68	242	37		347
Marzo	62	234			296
Abril	37	19	9		65
Mayo	102	9	6		117
Junio	105	10	27		142
Julio	97	15			112
Agosto	162		2		164
Septiembre	352				352
Octubre	193		2	3	198
Noviembre	33				33
Diciembre	165				165
Total	**1.422**	**762**	**107**	**3**	**2.294**

Fuente: Propia, basada en los datos de incidentes entregados por la CDPMIF.

Siguiendo con la hipótesis de 60-70% de los incidentes generados por causas humanas, para este período a ninguno de los incidentes se les asignó la causa “manos criminales”, el 99.56% registraron causa desconocida.

Se tiene que para este período se registró un área total de 22.327.786.610 m^2, siendo este el periodo en el cual se quemó más área, es decir que el número de incendios fue mayor en este período o el área quemada en los mismos fue mayor, lo cual se verá más adelante.

Discriminando los eventos por la clasificación recibida, 1.755 de los 2.294 registrados fueron quemas, representando entonces las quemas el tipo de incidente que mayormente se presentó en este período. Sin embargo, respecto a lo deducido sobre el aumento en el número de incendios para el incremento en el área quemada del período, se puede ver claramente al comparar la tabla 6, con la tabla 12, que entre los años 2009 y 2012, la cantidad de este tipo de incidentes disminuyó a la mitad. Además se presentaron seis registros vacíos.

En cuanto al tipo de cobertura, se tienen 303 datos sin información, no obstante, al igual que en el período anterior el tipo de cobertura predominante es el pasto, observándose también que de todos los incidentes del periodo, el 56.32% fueron quemas de pastos, en particular, para cada clasificación se observa que:

- En 218 de los 480 casos clasificados como conato el tipo de cobertura fue bosque nativo.
- De los eventos registrados como incendios, el 83.01% fueron también bosque nativo.
- El 73.61% de los incidentes forestales clasificados como quema tenían a su vez como cobertura los pastos.

Finalmente, relacionado el tipo de cobertura y la clasificación por el área quemada, aunque fueron más frecuentes las quemas de pastos, la mayor área quemada fue de bosque nativo, representando el 97.78% del total de área quemada. Igualmente, se observa que los incendios fue la clasificación que más área afectó, con un total de 22.324.784.000 m^2 y en conclusión, el 97.78% del total de área quemada en los incidentes registrados en este periodo se dieron en incendios de bosque nativo; comparando con el periodo 1999-2008, se presenta un comportamiento igual tanto en frecuencia de los incidentes como en el área quemada, al igual que con el tipo de cobertura “retamo espinoso”, pues en este periodo esa clase de cobertura no estuvo presente en la mayoría de los incidentes sino tan sólo en un 0.13% de ellos.

Tabla 11 Total área (en metros cuadrados) quemada por tipo de cobertura y clasificación.

Tipo de cobertura	ACCIDENTAL	DESCONOCIDA	ORDEN	PROVOCADO	Total
BOSQUE NATIVO		297			297
CERCADOS DE PINOS Y ARBOLES		1			1
EUCALIPTO		2			2
MATORRAL O RASTROJO		6			6
OTROS	1	220			221
PASTOS	2	1.327		3	1.332
PINO		14			14
RESIDUO VEGETAL	1	110	1	1	113
RETAMO ESPINOSO	1	2			3
VEGETACIÓN NATIVA		2			2
Sin información		303			303
Total	**5**	**2.284**	**1**	**4**	**2.294**

Fuente: Propia, basada en los datos de incidentes entregados por la CDPMIF.

Continuando con el análisis de la variable causa, combinada con la clasificación, se observa que de todos los incidentes accidentales el 0,6% fueron quemas y el restante conato; 1.747 de 2.284 eventos de causa desconocida fueron quemas, representando la mayoría de los incidentes de causa desconocida. Para la causa provocada, donde el 100% fueron quemas, dado que todos los registros de esta causa se encuentran bajo esa clasificación.

En cuanto al área quemada por causa y tipo de cobertura, de los resultados anteriores se tiene que la mayor área quemada fue debida a incendios, en particular, a incendios de causa desconocida, como se puede ver en la Tabla 13.

Tabla 12 Frecuencia de los incidentes forestales entre 1999 y 2008 según causa y clasificación.

Causa	Conato	Incendio	Quema	Vacías	Total
ACCIDENTAL	2		3		5
DESCONOCIDA	478	53	1.747	6	2.284
ORDEN			1		1
PROVOCADO			4		4
Total	**480**	**53**	**1.755**	**6**	**2.294**

Fuente: Propia, basada en los datos de incidentes entregados por la CDPMIF.

Respecto a la combinación de la variable causa con el tipo de cobertura, se obtuvo como principal resultado que para todos los tipos de cobertura la causa predominante es la desconocida, véase la Tabla 12, y que la mayoría de esos incidentes fueron sobre pastos. Por otro lado, como ya se había mostrado, el bosque nativo es el tipo de cobertura con mayor área quemada, de los incidentes registrados el 100% tienen causa desconocida.

En relación a la localización de los incidentes, tomando como variable descriptiva la localidad, al igual que en el período 1999-2008. Como se ve en la tabla 14., la mayoría de incidentes se registraron en localidades que hacen parte de los cerros orientales de Bogotá, específicamente, en las localidades de San Cristóbal y Usme, con el 21.31% y el 13.42%, respectivamente, del total de incidentes forestales registrados en el periodo.

Tabla 13 Frecuencia de los incidentes forestales (2009-2012) por localidad.

Localidad	No. De incidentes	Localidad	No. De incidentes
ANTONIO NARIÑO	12	PUENTE ARANDA	31
BARRIOS UNIDOS	16	RAFAEL URIBE	153
BOSA	142	SAN CRISTOBAL	489
CANDELARIA	16	SANTA FE	94
CHAPINERO	92	SUBA	128
CIUDAD BOLIVAR	380	SUMAPAZ	2
ENGATIVA	46	TEUSAQUILLO	7
FONTIBON	56	TUNJUELITO	34
KENNEDY	147	USAQUEN	124
MARTIRES	9	USME	308
Sin información	8		
Total general		**2.294**	

Fuente: Propia, basada en los datos de incidentes entregados por la CDPMIF.

Por último, en el estudio del tiempo total de los incidentes, se observa que todos los incidentes forestales registrados en el periodo 2009 y 2012 han durado más de un día, desde su aparición hasta su extinción completa. De los 2.294 registros, 1.429 incidentes no presentaban información sobre el tiempo total de duración, además el periodo aquí estudiado presenta un comportamiento igual al periodo 1999-2008, registrando los incidentes en tiempos menores a dos horas y los de mayor duración entre 6 horas y un

día, específicamente, 614 de los incidentes forestales de este período duraron menos de dos horas y los restantes 251 eventos duraron entre 6 horas y un día. Con un máximo registrado en un solo caso de 23 horas y 59 minutos, la mínima duración registrada de 6 horas, y un tiempo total promedio aproximada de 1 hora y 59 minutos.

Calidad de datos

El primer factor a tener en cuenta sobre la calidad es la existencia de datos faltantes, para lo cual, en la Tabla 15., se presentan el número total de registros faltantes de cada una de las variables que conforman la base de datos.

Una primera observación muy importante sobre los datos faltantes es el cambio que estos pueden generar en las interpretaciones realizadas en la sección de análisis descriptivo, o de otra forma, las conclusiones sacadas del análisis descriptivo pueden resultar no ser reales o realmente representativas del tema de estudio, pues claramente se está perdiendo información.

Tabla 14 Número de datos faltantes según variables.

EVENTO	DIA REPORTE	HORA REPORTE	DIA ATENDIDO	HORA ATENDIDO	TIEMPO DE ATENCION
0	0	19	1.421	1.452	1.422

DIA EXTINCION	HORA EXTINCION	TIEMPO TOTAL	AREA QUEMADA	CLASIFICACIÓN	COBERTURA
2.326	1.452	1.429	8	0	303

ATENCIÓN	NOMBRE CERRO	VEREDA / BARRIO	LOCALIZACIÓN	LOCALIDAD	CAUSA
42	6.622	146	256	14	0

Fuente: Propia, basada en los datos de incidentes entregados por la CDPMIF.

Otro aspecto de la calidad de datos es el registro y/o presentación de los mismos, en el caso de la base aquí utilizada, se encontraron bastantes registros, que aunque pertenecían a la base de datos se encontraban mal registrados, ocasionando problemas en el uso de herramientas computacionales para el análisis, debido a que toma los valores como diferentes cuando en realidad son el mismo o pertenecen a la misma categoría. Debido a esto, se debe proceder a realizar una limpieza de los datos, sin embargo, esta también puede representar un problema, especialmente cuando se manejan gran cantidad de datos y no se cuenta con los registros originales o almacenados de forma óptima y de fácil acceso, pues no se puede discriminar entre las observaciones que realmente fueron mal ingresadas a la base de datos y las observaciones que pueden resultar ser atípicas en ella.

Dentro del problema de registro de los datos se encuentra el problema de no mantener la "escala" de medida, por ejemplo, en la base de datos se introdujeron algunos días como números y otros como caracteres, es decir, el nombre del día; al igual que se encontraron registros decimales con puntos y comas sobre una misma variable que conlleva al problema de definiciones inconsistentes y erróneas descrita en el párrafo anterior.

Resumiendo, el problema de calidad de los datos, entendido este como la no existencia de datos confiables, certeros y representativos, genera inconvenientes para realizar cualquier tipo de análisis estadístico; comenzado por la posibilidad de completar a cabalidad el objetivo de estudio, hasta la obtención de resultados generales, pues se impide la posibilidad de utilizar métodos de análisis y en particular métodos de análisis de carácter inferencial. En conclusión, si no hay calidad de datos no hay calidad en los resultados.

Otra de las falencias que se pudo establecer es la homogeneidad de los datos y formatos usados para dicho registro, se observaron 6 formatos diferentes para el registro de los incidentes ocurridos, también se evidenció que las personas que realizaban el registro no tenían clara la tipología que se debe usar en estos casos. Uno de los errores más comunes fue el como establecer los tipos de incidente, y con menor frecuencia, la no coherencia entre la información de la ubicación, un ejemplo de esto fue, en una dirección de barrio el Uval de la localidad de Usme, en la variable localidad se indicó que era en la localidad de San Cristóbal (esto se corregió en los datos de 1999-2008).

3.2.5 Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos se obtuvieron por parte de la Corporación Autónoma Regional (CAR), estos datos fueron de 11 estaciones meteorológicas que tienen información desde 1966-2013, en este estudio no se pretende analizar los datos meteorológicos, por eso solo se quiso mostrar cómo se debe preparar los datos para su uso, el cual posteriormente será tenido en cuenta para la puesta en marcha en la implementación del modelo establecido por esta investigación.

3.2.5.1 Preparación de los datos

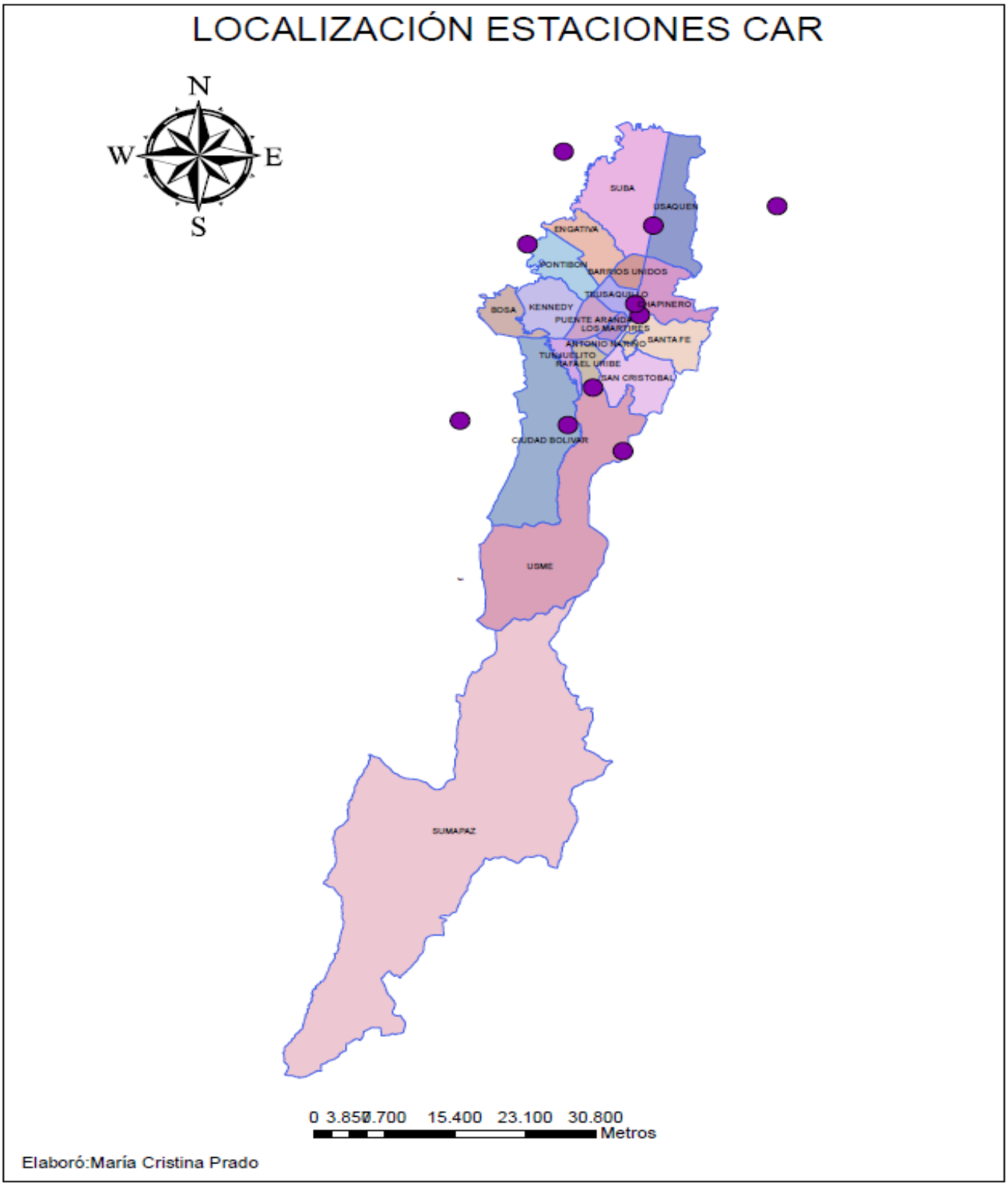
En la guía taller sobre modelación de escenarios del cambio climático (CAR, 2011), se muestran algunos criterios fundamentales que se pueden implementar en la preparación de los datos meteorológicos, a continuación se sugieren algunos, la idea de mostrarlos en este estudio es indicar la necesidad de que la calidad de los datos siempre debe ser la prioridad antes de implementar modelos o protocolos, ya establecidos o por establecer.

Tabla 15. Estaciones Meteorológicas

CÓDIGO	ESTADO	ESTACIÓN	CUENCA	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO
2120051	ACTIVA	SIBATÉ	MUÑA	CUNDINAMARCA	SIBATE
2120058	ACTIVA	ED. CAR	R.BOGOTÁ	BOGOTÁ	BOGOTÁ
2120077	ACTIVA	TORCA	R.BOGOTÁ	CUNDINAMARCA	GUATAVITA
2120085	ACTIVA	CISACA	R.BOGOTÁ	BOGOTÁ	BOGOTÁ
2120103	ACTIVA	S.TERESA	R.TEUSACÁ	CUNDINAMARCA	LA CALERA
2120112	ACTIVA	LA CASITA	R.TEUSACÁ	CUNDINAMARCA	LA CALERA
2120136	ACTIVA	ST. INÉS	R. CHICÚ	CUNDINAMARCA	TENJO
2120156	ACTIVA	PICOTA	R.TUNJUELITO	BOGOTÁ	BOGOTÁ
2120516	ACTIVA	GUAIMARA	BOGOTÁ	BOGOTÁ	BOGOTÁ
2120630	ACTIVA	DOÑA JUANA	RIO TUNJUELITO	BOGOTÁ	BOGOTÁ

Fuente: elaboración propia, con información suministrada por la CAR.

Ilustración 6. Localización de las estaciones CAR



Fuente: elaboración propia, con información suministrada por la CAR.

3.5.2.2 Identificación de errores gruesos

“La identificación de errores gruesos en las series de datos se puede efectuar mediante una inspección visual de las tablas de datos o el graficado de estos, a fin de visibilizar aquellos datos que se salgan notoriamente de un rango típico. Los datos “sospechosos” se corroboran con los archivos originales directamente y si realmente son errores, se descartan dejando el vacío correspondiente.

3.5.2.3 Generación de datos faltantes

Para la generación de datos faltantes existen diversos métodos dentro de los cuales se pueden mencionar algunos, como interpolación por promedios, método de las proporciones, interpolación espacial con el peso inverso a la distancia, entre otros. Por ejemplo se encuentra la interpolación por promedios que considera el promedio obtenido entre el dato anterior y el posterior al faltante en la misma serie de datos, esta solo sirve para un solo dato faltante.

- El método de las proporciones, es utilizado cuando no hay posibilidad de comparar los datos con registros de otras estaciones climatológicas cercanas, su fórmula es:

$$\frac{x^f}{X^f} = \frac{X^*}{X - X^f}$$

x^f=Dato faltante de un mes; X^f= promedio multianual para e mes faltante; X^*= acumulado anual en el año en que está el dato faltante; X= promedio multianual de los acumulados anuales.

- Uso de la serie de datos que presenta el mayor coeficiente de correlación, cuando se dispone una cantidad de estaciones climatológicas cercanas a las estación en la cual una serie de datos presenta datos faltantes, se hace un análisis de correlación en esta última y cada una de las estaciones para un período de las series en el que no haya datos faltantes (temperatura del aire o la precipitación) tanto en las cercanas como en la de interés, su ecuación es:

$$k = \frac{E}{Es}$$

K, E,Es= son promedios multianuales de las estaciones.

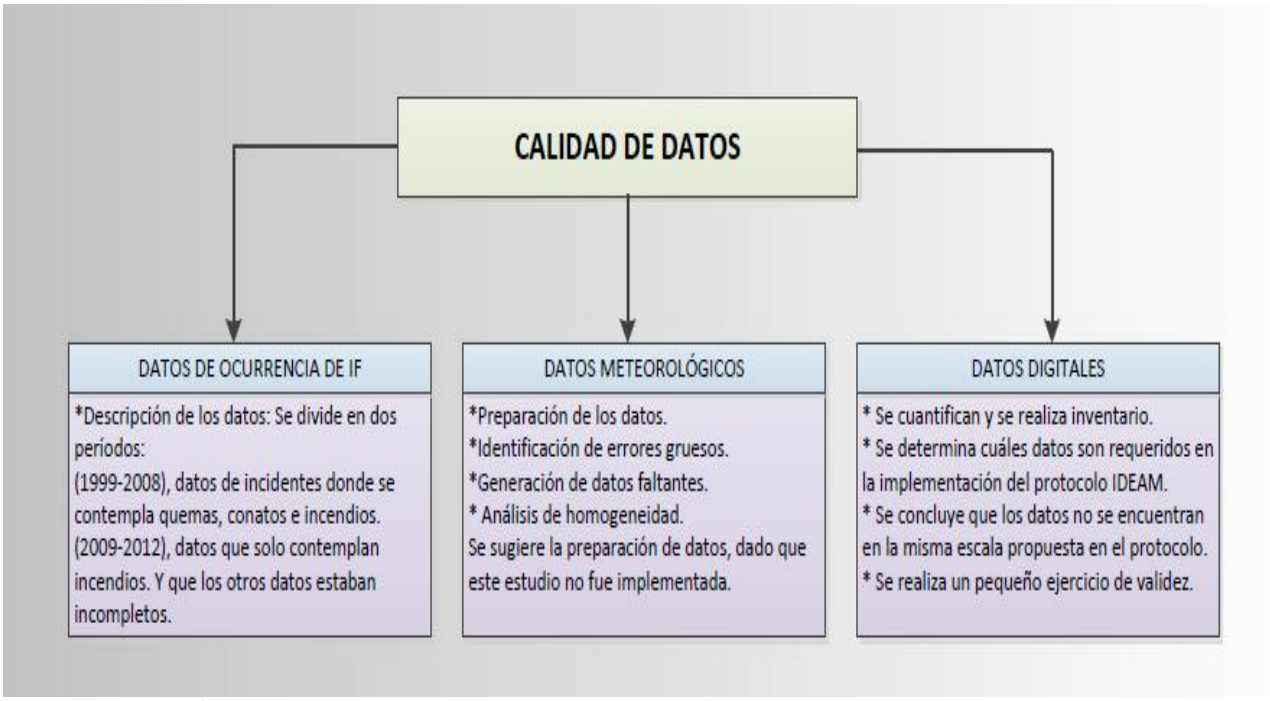
- La curva de doble masa, la cual se basa en la comparación de una serie de referencia o serie patrón con cada una de las series de datos de diferentes estaciones. Este método se utiliza generalmente para verificar la homogeneidad de las series.
- Otra puede ser la interpolación espacial, donde se utilizan los datos de las estaciones climatológicas cercanas y con la ayuda de interpolación espacial se genera el dato faltante. Hay varios métodos de interpolación, entre ellos está el de Peso Inverso a la Distancia (IDW), que consiste en relacionar los registros de una estación dada con los de una cercana y aplicarles un peso a los datos de la primera, el cual es mayor a menor distancia entre los dos puntos. También hay otros métodos de interpolación que se pueden utilizar como el de Kriging, Shepard, Spline, entre otros.

3.5.2.4 Análisis de homogeneidad

Para avanzar en el análisis de datos climatológicos con fines de la descripción del clima de una región, se requiere que las series de datos sean homogéneas, es decir, que los datos tomados en una estación sean homogéneos en el sentido de que hayan sido tomados en un mismo sitio, con los mismos estándares, métodos e instrumentos. Si la estación climatológica registró datos en un sitio durante un periodo y se trasladó a otro y se siguieron tomando datos, la serie histórica de esta estación no sería homogénea. Lo mismo ocurre si se cambiaron los instrumentos o los métodos de observación.

Para garantizar que las series de datos utilizados en un estudio climatológico sean homogéneas, se les debe aplicar pruebas de homogeneidad. Existen diversas pruebas que en su mayoría se basan en identificar tendencias o comparar las características estadísticas (media, mediana, moda o varianza) de diferentes segmentos de cada serie, si las diferencias sobrepasan el umbral permitido, se considera que la serie no es homogénea. Para definir la homogeneidad de las series se usan diferentes métodos, como la prueba de t-Student, doble masa, Alexanderson, entre otras” (CAR, 2011).

Ilustración 7 Metodología para determinar el control de calidad de los datos usados.



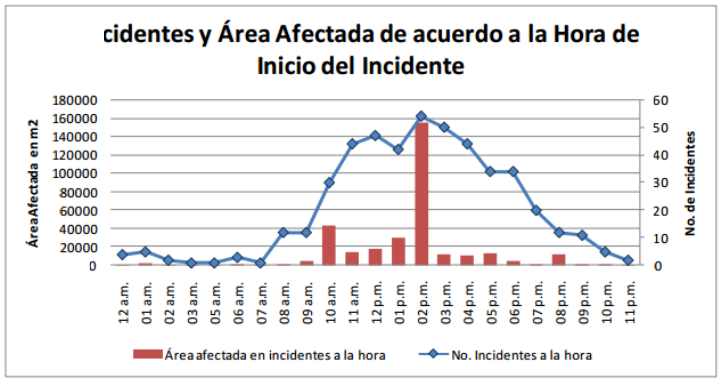
Fuente: Elaboración propia.

4. Análisis de los modelos planteados

En este capítulo se describen algunos modelos utilizados para predecir índices de incidencia de incendios forestales, se eligen dos de ellos para ser evaluados y así presentar cuál es el que tiene mayor acierto con los datos reales de los incidentes forestales registrados en la zona de estudio. Los dos modelos escogidos y evaluados fueron, el modelo Monte Alegre o Soares (FMA) y el modelo Monte Alegre alterada (FMA+), los cuales fueron seleccionados por tecnicos expertos en el tema de incendios forestales a nivel Distrital, con base en un estudio estadístico que indicó que hay un rango de horario en la zona de estudio donde se presentan mayor incidentes, como se ve en la ilustración 8., el rango de hora promedio para el año 2011, donde se presentó más incidentes de incendios forestales fue, de las 10 horas a las 14 horas.

En la ilustración 8., se puede ver la metodología usada para el análisis de los modelos plateados.

Ilustración 8. Hora de afectación de inicio de incendios



FUENTE: Análisis de riesgo de los incendios forestales atendidos en Bogotá D.C., durante 2011.

Antes de mostrar cómo se evaluaron los dos modelos (FMA y FMA+), se ilustra un estudio hecho por Dentoni & Muñoz (2010), quienes hicieron un detallado y claro estudio

para generar sistemas de riesgos forestales basados en índices de riesgo de incendios forestales, cada uno de los cuales es un indicador a la contribución de un determinado factor para ocurrencia, el comportamiento y los efectos de un incendio forestal. A continuación se presentan algunos de esos índices.

4.1.1 Índice de Nesterov

"El índice de ignición de Nesterov es el más frecuentemente utilizado de los diversos índices desarrollados en la Antigua Unión Soviética. El mismo, es utilizado como índice de ignición en el área de cobertura de una determinada estación meteorológica.

En su forma original, su ecuación básica es:

$$N = \sum(d.t) \qquad (1)$$

dónde:

N: índice de Nesterov

d: déficit de saturación del aire (mb) – (milibares)

t: temperatura del aire (°C)

Los cálculos se inician en la primavera, el primer día que la temperatura supera los 0°C y después que la nieve se ha derretido. Una precipitación mayor o igual a 3 mm reduce el valor del índice a cero y la sumatoria comienza nuevamente. Las clases de peligro se determinan de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 16 Índice de Nesterov

Clase de Peligro	Valor del Índice
Nulo (I)	≤ 300
Bajo (II)	301 - 500
Moderado (III)	501 - 1000
Alto (IV)	1000 - 4000
Extremo (V)	≥ 4000

El límite superior para la clase de peligro "nulo", se estableció para aquel valor del índice por debajo del cual no habían ocurrido incendios en 10 años. La clase de peligro

“moderado” se estableció para aquel valor del índice, tal que quedaran incluidos en la clase el 25% de los fuegos.

Gritsenko propuso en 1952 una modificación de este índice, consistente en utilizar para el cálculo el déficit de saturación, corregido por la precipitación ocurrida en los últimos cuatro días.

4.1.2 Índice de Tellysin

El índice de Tellysin también fue desarrollado en la Unión Soviética, su ecuación básica es la siguiente:

$$T = \sum \log(t - td) \qquad (2)$$

dnde: T: Índice de Tellysin

t: Temperatura (°C)

td: punto de rocío (°C)

Si hay una precipitación superior a 2.5 mm el índice se hace cero, y comienza una nueva sumatoria al día siguiente.

4.1.3 Índice de Montealegre o Soarez

El índice de Montealegre fue desarrollado para ecosistemas húmedos del sudeste de Brasil. Su ecuación básica es la siguiente:

$$FMA = 100 \sum \frac{1}{H} \qquad (3)$$

dónde:

FMA= Índice de Monte Alegre.

H= Humedad relativa a las 13 horas.

El FMA es un coeficiente acumulativo, que categoriza el peligro de incendios de vegetación, tal como se muestra en la tabla 17. Cuando se producen precipitaciones durante el periodo de observación, el FMA es corregido de acuerdo con la precipitación caída tal como se muestra en la tabla 18.

Tabla 17. Escala de peligro

VALOR	GRADO DE PELIGRO
1	Nulo
1.1 – 3	Bajo
3.1 – 8	Medio
8.1 – 20	Alto
+ 20	Muy Alto

Tabla 18 Descuento por lluvia (%)

MILIMÉTROS CAÍDOS	% DESCONTADO
-2.4	Ninguno
2.5 – 4.9	30
5 – 9.9	60
10 – 12.9	80
+ 13	Recomenzar el acumulativo

Este índice se aplica en la región sudeste de Brasil y en algunas provincias del norte y noreste de Argentina.

4.1.4 Formula de Montealegre alterada (FMA+)

Este índice tiene la siguiente expresión:

$$FMA^{+} = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{100}{H}\right) e^{0.04v}$$

Donde;

FMA+ = Formula Monte Alegre Alterada

H= Humedad relativa del aire en porcentaje, medida as 13:00 horas.

n= número de días sin lluvia mayor o igual a 13 mm.

v= Velocidad del viento en m/s, medida a las 13:00 horas.

e= Base de los logaritmos naturales (2,718282).

El FMA+ es un coeficiente acumulativo, que categoriza el peligro de incendios de vegetación, tal como se muestra en la tabla 19. Cuando se producen precipitaciones durante el periodo de observación, el FMA+ es corregido de acuerdo con la precipitación caída tal como se muestra en la tabla 20.

Tabla 19 Escala de peligro

VALOR	GRADO DE PELIGRO
1	Nulo
1.1 – 3	Bajo
3.1 – 8	Medio
8.1 – 20	Alto
+ 20	Muy Alto

Tabla 20 Descuento por lluvia (%)

MILIMÉTROS CAÍDOS	% DESCONTADO
-2.4	Ninguno
2.5 – 4.9	30
5 – 9.9	60
10 – 12.9	80
+ 13	Recomenzar el acumulativo

4.1.5 Índice de peligro desarrollado en Francia

El servicio Meteorológico Nacional francés desarrolló un índice para evaluar el peligro de incendios, el mismo se basa en la estimación de sequía acumulativa y en la velocidad del viento. La sequía se calcula mediante una versión modificada de la fórmula de cáculo de evapotranspiración de Thornthwaite.

La evapotranspiración real, se deduce por una función exponencial negativa dependiente del contenido de humedad del suelo. El contenido de humedad del suelo, se calcula sumando la precipitación y restando la evapotranspiración potencial, a un máximo de 150 mm de agua.

El análisis por discriminantes basado en el número de incendios diarios, dio como resultado la siguiente fórmula:

$$F = a + bR - cV - fV^2 + dN + eQ \qquad (4)$$

dónde: F: número positivo, alto cuando el riesgo de ocurrencia de fuego es chico y número negativo alto cuando el riesgo es grande.

R: humedad estimada sobre el suelo.

V: velocidad del viento.

N: número de días desde la última lluvia caída.

Q: cantidad de la última lluvia caída.

a,b,c,d y e: coeficientes empíricamente determinados.

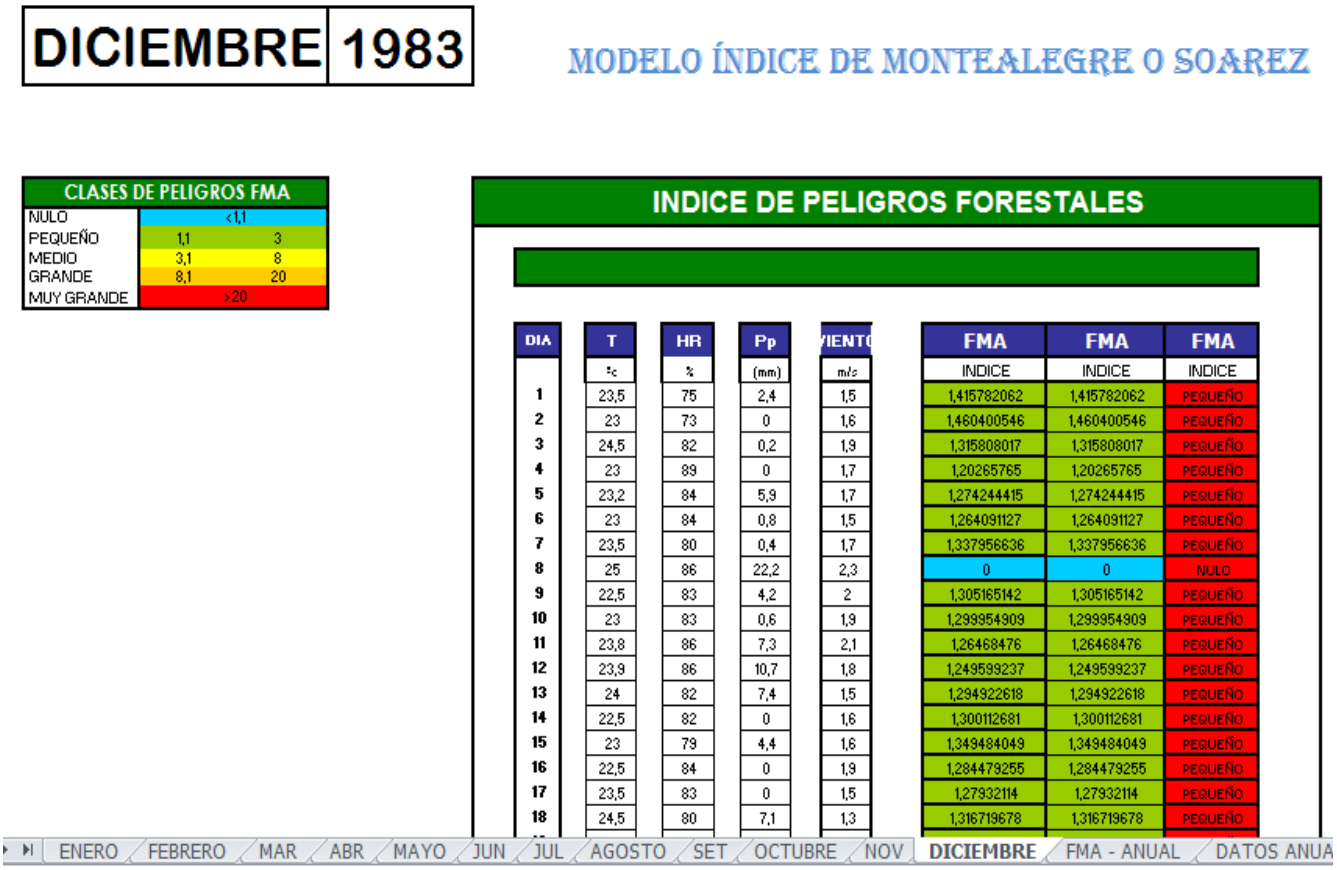
Dando que este índice conjuga humedad de combustibles mayores o iguales a las 100 horas, a través de la evaluación de sequía, con velocidad del viento, puede considerarse un índice de quema". (Dentoni y Muñoz, 2010).

4.2 Establecimiento del Índice de Montealegre

Teniendo claro de dónde se tomó el criterio de evaluación y el por qué se escogieron los dos modelos de Montealegre (FMA y FMA+) para realizar el análisis comparativo de los datos meteorológicos, se describirá como se realizó este proceso, lo primero que se realizó fue el diseño de dos formatos en excel, que automáticamente determinaron los índices de Montealegre (FMA y FMA+), registrando algunos datos meteorológicos, como: temperatura en grados centígrados (°C); humedad Relativa en porcentaje (%),

precipitación en milímetros (mm) y viento en metros por segundo (m/s), así como se muestra en la Ilustración 9.

Ilustración 9. Establecimiento del Índice de Montealegre FMA



DICIEMBRE 1983

MODELO ÍNDICE DE MONTEALEGRE O SOAREZ

CLASES DE PELIGROS FMA		
NULO	<1,1	
PEQUEÑO	1,1	3
MEDIO	3,1	8
GRANDE	8,1	20
MUY GRANDE	>20	

INDICE DE PELIGROS FORESTALES

DIA	T	HR	Pp	VIENTO	FMA	FMA	FMA
	°c	%	(mm)	m/s	INDICE	INDICE	INDICE
1	23,5	75	2,4	1,5	1,415782062	1,415782062	PEQUEÑO
2	23	73	0	1,6	1,460400546	1,460400546	PEQUEÑO
3	24,5	82	0,2	1,9	1,315808017	1,315808017	PEQUEÑO
4	23	89	0	1,7	1,20265765	1,20265765	PEQUEÑO
5	23,2	84	5,9	1,7	1,274244415	1,274244415	PEQUEÑO
6	23	84	0,8	1,5	1,264091127	1,264091127	PEQUEÑO
7	23,5	80	0,4	1,7	1,337956636	1,337956636	PEQUEÑO
8	25	86	22,2	2,3	0	0	NULO
9	22,5	83	4,2	2	1,305165142	1,305165142	PEQUEÑO
10	23	83	0,6	1,9	1,299954909	1,299954909	PEQUEÑO
11	23,8	86	7,3	2,1	1,26468476	1,26468476	PEQUEÑO
12	23,9	86	10,7	1,8	1,249599237	1,249599237	PEQUEÑO
13	24	82	7,4	1,5	1,294922618	1,294922618	PEQUEÑO
14	22,5	82	0	1,6	1,300112681	1,300112681	PEQUEÑO
15	23	79	4,4	1,6	1,349484049	1,349484049	PEQUEÑO
16	22,5	84	0	1,9	1,284479255	1,284479255	PEQUEÑO
17	23,5	83	0	1,5	1,27932114	1,27932114	PEQUEÑO
18	24,5	80	7,1	1,3	1,316719678	1,316719678	PEQUEÑO

ENERO FEBRERO MAR ABR MAYO JUN JUL AGOSTO SET OCTUBRE NOV DICIEMBRE FMA - ANUAL DATOS ANUA

Fuente: propia.

4.3 Análisis de los Índices Montealegre (FMA) y Montealegre alterada (FMA+)

Para la determinación de los índices de peligro de Montealegre, se diseñaron dos programa en excel, donde se generaban los resultados (índice de peligro) de la formula Montalegre (FMA) y de la formula Montealegre Alterada (FMA+), calculándolos automáticamente, tan solo con ingresar algunos datos diarios (a las 13 horas) de temperatura, humedad relativa, precipitación y velocidad del viento. El programa en excel, está organizado por meses (en cada hoja excel), cada mes tiene información de

los datos meteorológicos diarios, la información del índice de peligro (tabla de la clasificación de los índices), información del mes y año, y las gráficas del comportamiento de las variables climatológicas usadas.

La base de los datos climatológicos usados, para este estudio, fue entregada por la Corporación Autónoma Regional (CAR), de 11 estaciones aledañas a Bogotá, registrando los datos diarios de humedad (%), velocidad del viento (m/s) y la precipitación (mm) diaria a las 13 horas, se realizó la comparación de diferentes periodos, porque se vio necesario mostrar el comportamiento de los modelos de Montealegre (FMA & FMA+) en diferentes situaciones de viabilidad climática.

- Fenómeno del Niño muy fuerte (1982-1983)
- Fenómeno del Niño fuerte (1991-1992)
- Fenómeno del Niño moderado (1986-1987)
- Periodo comprendido (2003-2008), totalizado de 6 años.
- Año atípico (2012).

También fueron necesarios los datos de los incidentes entregados por la CDPMIF, los cuales fueron registrados, ajustados y analizados para este estudio, como se mostró en el capitulo anterior. Ya que se evaluó el comportamiento de los modelos en periodos de fenómeno Niño en Colombia, se tuvo que solicitar información adicional a la Defensa Civil Colombiana, dado que estos periodos no se encontraban en los datos ofrecidos por la CDPMIF.

Cuando se estableció el rango de los incidentes comprendidos por cada periodo, se tuvo que asignar una ponderación con respecto al número de área consumida (reportada) por el fuego a la vegetación, en la tabla 21., se muestra un ejemplo de cómo se asignó esta clasificación para el año 1991. Primero se estableció cual fue el valor mínimo de área reportado y cuál fue el máximo valor, al valor máximo se le resta el valor mínimo, y el resultado es dividido por 4, que son las clases de los índices utilizados (pequeño, medio, grande y muy grande) relevantes para incidentes; el nulo no se tuvo en cuenta dado que se le asignó el valor cero (para los días que no fueron reportados con incidentes). El resultado obtenido de esta división, es sumado para asignar de donde a dónde va el rango. En este ejemplo el resultado de la división fue 152.5, el cual fue sumado al menor

valor, dado 305 y así sucesivamente hasta obtener el último rango, el cual coincide con el valor máximo obtenido. Y ya con esta tabla se asignan los valores de clasificación diaria.

Tabla 21 Clasificación de índices de los incidentes ocurridos en el 1991

INCIDENTES 1991		
NULO	0	0
PEQUEÑO	152	305
MEDIO	306	457
GRANDE	458	609
MUY GRANDE	610	762

Fuente: propia, basada en los datos de incidentes entregados por CDPMIF.

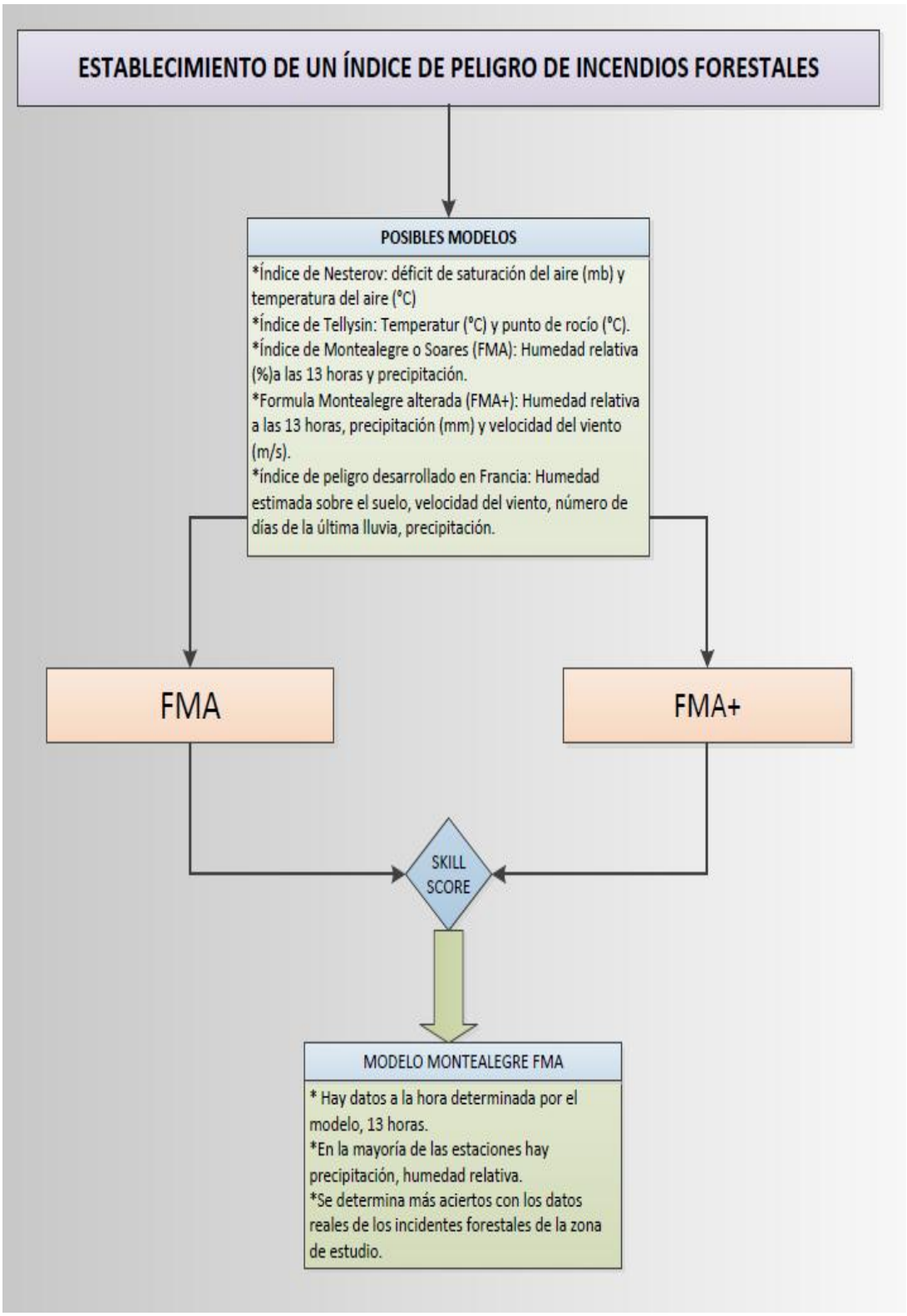
Para analizar el desempeño del índice de Montealegre (FMA) y Montealegre Alterada (FMA+), fue necesario utilizar el método probabilístico conocido como skill score(Soares et al., 2009; Franca et al,. 2010; Borgues et al., 2011), que se basa en tablas de contingencia que contienen los valores observados y los valores previstos para cada evento en una población o en determinado período de tiempo. Las tablas 22 y 23 muestran las fórmulas establecidas para los cálculos del valor del skill score.

Tabla 22. Tabla de contingencia.

EVENTO		OBSERVADO		TOTAL PREVISTO
		INCENDIO	NO INCENDIO	
PREVISTO	INCENDIO	a	b	N2= a + b
	NO INCENDIO	c	d	N4= c + d
TOTAL OBSERVADO		N1= a + c	N3= b + d	N= a + b + c + d

Fuente: Basada en las tablas utilizadas por (Soares et al., 2009; Franca et al,. 2010; Borgues et al., 2011).

Ilustración 10 Metodología para realizar el análisis de los modelos planteados



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Cálculo de la tabla de contingencia

EVENTO		OBSERVADO		TOTAL PREVISTO
		INCENDIO	NO INCENDIO	
PREVISTO	INCENDIO	a / (a + c)	b / (b + d)	-
	NO INCENDIO	c / (a + c)	d / (b + d)	-
TOTAL OBSERVADO		1	1	2

Fuente: Basada en las tablas utilizadas por (Soares et al., 2009; Franca et al,. 2010; Borgues et al., 2011).

Las variables necesarias para la realización de los cálculos son:

N= Número total de observaciones.

G= Número de aciertos en la predicción.

$G = a + d$

H= Número esperado de aciertos.

$$H = N\left(\frac{1}{p}\right)\left(\frac{1}{q}\right) + N.p.q$$

dónde; $p = \frac{N1}{N}$ $q = \frac{N2}{N}$

SS: skill score

$$SS = \frac{(G - H)}{(N - H)}$$

PS: Porcentaje de suceso.

$$PS = \frac{G}{N}$$

“El skill score (SS) es una razón de la diferencia de los aciertos con los incidentes previstos (G) es el número esperado de aciertos (H) y la diferencia entre el número de días observados (N) y el número de días previstos de aciertos. Para analizar el desempeño de la fórmula de Montealegre (FMA) y la fórmula Montealegre alterado (FMA+), fue definido el punto que indica la ocurrencia y la no ocurrencia de incendios. Fueron considerados como no indicativos de la de probabilidad de ocurrencia de incendios los grados de peligro nulo y pequeño, y como indicadores de la probabilidad de la ocurrencia de incendios los grados medio, alto y muy alto. A partir de esa definición,

fueron calculados los skill score y los porcentajes de suceso para los periodos considerados en la investigación" (Soares, 2009).

FÉNOMENO DEL NIÑO FUERTE (1982-1983)

A continuación en la tabla 24., se muestra los cálculos realizados con el método skill score, para el periodo comprendió 1982-1983, el cual se caracterizó por haber tenido fenómeno del Niño muy fuerte. Las tablas de los otros periodos establecidos para este estudio, se pueden observar en el (Anexo A).

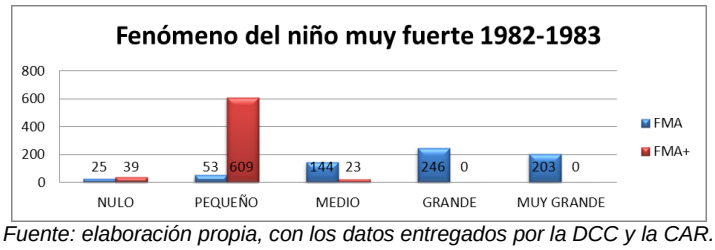
En la gráfica 3., se observa cómo se comportaron los incidentes, en cada uno de los modelos propuestos.

Tabla 24. Número de días previstos en valor absoluto y porcentaje de cada clase de peligro en las escalas FMA y FAM+ (fenómeno muy fuerte Niño 1982-1983).

CLASE DE PERIGO	DIAS PREVISTOS DO PERIODO			
	FMA		FMA+	
	N°	%	N°	%
NULO	25	3,73	39	5,81
PEQUEÑO	53	7,90	609	90,76
MEDIO	144	21,46	23	3,43
GRANDE	246	36,66	0	0,00
MUY GRANDE	203	30,25	0	0,00
TOTAL	671	100%	671	100%

Fuente: elaboración propia, con los datos entregados por la DCC y la CAR.

Gráfico 3. Días previstos del periodo



Fuente: elaboración propia, con los datos entregados por la DCC y la CAR.

Con base en las escalas de peligro de FMA y FMA+, fueron construidas la siguiente tabla (tabla 25), con los valores previstos y valores observados de incendios. Considerándose como no indicativo de la probabilidad de ocurrencia de incendios las clases de peligro nulo y pequeño, y como indicativo de la probabilidad de ocurrencia de incendios las clases medio, alto y muy alto.

Tabla 25. Incendios registrados en valores absolutos y porcentajes en cada clase de peligro de las escalas FMA y FAM+ (fenómeno muy fuerte Niño 1982-1983)

INDICE	CONDICIÓN	VALORES	
		OBSERVADOS	PREVISTOS
		No. DE DIAS	No. DE DÍAS
FMA	INCENDIO	606	593
	NO INCENDIO	58	78
FMA+	INCENDIO	606	23
	NO INCENDIO	58	648

Fuente: elaboración propia, con los datos entregados por la DCC y la CAR.

Se puedo observar en este periodo (Fenómeno del Niño muy fuerte), que el índice de Montealegre FMA obtuvo mayor número de días previstos, con 593 posibles incidentes a comparación con los observados en la zona, que fueron 606 incidentes. Y para el índice de Montealegre alterado FMA+ se obtuvo un valor de incidente previsto de 23 eventos. Mostrando como primer análisis comparativo que para este periodo, el modelo Montealegre FMA presenta mayor aciertos, con respecto al modelo Montealegre alterado FMA+. Para el análisis de contingencia de los datos en el mismo periodo, se observó que el modelo FMA, muestra mayor cantidad de eventos previstos, a comparación que el modelo FMA+, sobrepasando el valor de los incidentes observados en la zona, como se ve en la tabla 26.

Tabla 26. Tabla de contingencia para FMA y FAM+ (Fenómeno de Niño muy fuerte 1982-1983)

1982-1983 FMA

EVENTO		OBSERVADO		TOTAL PREVISTO
		INCENDIO	NO INCENDIO	
PREVISTO	INCENDIO	606	593	**1199**
	NO INCENDIO	58	78	**136**
TOTAL OBSERVADO		**664**	**671**	**2670**

1982-1983 FMA+

EVENTO		OBSERVADO		TOTAL PREVISTO
		INCENDIO	NO INCENDIO	
PREVISTO	INCENDIO	606	23	**629**
	NO INCENDIO	58	648	**706**
TOTAL OBSERVADO		**664**	**671**	**2670**

Fuente: elaboración propia, con los datos entregados por la DCC y la CAR.

Los porcentajes de suceso (Ilustración 11), tabla 28., para el FMA y FMA+, muestran que los valores obtenidos por el FMA presentan mejores resultados de los obtenidos por el FMA+, aunque no con tan alta diferencia como se pueden observar en estudios realizados en Brasil. El valor obtenido en el skill score para el modelo FMA es de 0.567,

con un porcentaje de suceso del 56%, y para el modelo FMA+ el valor obtenido en el skill score fue de 0.44 con un porcentaje de suceso del 45%.

Tabla 27. Cálculo de la tabla de contingencias para FMA y FMA+ (Fenómeno muy fuerte Niño 1982-1983)

1982-1983		FMA		
EVENTO		OBSERVADO		TOTAL PREVISTO
		INCENDIO	NO INCENDIO	
PREVISTO	INCENDIO	0,912650602	0,883755589	**1,796406191**
	NO INCENDIO	0,087349398	0,116244411	**0,203593809**
TOTAL OBSERVADO		1	1	2

1982-1983		FMA+		
EVENTO		OBSERVADO		TOTAL PREVISTO
		INCENDIO	NO INCENDIO	
PREVISTO	INCENDIO	0,912650602	0,034277198	**0,946927801**
	NO INCENDIO	0,087349398	0,965722802	**1,053072199**
TOTAL OBSERVADO		1	1	2

Fuente: elaboración propia, con los datos entregados por la DCC y la CAR.

La tabla 27 presenta los valores obtenidos por el skill score, esta tabla fue ajustada para todos los periodos, debido a que el skill score era negativo, por consiguiente se realizó una multiplicación por -1 para volverlo un número positivo, y se encuentre en el rango, para el análisis probabilístico.

Tabla 28. Valores de skill score y porcentaje de suceso de FMA y FMA+ (Fenómeno muy fuerte Niño 1982-1983).

INDICE	SKILL SCORE	PORCENTAJE DE SUCESO
FMA	0,567923481	56,0855747
FMA+	0,444678215	43,9144253

Fuente: elaboración propia, con los datos entregados por la DCC y la CAR.

FENÓMENO DEL NIÑO FUERTE (1991-1992)

Para el periodo comprendido de 1991-1992 (fenómeno del Niño fuerte), se observó que el número de datos previstos de incidentes con el modelo Montealegre FMA fue de 646, sobrepasando al número de incidentes observados (399 incidentes) en un 61.9%. Lo contrario se observó con el modelo Montealegre modificado FMA+ donde muestra un número de 73 posibles incidentes, con una diferencia del 81.7%, siendo mayor la del número de incidentes ocurridos en la zona, esto para un fenómeno del Niño fuerte. Cuando se realiza el skill score, los datos obtenidos no muestran mayor diferencia, por lo

contrario, se observa que la relación entre los dos modelos casi es similar. Para el modelo Montealegre FMA su valor de skill score es de 0.76 con un porcentaje de sucedo del 51,5% y para el modelo Montealegre alterado FMA+ el valor de skill score es de 0.71 con un porcentaje de suceso del 48,49%. Con base a estos resultados se puede indicar que para la zona de estudio, se podría implementar ambos modelos.

FENÓMENO DEL NIÑO MODERADO (1986-1987)

Para el periodo comprendido de 1986-1987 (fenómeno del Niño moderado), se observó que el número de datos previstos con el modelo Montealegre FMA fue de 556 incendios, acercándose al número de incidentes observados (595 incidentes) en un 98.89%, lo contrario se obtuvo con el modelo Montealegre modificado FMA+, que fue de 0, indicando que para el periodo denominado como uno de los que presentó un fenómeno del Niño moderado, no se presentaría ningún incendio forestal. Cuando se realiza el skill score, los datos obtenidos no muestran ninguna diferencia, lo contrario, se observa que la relación entre los dos modelos casi es similar. Para el modelo Montealegre FMA su valor de skill score es de 0.63 con un porcentaje de sucedo del 55.2% y para el modelo Montealegre modificado FMA+ el valor de skill score es de 0.51 con un porcentaje de suceso del 44,7%. Indicando que el modelo de Montealegre FMA fue el que mejor se ajustó a los datos previstos de incendios.

PERIODO 2003-2008

Este periodo se estudia para garantizar la continuidad de los datos analizados anteriormente, se tomaron 6 años de los cuales se tiene información válida de la CDPMIF. Se realizó la clasificación del índice de peligros como se observó en la tabla 28, la cual se basa en el área quemada en la cobertura vegetal. Al observar la tabla de contingencia tabla 9. (Anexo A), se puede determinar que el número de incidentes previsto sobrepasa en un 62.4% al número de incidentes observados, en el modelo de Montealegre FMA. Y para el modelo de Montealegre FMA+ se obtiene lo contrario, los posibles datos previstos son menores que los observados en un 14.47%.

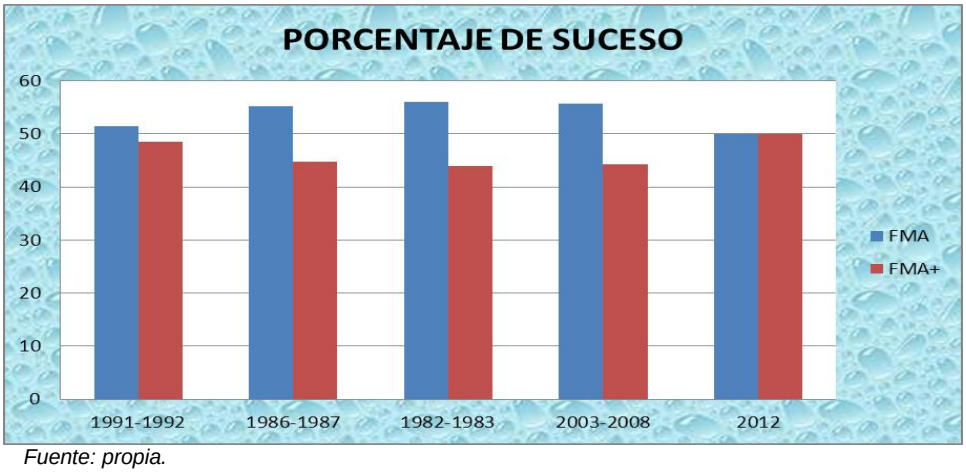
Según los resultados del skill score la diferencia de los dos modelos no es significativa, obteniendo un índice de 0,61 con un porcentaje de suceso del 55.7%, para el modelo Montealegre FMA, y para el modelo Montealegre Alterado se obtuvo un índice de 0,48

con un porcentaje de suceso del 44.3%. Según el skill score los dos modelos son recomendables para esta zona.

PERIODO ATÍPICO 2012

Este periodo se incluyó, porque era el año en el cual inicialmente se realizaría el estudio, pero se observó, que fue uno de los periodos donde se presentó menor cantidad de datos de incidentes, por esto se vio la necesidad de hacer el análisis de los demás periodos descritos y analizados anteriormente. Para este periodo se observó, que el número (9) de incidentes previstos Tabla 8., del Anexo, el modelo de Montealegre FMA es mayor al número de incidentes ocurridos (7). Y que para el modelo de Montealegre FMA+ el número de incidentes previstos es cero (0). Se obervó un skill score de 1,69 para ambos casos (modelo Montealegre FMA y modelo Montealegre FMA+), y los porcentajes de suceso, también fueron cercanos para ambos, para el FMA se observó un porcentaje de 50,1% y para el FMA+ se observó un porcentaje de 49,9%. Como esté fue el primer análisis realizado, se pudo comprobar que realizar éste solo análisis no ofrecía las bases suficientes para indicar qué modelo de índice de peligro era el adecuado para la zona de estudio.

Ilustración 11 Porcentaje de suceso de FMA y FMA+



Fuente: propia.

Finalmente con los resultados obtenidos y analizados, se entregó un informe a la CDPMIF indicando que ambos modelos pueden ser usados para la generación de índices de incendios forestales en los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá, por los resultados obtenidos por el skill score. Ya por decisión de la CDPMIF y consenso de los expertos, se decide que el modelo usado debe ser el modelo de Montealegre FMA, el

cual presentó mejores resultados, aunque no tan relevantes en el skill score, a comparación del otro modelo comparado.

En un análisis estadístico clásico, se alcanza a evidenciar diferencias entre ambos modelos, las cuales no se tomaron en cuanta, ya que este estudio se basa en las tablas de skill score.

Una conclusión fundamental tomada por los técnicos de la CDPMIF, fue que el modelo de Montealegre FMA sería de mejor utilidad, dado que los Cerros Orientales por tener microclimas, no garantizan la homogeneidad en la velocidad del viento; lo que sería un problema cuando las estaciones de la EAAB entren en funcionamiento, por esta causa no fue recomendable trabajar con el modelo de Montealegre Alterado FMA+.

5. Evaluación del modelo propuesto

Esta investigación se realizó con el fin de implementar, aplicar o ajustar un modelo que determine posibles zonas de riesgo por incendios forestales en los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá. Durante la investigación se conoció el protocolo (IDEAM, 2011), propuesto por el IDEAM para realizar mapas de zonificación de riesgos a incidentes de la cobertura vegetal, que fue sacado al público en el 2013 con la idea de fortalecer la prevención de incendios forestales, generando mapas de zonas de riesgo, para la presentación de informes de gestión. Lo primero que se realizó fue un reconocimiento del protocolo IDEAM, para poder conocer las limitaciones que se presentarían en la implementación del protocolo a la zona de estudio. Luego de establecer la limitación del protocolo para generar alertas tempranas, se introduce al protocolo una variable que contuviera el índice de peligro (modelo de Montealegre FMA), establecido en el capítulo anterior, el cual sirve como alternativa para que los mapas generados puedan ser en tiempo real (dinámicos), expresándolo de otra manera, que se generen mapas de alertas tempranas diarios, para la zona de los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá.

5.1 Reconocimiento del protocolo IDEAM

El procedimiento que se hizo para el reconocimiento del protocolo IDEAM, se realizó con un equipo técnico de la Corporación Autónoma Regional con el software de información geográfica (Arcgis versión 10). Esto se realizó con un paso a paso desarrollando lo establecido en el protocolo para la ejecución de mapas.

A continuación se presenta los suministros utilizados y algunas de las tablas para asignar las calificaciones del nivel de combustible, temperatura, entre otras. El alcance de este trabajo está, solo en la implementación del modelo Montealegre a la fórmula de la variable de amenaza contenida en la fórmula de riesgo del protocolo IDEAM, por consiguiente no se hace la implementación de todo el protocolo. También se realizan algunos mapas de amenaza, con la información que ya se tenía completa y que ya

estaba lista para su ejecución, como se dijo anteriormente, todavía hay información que no se maneja adecuadamente y por consiguiente no es conveniente su uso, por el momento, hasta que no se mejore la información.

Este estudio es la incursión de una serie de investigaciones que ya se adelantan para que el establecimiento del protocolo, y que pueda cumplir con las necesidades que se presentan en la zona forestal de Bogotá.

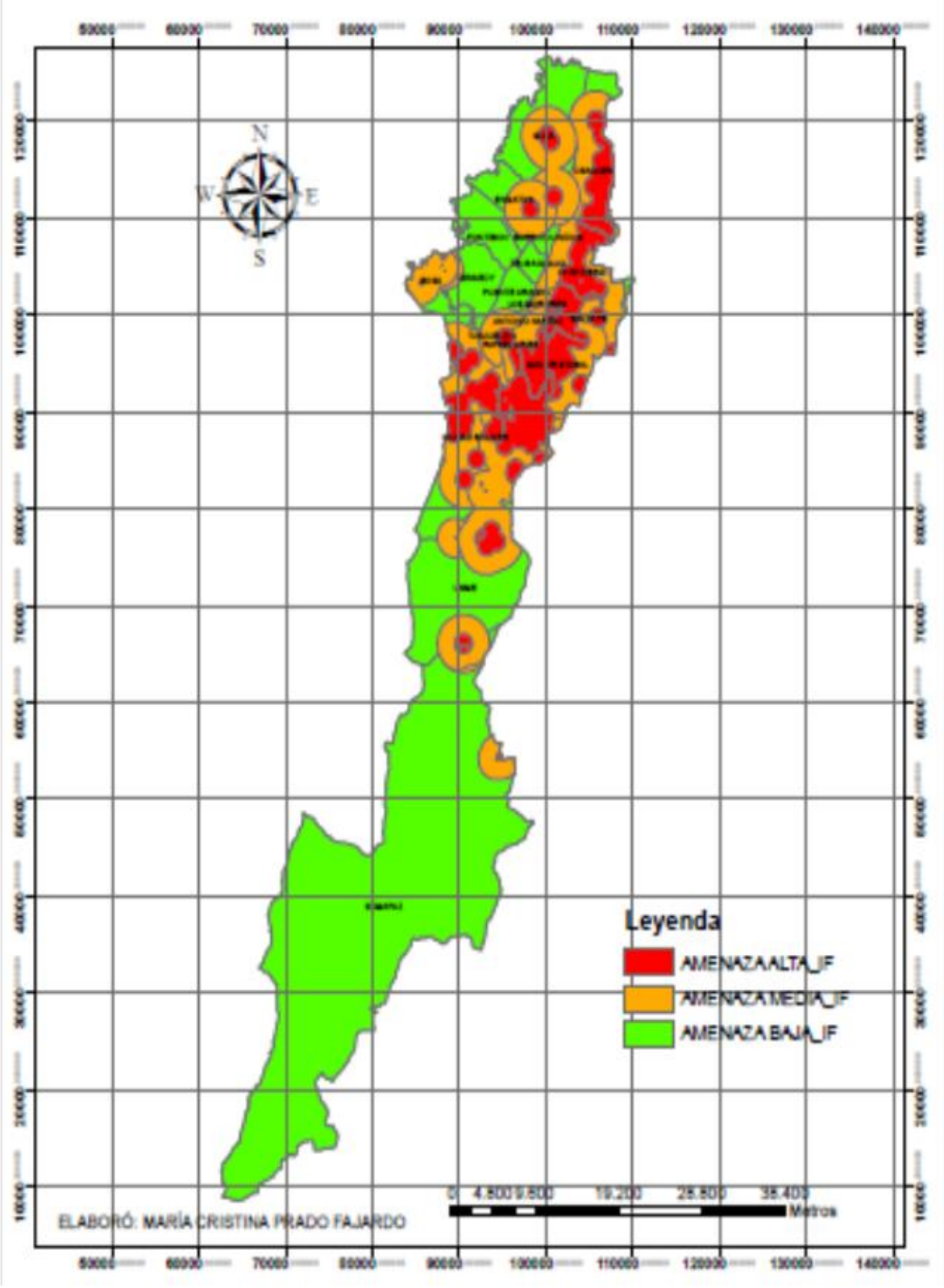
5.1.1 Información requerida para la implementación del protocolo

Para empezar a implementar el protocolo establecido por el IDEAM es indispensable contar con información básica, esta información es:

- Shape de la base que contenga límites político administrativos, centros poblados, hidrografía, curvas de nivel y vías.
- Shape de densidad de la población (rural y urbana).
- Shape del uso actual del suelo.
- Shape de área de protección.
- Shape de áreas de manejo especial.
- Shape de localización y áreas de influencia de organismos de socorro.
- Shape de cobertura vegetal.
- Shape de precipitación media anual (isoyetas).
- Shape de temperatura media anual (isotermas).
- Shape de los históricos de incidentes de incendios forestales en la zona.

Se realizó tres mapas donde se pudo observar que los datos con los que cuenta actualmente la CDPMIF, no se encuentran en la escala sugerida por el IDEAM, aunque esto se soluciona con la asistencia técnica de profesionales en sistemas de información, que pueden pasan la información que se tiene georreferenciada, de una escala a otra, destacando, que con este proceso se puede alterar la calidad de la información (resolución). El protocolo IDEAM pide información de escala 1:100.000. En este trabajo no se realiza este proceso de ajuste en las escalas, dado que no es el objetivo de estudio.

Ilustración 12 Mapa de amenaza por incendios reportados (histórico)



Fuente: Elaboración propia, con base a la información suministrada por la CDPMIF.

Se puede observar los tres mapas realizados en el Anexo B, los cuales son, el mapa de amenaza por susceptibilidad de la vegetación y el mapa de amenaza por vías (accesibilidad). En la ilustración 12., se puede observar el mapa de vulnerabilidad por la ocurrencia de incendios (histórico de los incidentes), estos mapas se realizaron, porque en el proceso de la investigación se tuvo que ajustar algunos datos, como se vio anteriormente.

Según el protocolo IDEAM "el mapa de amenaza de la susceptibilidad de la cobertura vegetal a los incendios, se debe realizar a partir de la información obtenida del análisis de condición pirogénica de la vegetación Colombiana" (Páramo, 2007), basada en el modelo de combustibles desarrollado por Páramo (citado por CONIF-IDEAM, 2009,p. 45), aunque Paramo no tiene una clasificación especifica de la cobertura vegetal de los Cerros Orientales de Bogotá, este estudio reunió información de las áreas forestales del Distrito, del artículo 91 del decreto distrital 190 del 2004; y del decreto nacional 2372 de 2010; donde se tiene una clasificación de sistema de áreas protegidas (SAP) por localidad. Y posteriormente se realizó el mapa de susceptibilidad para los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá (Anexo B).

Luego se le da una reclasificación a la clase de coberturas y con el siguiente cuadro (ilustración 13), que según el protocolo IDEAM se debe tener en cuenta para la calificación de las áreas con vegetación especial. Posteriormente se realiza el mapa de tipo de combustible, con la calificación designada para cada tipo de cobertura vegetal (Anexo B).

Ilustración 13 Tipo de cobertura

TIPO DE COBERTURA (CORINE LAND COVER NIVEL 3)	TIPO DE COMBUSTIBLE PREDOMINANTE
3.3.2. Afloramientos rocosos	No combustibles
3.1.1. Bosque denso	Árbustos
3.1.3. Bosque fragmentado	Árboles
3.1.4. Bosque de galeria y ripario	Árboles
3.1.1. Bosque denso	Árboles
3.1.3. Bosque fragmentado	Árboles
3.2.2. Arbustal	Arbustos
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustibles
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Pastos/hierbas
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	Pastos/hierbas
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	Pastos/hierbas
2.4.1. Mosaico de cultivos	Hierbas
2.3.3. Pastos enmalezados	Pastos
2.3.1. Pastos limpios	Pastos
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	Pastos/hierbas
3.2.1. Herbazal	Hierbas
3.3.5. Zonas glaciares y nivales	No combustibles

Fuente: Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios forestales. IDEAM, 2011.

"A partir del mapa de cobertura vegetal se realiza otra reclasificación, la de **corine land cover**, dándole un valor de carga total de biomasa (expresada en tonelada por hectárea) generando una reclasificación asignándole una carga de combustible a cada contenido de biomasa. Para la generación del mapa de susceptibilidad de la vegetación a incendios, se procede a hacer un producto de la calificación por el tipo de combustible, calificación de la duración del combustible y la calificación de la carga total de combustible, con la siguiente fórmula:

$$SUSC = CAL(tc) + CAL/dc) + CAL(ct)$$

dónde:

SUSC: Susceptibilidad de la vegetación (susceptibilidad bruta).

CAL(tc): Calificación por tipo de combustible.

CAL(dc): Calificación de la duración de los combustibles.

CAL(ct): Calificación de la carga total de combustible" (IDEAM, 2011).

Definición de Biomasa: Según Caldeira, 2003; (citado por Silva, 2009) el término biomasa representa la materia orgánica almacenada en un determinado ecosistema, puede ser cuantificada por un valor numérico de los componentes presentes, además de ser fundamental en los estudios de clasificación de nutrientes, conservación de energía, absorción y almacenamiento de energía solar, también facilita el dar conclusiones para una exploración racional de los ecosistemas.

Posteriormente se deben incorporar los datos climáticos como factores de importancia en la amenaza, para esto se debe efectuar un procedimiento similar al de la calificación de la susceptibilidad y generar mapas de las variables climáticas a partir de la información de la precipitación y la temperatura, primero se debe realizar un mapa con las isotermas e isoyetas y reclasificar estas temperaturas.

Para el mapa de curvas de nivel, se debe generar el modelo digital del terreno y a partir de éste se genera el mapa de pendientes en porcentaje. Luego a éste mapa se le reclasifican las pendientes con los datos, y se les da el valor de calificación a cada pendiente en porcentaje.

Acabado éste mapa de pendientes, se empieza a analizar los datos históricos medio anuales, esto se realizó por localidades. Para poder introducir un valor promedio anual por localidad. Esto se efectuó con el análisis de frecuencia-causalidad, ejecutando la siguiente ecuación.

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

$$Ci = \frac{1}{a}\sum_{1}^{a} \frac{\sum_{1}^{a} Cnic}{ni}$$

dónde:

Fi: Frecuencia de incendios.

a: Número de años.

ni: Número de incendios de cada año.

Ci: índice de causalidad.

nic: Número de incendios por cada causa por cada año. (IDEAM, 2011)

Ya cuando se tiene el resultado de las ecuaciones, se califica y se categoriza como se realizó para generar el mapa de susceptibilidad total.

Ahora se ejecuta el análisis y evaluación de la accesibilidad, el cual se debe realizar a partir del mapa de vías, generando buffer (área de influencia) de 4 zonas, cada una de 500 metros de ancho; después de generar los buffer se reclasifica con las categorías de la Ilustración 14.

Ilustración 14 Calificación de amenaza de vías

DISTANCIA A LA VÍA (GROSOR DEL BUFFER en m)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
0 – 500	MUY ALTA	5
500 – 1000	ALTA	4
1000 – 1500	MODERADA	3
1500 – 2000	BAJA	2
Más de 2000	MUY BAJA	1

Fuente: Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal-Escala 1:100.000 (IDEAM, 2013).

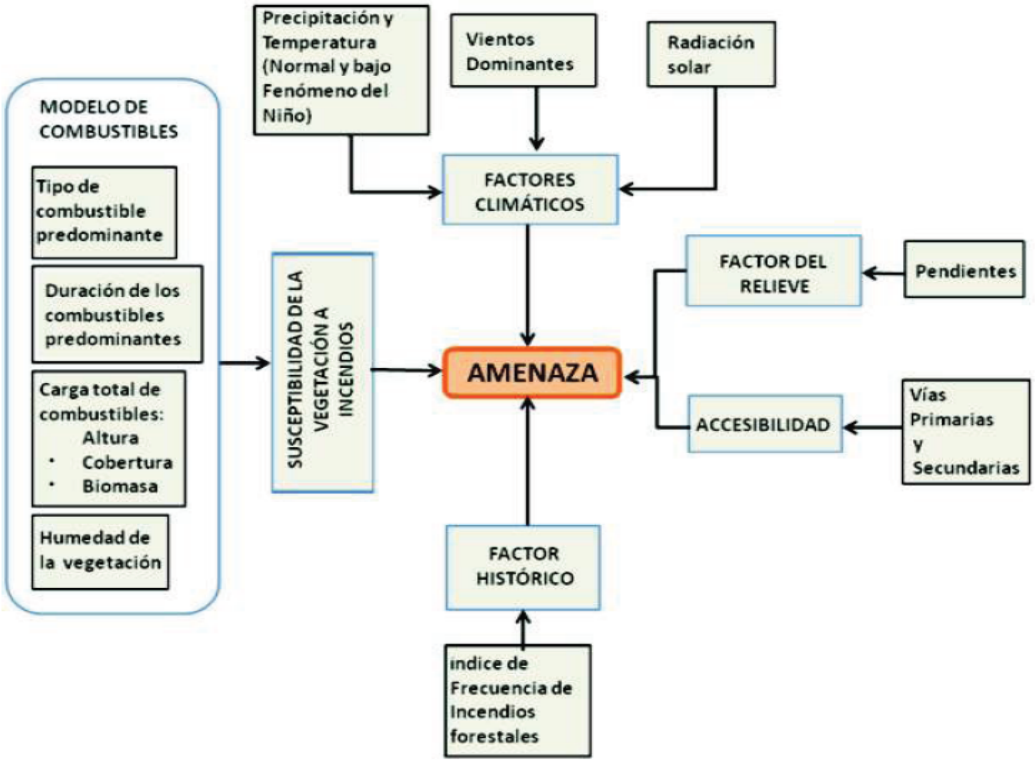
Finalmente para generar el mapa total de amenaza se suma cada uno de los mapas obtenidos anteriormente, multiplicando cada uno de ellos con un porcentaje designado de peso, el cual fue obteno de la evaluación estadística de datos brindada por pares de

expertos en el tema de incendios forestales, y con una regresión, se obtiene la siguiente formula, formula tomada de (CONIF-IDEAM, 2009)

$$\boldsymbol{AMENAZA = susceptibilidad\ de\ la\ vegetación(0{,}17) + precipitación(0{,}25) + temperatura(0{,}25) + pendiente(0{,}08) + frecuencia(0{,}25) + accesibilidad(0{,}08)}$$

En la ilustración 15., se puede observar la interrelación entre los factores de amenaza de incendios forestales, entre los que se tiene los climáticos, de relieve, de accesibilidad, los históricos y de susceptibilidad de la vegetación a incendios.

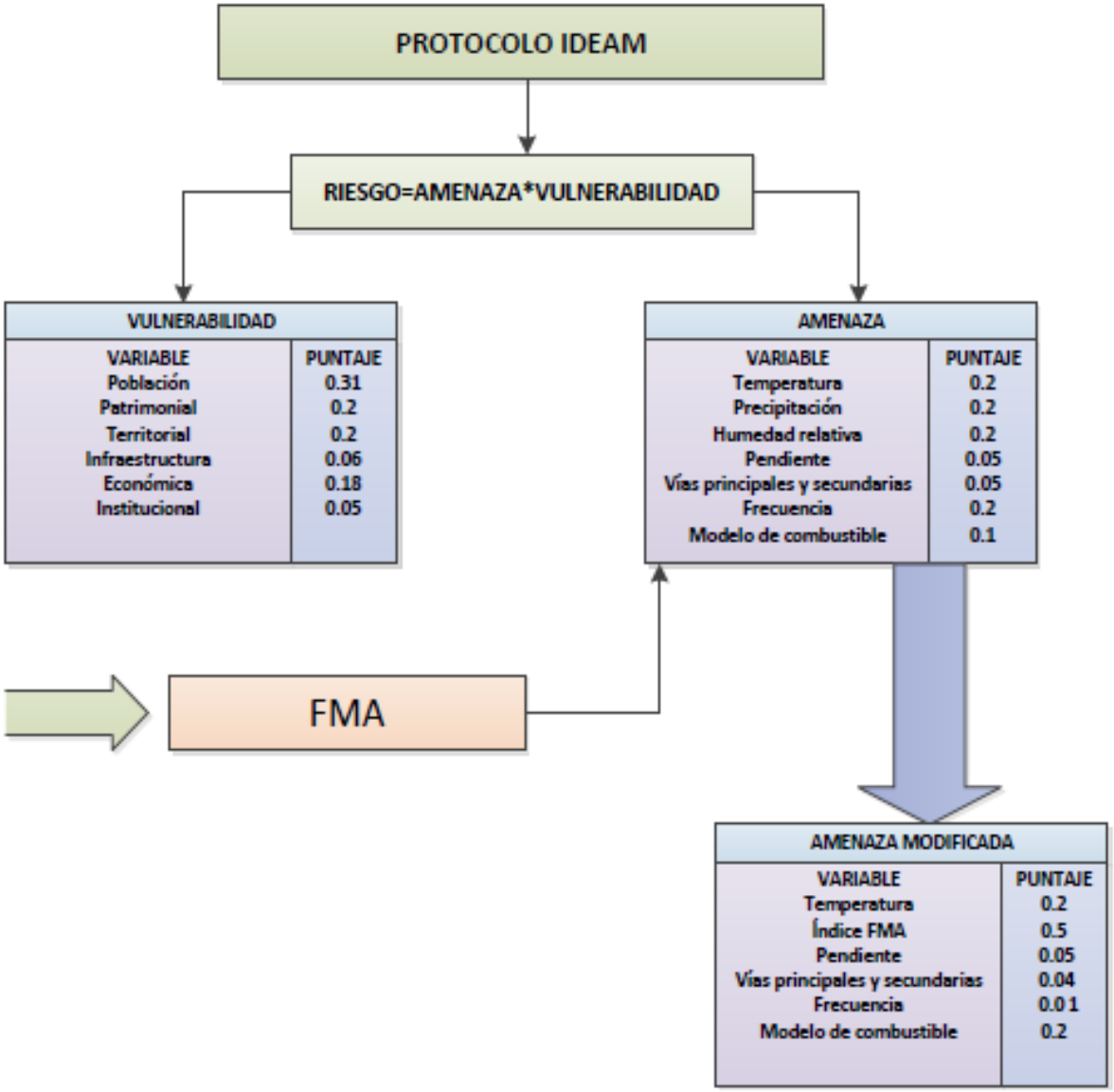
Ilustración 15. Interrelación entre los factores de amenaza de incendios de la cobertura vegetal



Fuente: Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal-Escala 1:100.000 (IDEAM, 2013)

Siguiendo con el protocolo IDEAM, para el manejo de los datos del clima, se pudo establecer que es indispensable realizar un análisis de datos como se muestra en el numeral 3.2.6 del capítulo 3, ya que se observó que se están generado mapas solo con los datos de la media anual (X) de los datos climático, sin hacer correcciones por datos faltantes, lo que genera una diferencia significativa de lo real.

Ilustración 16 Metodología propuesta basada en el protocolo IDEAM (amenaza).



Fuente: Elaboración propia.

5.2 Introducción de la variable (índice de Montealegre FMA) al protocolo IDEAM

Para introducir los resultados diarios del modelo establecido (Montealegre FMA) que determinan el índice de peligro de incendios forestales al protocolo IDEAM, lo primero que se estableció fue darle una nueva ponderación a las variables de amenaza. En la Ilustración 16., se puede observar el diagrama de flujo propuesto para dar la ponderación al índice de peligro, que se introdujo en la variable de vulnerabilidad.

En la metodología para la determinación de prioridades de protección frente a incendios forestales a partir de mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, propuesta por Ministerio de Ambiente (1999), se puedo observar la primera ponderación de los pesos específicos que se tenían en cuenta, utilizando tres variables del componente de prioridad para la protección, cada componente tiene un peso específico del 33%, como se pude ver en la tabla 29, que se muestra a continuación.

El protocolo IDEAM realizó la ponderación, eliminando el daño potencial (tabla 30), y analizando solamente amenaza y vulnerabilidad, esta ponderación fue estimada de acuerdo a los resultados de una encuesta realizada por Páramo (IDEAM, 2011), a técnicos expertos en incendios forestales, en la zona donde se realizó el estudio.

Tabla 29 Matriz de calificación de las variables del sistema

MATRIZ DE CALIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DEL SISTEMAS			
FACTORES	**PONDERACIÓN(%)**	**VARIABLE**	**PUNTAJE NORMALIZADO**
AMENAZA	**33%**	Ocurrencia histórica	13.2
		Densidad de población	5.4
		Densidad de caminos	6.7
		Área de cultivos	7.7
VULNERABILIDAD	**33%**	Daño histórico	13.2
		Topográfica	4.1
		Resistencia al control	0.6
		Potencial de propagación	3.2
		Resursos de control	2.4
		Clima	4
		Accesibilidad terrestre	5.5
DAÑO POTENCIAL	**33%**	Valor económico	5.6
		Valor sociaecológico	10.9
		Valor estratégico nacional	16.5

Fuente: basada en la ponderación realizada Ministerio de Medio Ambiente, 1999.

Para esta investigación se plantea otra ponderación, en base a estas dos anteriores, y adicionándole con los resultados de una encuesta realizada a los técnicos de la CDPMIF. En la matriz de ponderación tabla 30. Primero se observó cuales eran las variables con las que se evaluó el protocolo IDEAM, pero como se quería introducir la variable del modelo de Montealegre FMA, entonces se tomó las variables meteorológicas y se determinó cuales son la que se usan el modelo de Montealegre FMA (humedad relativa y precipitación) y cuales son las que usan el protocolo IDEAM (temperatura y precipitación), entonces se evidencia que en el protocolo IDEAM solo trabajan con dos variables meteorológicas, por consiguiente para introducir la otra variable se debe

cambiar los porcentajes de ponderación que se tenían anteriormente, como se puede observar en la Tabla 31.

Tabla 30. Matriz de ponderación con las variables del Protocolo IDEAM

MATRIZ DE CALIFICACIÓN DE LAS VARIABLES PAR GENERAR ALERTAS TEMPRANAS			
FACTORES	**PONDERACIÓN**	**VARIABLE**	**PUNTAJE NORMALIZADO**
AMENAZA	**50%**	Precipitación	0,25
		Temperatura	0,25
		Pendiente	0,08
		Vías principale y secundarias	0,08
		Frecuencia	0,25
		Modelo combustible	0,17
VULNERABILIDAD	**50%**	Población	0,31
		Patrimonial	0,2
		Territorial	0,2
		Infraestructura	0,06
		Económica	0,18
		Institucional	0,05

Fuente: propia, tomando los valores de los porcentajes del protocolo IDEAM.

Tabla 31. Matriz de calificación final, valorando el índice de Montealegre (FMA)

MATRIZ DE CALIFICACIÓN DE LAS VARIABLES PAR GENERAR ALERTAS TEMPRANAS			
FACTORES	**PONDERACIÓN**	**VARIABLE**	**PUNTAJE NORMALIZADO**
AMENAZA	**50%**	Índice FMA	0,5
		Temperatura	0,2
		Pendiente	0,05
		Vías principale y secundarias	0,04
		Frecuencia	0,01
		Modelo combustible	0,2
VULNERABILIDAD	**50%**	Población	0,31
		Patrimonial	0,2
		Territorial	0,2
		Infraestructura	0,06
		Económica	0,18
		Institucional	0,05

Fuente: propia, basada en la encuesta realizada a los técnicos de la CDPMIF.

5.3 Diseño de los modelos SIG para generar alertas tempranas en los cerros orientales de la ciudad de Bogotá

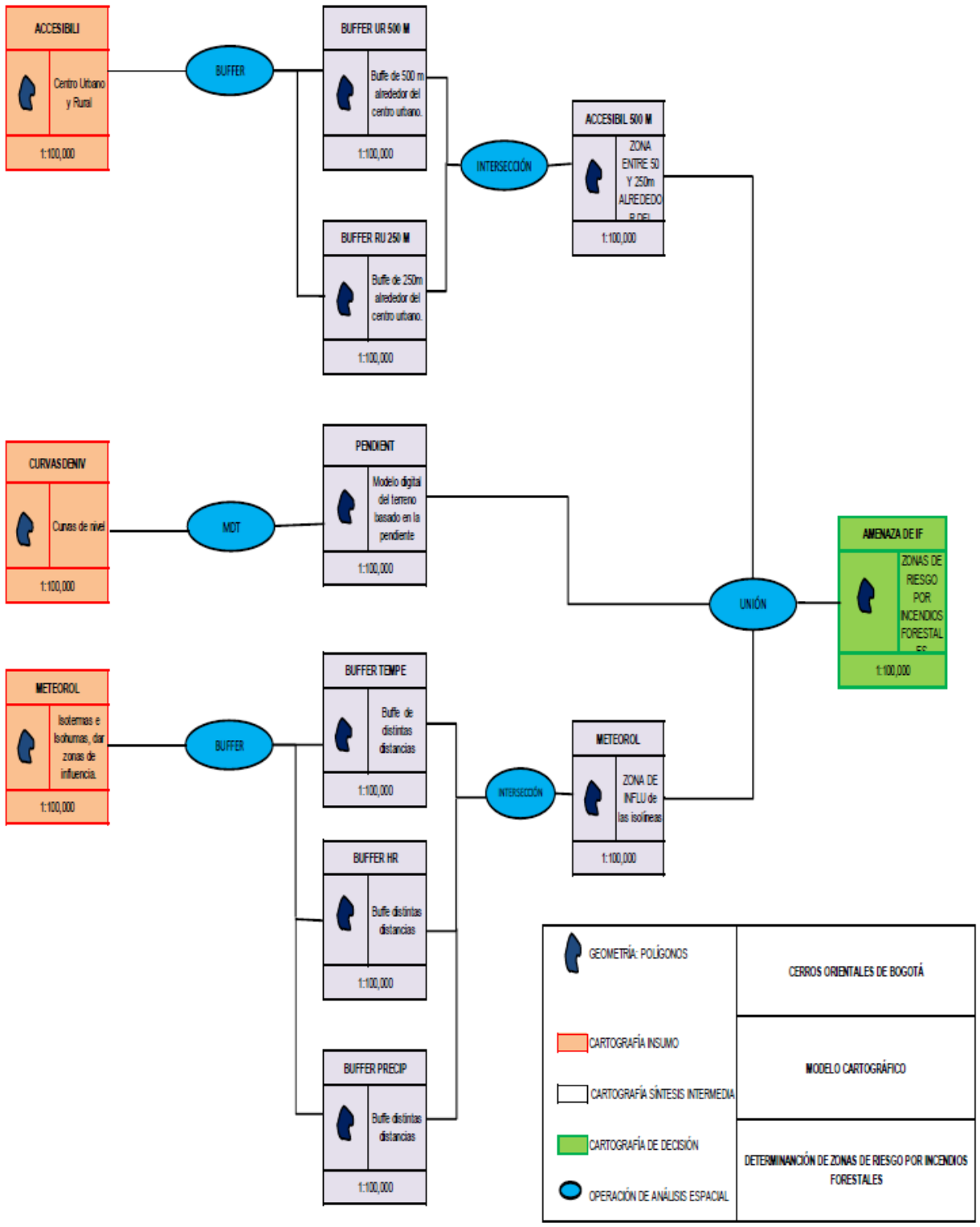
Este es el resultado de la investigación, el cual será para la puesta en marcha del sistema de alertas de riesgos de incendios forestales (alertas tempranas), en los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá, ejercicio que realizará la Corporación Autónoma regional de Cundinamarca, en el Grupo Interno de Trabajo de Gestión de Riesgo, y posteriormente será implementado el sistema a la jurisdicción CAR, dando cumplimiento a los compromisos adquiridos en la CDPMIF.

En la Ilustración 17., se puede observar el modelo lógico (SIG), determinando las acciones a realizar en cada variable, se puede ver que para realizar el mapa de amenaza de accesibilidad (vías), se tuve que implementar un buffer (zona de influencia), para las vías urbanas y las rurales. También se observa para los datos meteorológicos la realización de buffer, éste para determinar las isoyetas (precipitación), isotermas (temperatura) e isohumas (humedad relativa), que ayudan a la homogeneidad de los datos. Posteriormente de los buffer, se realiza una intersección generando un mapa de accesibilidad y otro de datos meteorológicos.

Para el mapa de curvas de nivel, se toma el mapa de puntos y se realiza un modelo digital del terreno en 3D, para posteriormente hacer el mapa de pendientes. Ya teniendo los seis mapas, se realiza una unión de estos y se genera el mapa de amenaza de incendios forestales.

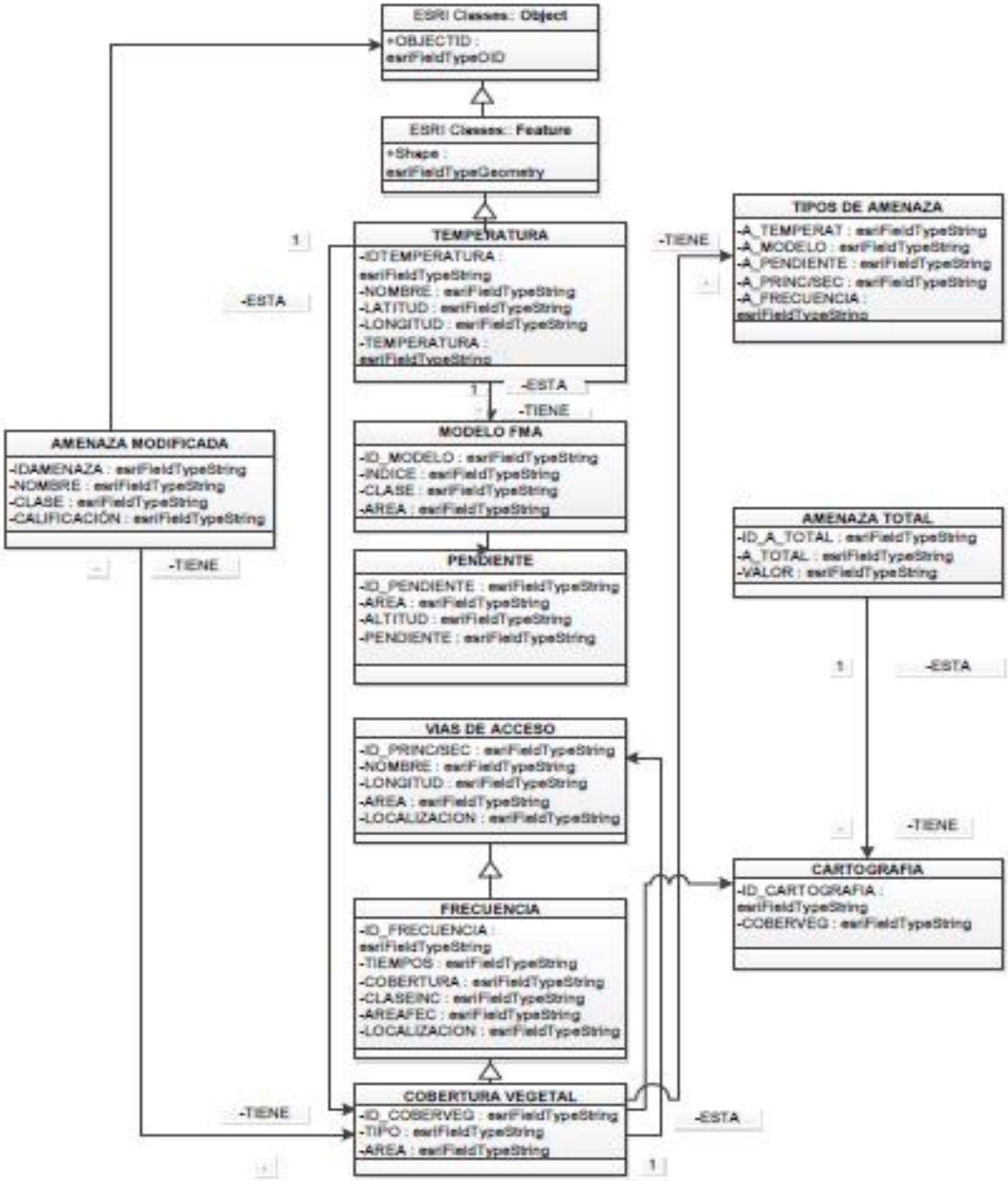
En la Ilustración 18., se puede observar cómo se relacionan las variables entre sí, dando a entender cuáles son las variables que son madre (que contienen tablas de datos e información complementaria), y cuales son hijas (son imágenes basadas en las tablas, pero no contienen información).

Ilustración 17 Modelo lógico propuesto



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 18 Modelo entidad-relación E-R



Fuente: Elaboración propia.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

Los Cerros Orientales en extensión, son casi la mitad del área de la ciudad de Bogotá, y los incendios forestales han llegado a ser un problema importante, no solo para la comunidad sino también para los seres vivos que habitan en estas zonas forestales (flora y fauna). Esta investigación se enmarca en el plan de acción de la CDPMIF donde se identificó la importancia de generar sistemas de gestión para la generación de alertas tempranas en el control de incendios forestales.

Teniendo en cuenta que los datos de incidentes forestales presentan diferentes inconsistencias y problemas atribuibles a la forma como son capturados, tabulados y entregados, se realizó un análisis descriptivo que fue fundamental para mostrar la problemática que se tiene actualmente. Se utilizaron los datos entregados por la CDPMIF para el periodo comprendido entre 1999-2012 de incidentes forestales ocurridos en Bogotá, los cuales fueron evaluados en dos períodos, con el fin de definir cuál de ellos presenta mayores inconvenientes a la hora de ser utilizados.

El primer análisis se realizó para el período comprendido entre 1999-2008, datos que incluyen quemas, conatos e incendios. Y el segundo análisis es para el periodo comprendido entre 2009-2012, que inicialmente solo tenía contemplado los incendios, y por solicitud de la CDPMIF se contempló los conatos y quemas, aunque con una menor calidad en el registro.

Se evidenció que algunas de las inconsistencias estaban en la topología usada, cantidad de datos faltantes, lo que se indica que en la actualidad no se cuenta con información real de los fenómenos amenazantes por la ocurrencia de incendios forestales, así como tampoco se puede medir el impacto negativo causado por los mismos.

Una de las hipótesis que se quería probar con el análisis estadístico, era que el 60-70% de los incendios son provocados por el causas antrópicas, lo que no se pudo corroborar

por dos causas principalmente, la primera y más importante, que los datos faltantes disminuyen la veracidad de la información, lo cual lleva a la segunda causa, que es la falta de una política para el seguimiento y penalidad legal de las personas que atenten con los recursos naturales, y hagan la ignición que genera un incendio forestal. En ninguno de los años predominó la causa “manos criminales” como causa principal, el porcentaje máximo alcanzado por esta causa fue del 23.66% en el año 2004. Otra de las hipótesis que se quería confirmar era que el retamo espinoso es la cobertura con mayor afectación de incendios forestales en los Cerros Orientales, por ser considerado actualmente una de las especies que más problemática ha generado en la ciudad, pero según los datos solo el 3.82% de los incidentes tienen relación con esta cobertura.

Una de las observaciones obtenidas en este estudio, es que la localidad de Sumapaz siendo la que tiene mayor área vegetal, con el 47.7% del área total (76.6%) forestal de Bogotá, no cuenta con información de incidentes forestales para hacer los mapas de amenaza histórica de incidentes forestales, generando un sesgo en todos los estudios realizados anteriormente para esta zona de los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá. Se muestra la necesidad de iniciar estudios y la recolección de datos por parte de las entidades responsables, para así empezar a introducir información de esta localidad.

El problema de la calidad de los datos, entendido este como la no existencia de datos confiables, certeros y representativos, que generan inconvenientes para realizar cualquier tipo de análisis estadístico. Comenzado por la posibilidad de completar a cabalidad el objetivo de estudio, hasta la obtención de resultados veraces, porque se impide la posibilidad de utilizar métodos de análisis de riesgo. En resumen, si no hay calidad de datos no hay calidad en los resultados.

Para la selección del modelo que genere índices de peligro usando datos meteorológicos, se tuvieron que realizar dos filtros de selección, el primero consistía en descartar modelos que utilizan variables que no son registradas (estaciones meteorológicas) en la zona de estudio, como lo es el punto de rocío y la humedad estimada sobre el suelo. El segundo filtro fue calculando el valor de contingencia de skill score, que da una correlación entre los aciertos y los incidentes previstos de un suceso. Con este análisis probabilístico se observó cómo el modelo de Montealegre FMA fue el que mejor se ajustó a la zona de estudio, aunque con una diferencia mínima, en comparación del modelo Montealegre Alterado FMA+. Se pudo observar en los periodos

analizados, que el porcentaje de suceso obtenido por el skill score para el modelo Montealegre FMA fue mayor que el modelo Montealegre Alterado (FMA+).

Tenemos que para el periodo comprendido entre 1982-1983, caracterizado por presentar un Fenómeno de Niño muy fuerte, se obtuvo un porcentaje de suceso de 56,08% para el modelo Montealegre (FMA) y para el Modelo Montealegre Alterado (FMA+) se obtuvo un porcentaje de 43,92%.

En el periodo comprendido entre 1991-1992, caracterizado por haber presentado Fenómeno Niño fuerte, se observó un porcentaje de suceso para el modelo Montealegre FMA, de 51,5% y para el modelo Montealegre FMA+, de 48,5%.

En el periodo comprendido entre 1986-1987, caracterizado por tener Fenómeno Niño moderado, se obtuvo un porcentaje de suceso de 55.27% para el modelo Montealegre (FMA) y para el modelo Montealegre Alterado se obtuvo un porcentaje de 44.73%.

Para los tres periodos que tuvieron presencia del Fenómeno Niño, el modelo que se ajusta mejor a la zona es el modelo Montealegre (FMA), el cual presentó mayor porcentaje de suceso que el modelo Montealegre Alterado (FMA+).

En el periodo comprendido entre 2003-2008, un periodo escogido por no presentar Fenómeno Niño, también se observó que el modelo Montealegre (FMA) presentó mayor porcentaje de suceso (55.70%). Y para periodo 2012, que fue un periodo atípico por tener ausente de incendios forestales, se obtuvo un porcentaje de suceso de 50.03%, siendo el que menos diferencia obtuvo, con relación al modelo Montealegre (FMA+).

Aunque no se presentó una amplia diferencia entre el porcentaje de suceso de los dos modelos para la generación de los índices de incendios con el skill score, se pudo establecer que uno de los posibles factores que pueden atribuirse a que el modelo Montealegre Alterado (FMA+) no sea de mayor utilidad, es por la influencia de los vientos en la zona de estudio, dado que los Cerros Orientales se caracteriza por tener microclimas, y por ende tener diferentes velocidades de vientos, por el choque de éste con los Cerros Orientales, cambiando su dirección y magnitud.

Uno de los problemas identificados en Bogotá es la generación de mapas de peligros de incendios forestales, la cual hasta el momento ha sido estática, para la generación de informes anuales y reportes institucionales. La solución, como lo plantea este estudio, es

la implementación del índice de peligro a la variable de amenaza en el protocolo IDEAM (método de generación de mapas de riesgo a escala 1:100.000), que genere mapas de alertas tempranas diarios, logrando así activar un sistema de gestión del riesgo con alertas tempranas, con la posibilidad de mejorar la respuesta y control en los incendios forestales.

Para ajustar la ecuación de amenaza contenida en el protocolo IDEAM, se optó por tener en cuenta los fundamentos planteados por los técnicos y expertos en los tema de incendios forestales, para poder dar la ponderación al índice de peligro del modelo de Montealegre FMA, e incluirlo como una variable en la ecuación de amenaza del protocolo.

La Maestría en Ingeniería Agrícola ofreció el conocimiento necesario para establecer una estrategia innovadora que brindara una solución al problema que se tenía en relación a los incendios forestales en los Cerro Orientales de la ciudad de Bogotá. Liderando la implementación de una herramienta que genere alertas tempranas para el control de incendios forestales, y así poder establecer los posibles riesgos en la zona, para darles soluciones de manera anticipada y así lograr mejorar las estrategias establecidas anteriormente, dando un adecuado y sustentable manejo del recurso suelo.

En la actualidad la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, está implementando los resultados de esta investigación, para la generación de mapas de alertas tempranas. Este estudio fue realizado con la firme intención, de generar una estrategia innovadora que pudiera ser usada como sistema de gestión del riesgo para los incendios forestales, planteando una herramienta que ayude a predecir la posible ocurrencia de incendios forestales, y genere la zonificación de los riesgos, como se realiza en otros países.

6.2 Recomendaciones

La investigación brindó una estrategia para generar mapas diarios de alertas tempranas, al incorporar una variable dinámica a la ecuación de peligro del protocolo IDEAM, brindando la posibilidad de que se involucre un índice de peligro, y poder contar con más información de la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales para los Cerros Orientales de Bogotá.

Con los resultados obtenidos se ve la necesidad de que existan alianzas entre las entidades que capturan, manejan o entregan los datos, para que se engranen o articulen entre sí, dándole un adecuado manejo a los datos, para contar con información de calidad, y mejorar el uso de las herramientas planteadas para la generación de alertas tempranas.

Es importante contar con gran cantidad de datos reales que puedan representar las condiciones meteorológicas, edafoclimáticas de la zona, por eso se recomienda el mantenimiento (preventivo) de las estaciones, por parte de las entidades que registran estos datos y los ofrecen para esta clase de investigación. Para los Cerros Orientales la entidad que podría brindar una mayor cantidad de datos sería la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de la ciudad, ya que cuenta con varias estaciones dentro de la zona de Cerros Orientales, pero que no se encuentra en condiciones para brindar datos confiables, por falta de mantenimiento o su funcionamiento.

Se recomienda que las entidades de la CDPMIF inicien convenios con universidades, para la actualización de los datos, como el de la cobertura vegetal, que es fundamental para medir el porcentaje de combustible de la zona.

Si la CDPMIF contará con un espacio permanente (sala de crisis), donde se tuvieran los equipos necesarios y el personal capacitado, para la toma de datos, su respectivo análisis, y posteriormente el diseño de estrategias, lo que mejoraría la rápida en la atención y manejo de los incendios forestales en la capital.

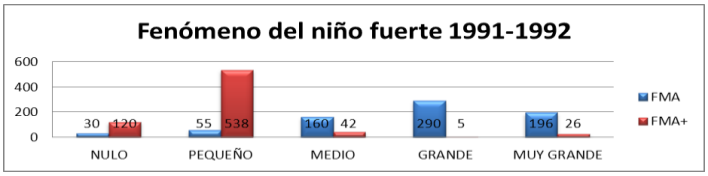
A.Anexo: Cálculos para la obtención del valor de skill score

Tabla 1. Número de días previstos en valor absoluto y porcentaje de cada clase de peligro en las escalas FMA y FAM+ (Fenómeno fuerte Niño 1991-1992).

CLASE DE PERIGO	DIAS PREVISTOS DO PERIODO			
	FMA		FMA+	
	Nº	%	Nº	%
NULO	30	4,27	120	16,42
PEQUEÑO	55	7,82	538	73,60
MEDIO	160	22,76	42	5,75
GRANDE	290	41,25	5	0,68
MUY GRANDE	196	27,88	26	3,56
TOTAL	731	100%	731	100%

Fuente: propia.

Ilustración 1. Días previstos del periodo



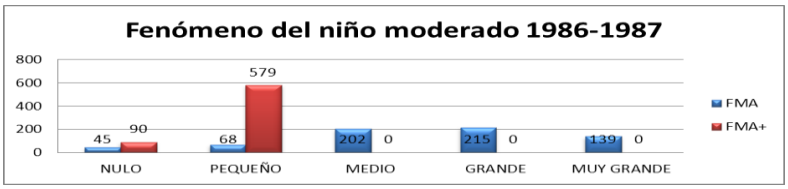
Fuente: propia.

Tabla 2. Número de días previstos en valor absoluto y porcentaje de cada clase de peligro en las escalas FMA y FAM+ (fenómeno moderado Niño 1986-1987).

CLASE DE PERIGO	DIAS PREVISTOS DO PERIODO			
	FMA		FMA+	
	Nº	%	Nº	%
NULO	45	6,73	90	13,45
PEQUEÑO	68	10,16	579	86,55
MEDIO	202	30,19	0	0,00
GRANDE	215	32,14	0	0,00
MUY GRANDE	139	20,78	0	0,00
TOTAL	669	100%	669	100%

Fuente: propia.

Ilustración 2. Días previstos del periodo



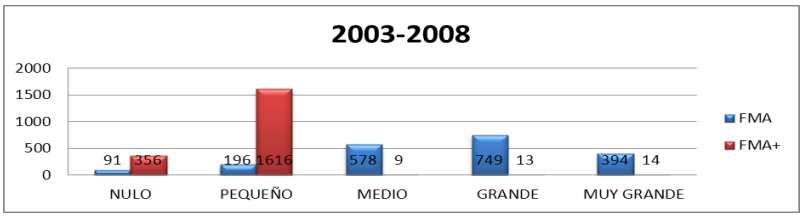
Fuente: propia.

Tabla 3.Número de días previstos en valor absoluto y porcentaje de cada clase de peligro en las escalas FMA y FAM+ (2003-2008).

CLASE DE PERIGO	DIAS PREVISTOS DO PERIODO			
	FMA		FMA+	
	N°	%	N°	%
NULO	91	4,53	356	17,73
PEQUEÑO	196	9,76	1616	80,48
MEDIO	578	28,78	9	0,45
GRANDE	749	37,30	13	0,65
MUY GRANDE	394	19,62	14	0,70
TOTAL	2008	100%	2008	100%

Fuente: propia.

Ilustración 1. Días previstos del periodo



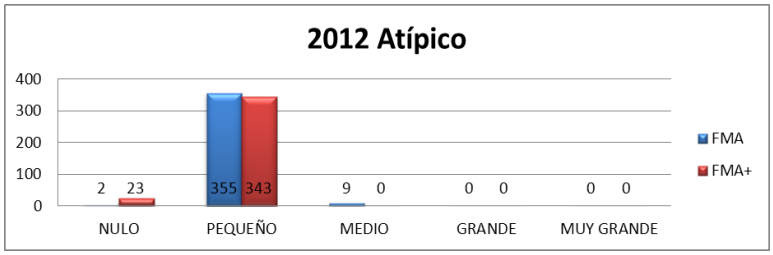
Fuente: propia.

Tabla 4. Número de días previstos en valor absoluto y porcentaje de cada clase de peligro en las escalas FMA y FAM+ (2012- atípico).

CLASE DE PERIGO	DIAS PREVISTOS DO PERIODO			
	FMA		FMA+	
	N°	%	N°	%
NULO	2	0,55	23	6,28
PEQUEÑO	355	96,99	343	93,72
MEDIO	9	2,46	0	0,00
GRANDE	0	0,00	0	0,00
MUY GRANDE	0	0,00	0	0,00
TOTAL	366	100%	366	100%

Fuente: propia.

Ilustración 2. Días previstos del periodo



Fuente: propia.

Tabla 1. Incendios registrados en valores absolutos y porcentajes en cada clase de peligro de las escalas FMA y FAM+ (Fenómeno fuerte Niño 1991-1992).

INDICE	CONDICIÓN	VALORES	
		OBSERVADOS	PREVISTOS
		No. DE DIAS	No. DE DÍAS
FMA	INCENDIO	399	646
	NO INCENDIO	58	85
FMA+	INCENDIO	399	73
	NO INCENDIO	58	658

Fuente: propia.

Tabla 2. Incendios registrados en valores absolutos y porcentajes en cada clase de peligro de las escalas FMA y FAM+ (fenómeno moderado Niño 1986-1987).

INDICE	CONDICIÓN	VALORES	
		OBSERVADOS	PREVISTOS
		No. DE DIAS	No. DE DÍAS
FMA	INCENDIO	595	556
	NO INCENDIO	133	113
FMA+	INCENDIO	595	0
	NO INCENDIO	133	669

Fuente: propia.

Tabla 3. Incendios registrados en valores absolutos y porcentajes en cada clase de peligro de las escalas FMA y FAM+ (2003-2008)

INDICE	CONDICIÓN	VALORES	
		OBSERVADOS	PREVISTOS
		No. DE DIAS	No. DE DÍAS
FMA	INCENDIO	1838	1721
	NO INCENDIO	353	287
FMA+	INCENDIO	1838	36
	NO INCENDIO	353	1972

Fuente: propia.

Tabla 4. Incendios registrados en valores absolutos y porcentajes en cada clase de peligro de las escalas FMA y FAM+ (Atípico 2012).

INDICE	CONDICIÓN	VALORES	
		OBSERVADOS	PREVISTOS
		No. DE DIAS	No. DE DÍAS
FMA	INCENDIO	7	9
	NO INCENDIO	500	357
FMA+	INCENDIO	7	0
	NO INCENDIO	500	366

Fuente: propia.

Tabla 9. Cálculo de la tabla de contingencias para FMA y FMA+ (2003-2008)

2003-2008		FMA		
EVENTO		OBSERVADO		TOTAL PREVISTO
		INCENDIO	NO INCENDIO	
PREVISTO	INCENDIO	1838	1721	3559
	NO INCENDIO	353	287	640
TOTAL OBSERVADO		2191	2008	8398

2003-2008		FMA+		
EVENTO		OBSERVADO		TOTAL PREVISTO
		INCENDIO	NO INCENDIO	
PREVISTO	INCENDIO	1838	36	1874
	NO INCENDIO	353	1972	2325
TOTAL OBSERVADO		2191	2008	8398

Fuente: propia.

Tabla 101. Cálculo de la tabla de contingencias para FMA y FMA+ (2003-2008)

2003-2008		FMA		
EVENTO		OBSERVADO		TOTAL PREVISTO
		INCENDIO	NO INCENDIO	
PREVISTO	INCENDIO	0,838886353	0,857071713	1,695958066
	NO INCENDIO	0,161113647	0,142928287	0,304041934
TOTAL OBSERVADO		1	1	2

2003-2008		FMA+		
EVENTO		OBSERVADO		TOTAL PREVISTO
		INCENDIO	NO INCENDIO	
PREVISTO	INCENDIO	0,838886353	0,017928287	0,85681464
	NO INCENDIO	0,161113647	0,982071713	1,14318536
TOTAL OBSERVADO		1	1	2

Fuente: propia.

Tabla 11. Valores de skill score y porcentaje de suceso de FMA y FMA+ (2003-2008)

INDICE	SKILL SCORE	PORCENTAJE DE SUCESO
FMA	0,61137599	55,7047332
FMA+	0,486153708	44,2952668

Fuente: propia.

Tabla 12. Cálculo de la tabla de contingencias para FMA y FMA+ (2012 atípico)

2012		FMA		
EVENTO		OBSERVADO		TOTAL PREVISTO
		INCENDIO	NO INCENDIO	
PREVISTO	INCENDIO	7	9	16
	NO INCENDIO	500	357	857
TOTAL OBSERVADO		507	366	1746

2012		FMA+		
EVENTO		OBSERVADO		TOTAL PREVISTO
		INCENDIO	NO INCENDIO	
PREVISTO	INCENDIO	7	0	7
	NO INCENDIO	500	366	866
TOTAL OBSERVADO		507	366	1746

Fuente: propia.

Tabla 13. Cálculo de la tabla de contingencias para FMA y FMA+ (2012 atípico)

2012		FMA		
EVENTO		OBSERVADO		TOTAL PREVISTO
		INCENDIO	NO INCENDIO	
PREVISTO	INCENDIO	0,013806706	0,024590164	0,03839687
	NO INCENDIO	0,986193294	0,975409836	1,96160313
TOTAL OBSERVADO		1	1	2

2012		FMA+		
EVENTO		OBSERVADO		TOTAL PREVISTO
		INCENDIO	NO INCENDIO	
PREVISTO	INCENDIO	0,013806706	0	0,013806706
	NO INCENDIO	0,986193294	1	1,986193294
TOTAL OBSERVADO		1	1	2

Fuente: propia.

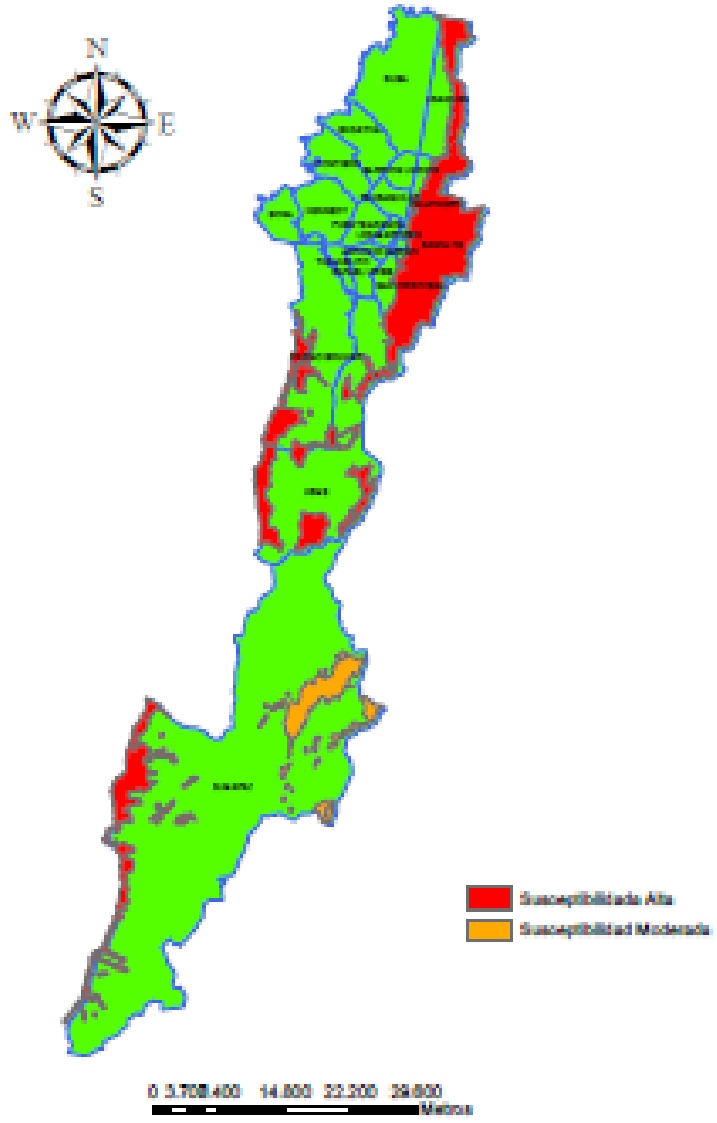
Tabla 142. Valores de skill score y porcentaje de suceso de FMA y FMA+ (2012 atípico)

INDICE	SKILL SCORE	PORCENTAJE DE SUCESO
FMA	1,692501567	50,03335751
FMA+	1,690244767	49,96664249

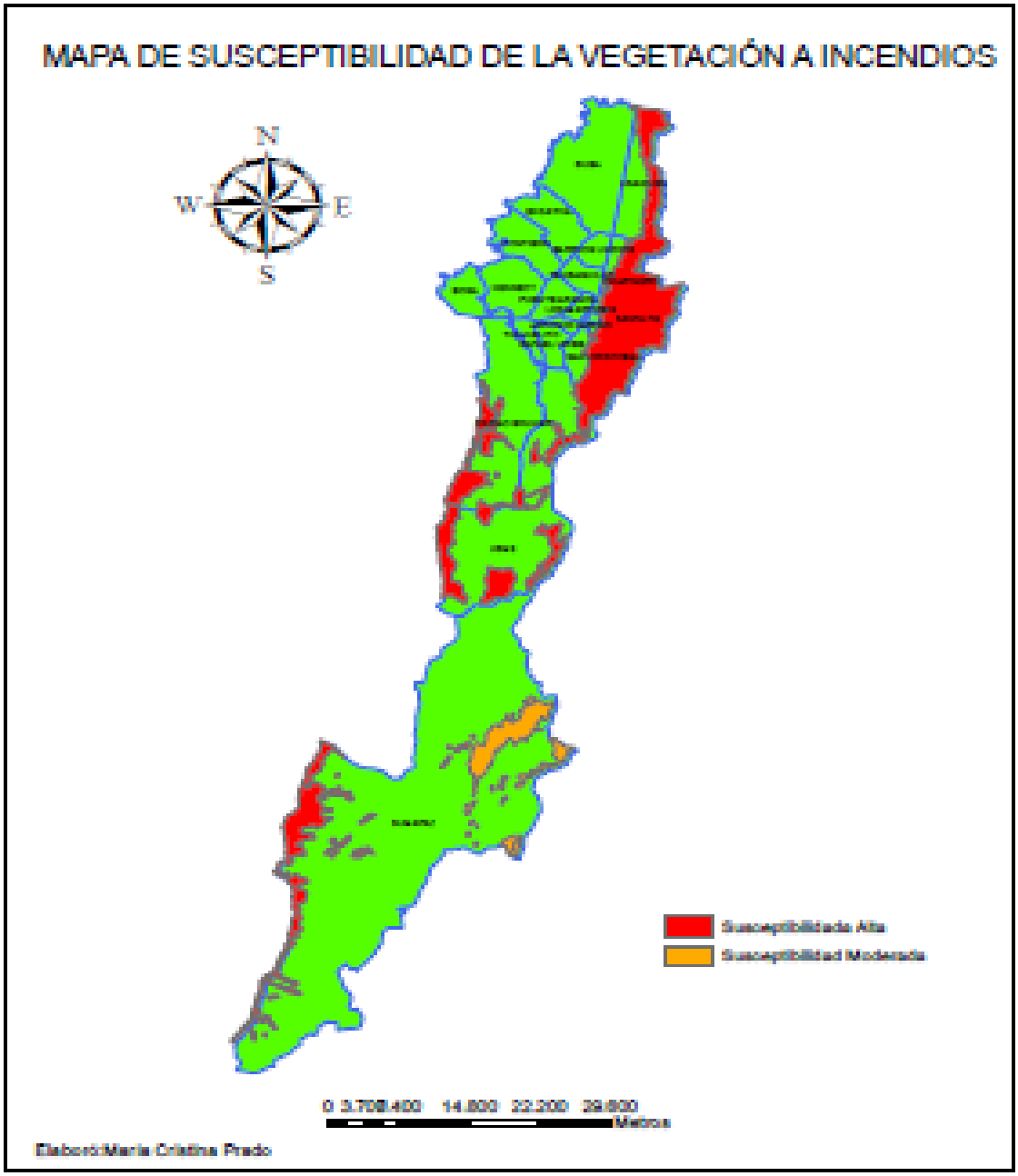
Fuente: propia.

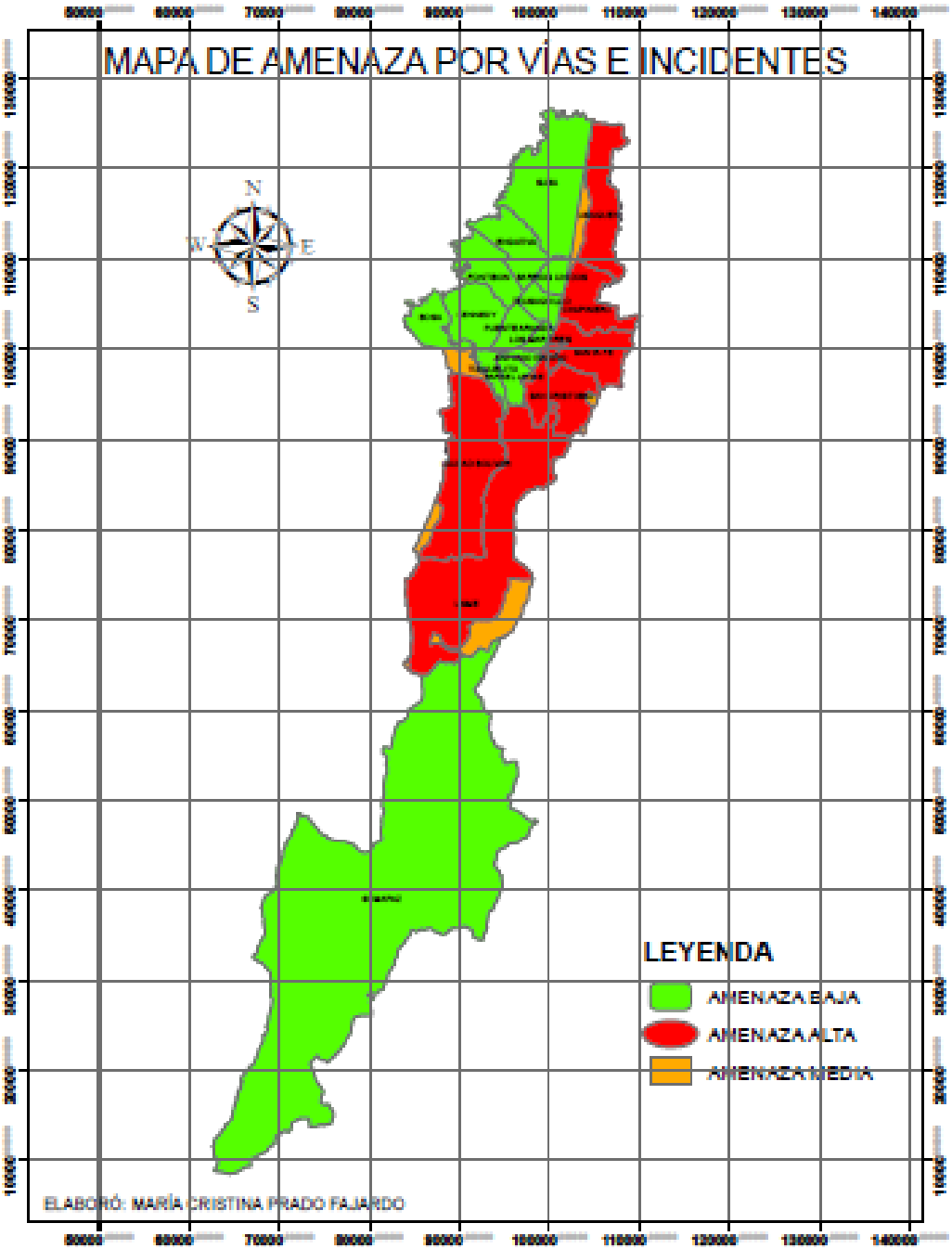
B.Anexo: Mapas de amenaza de incendios forestales

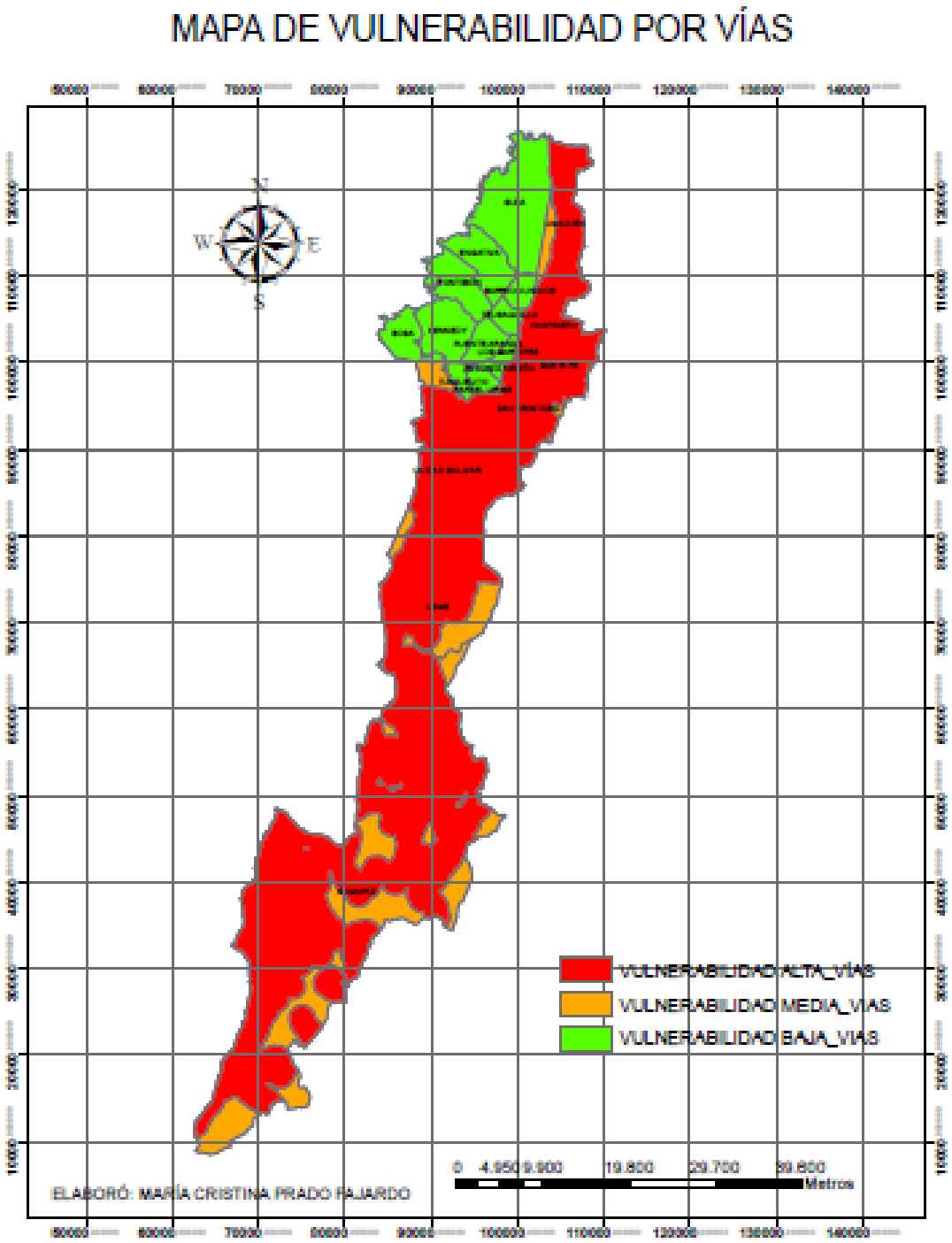
MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA VEGETACIÓN A INCENDIO

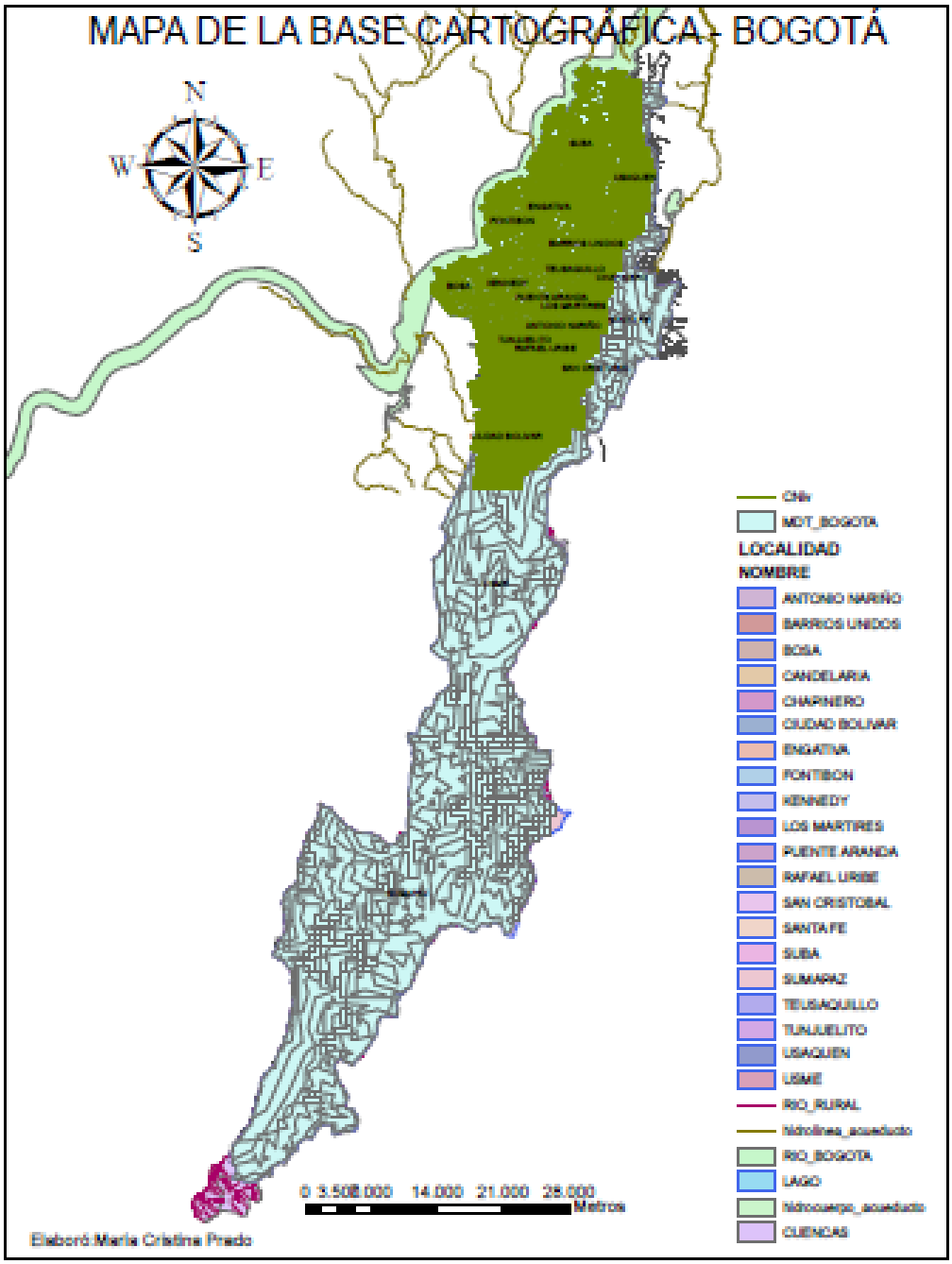


Elaboró:María Cristina Prado

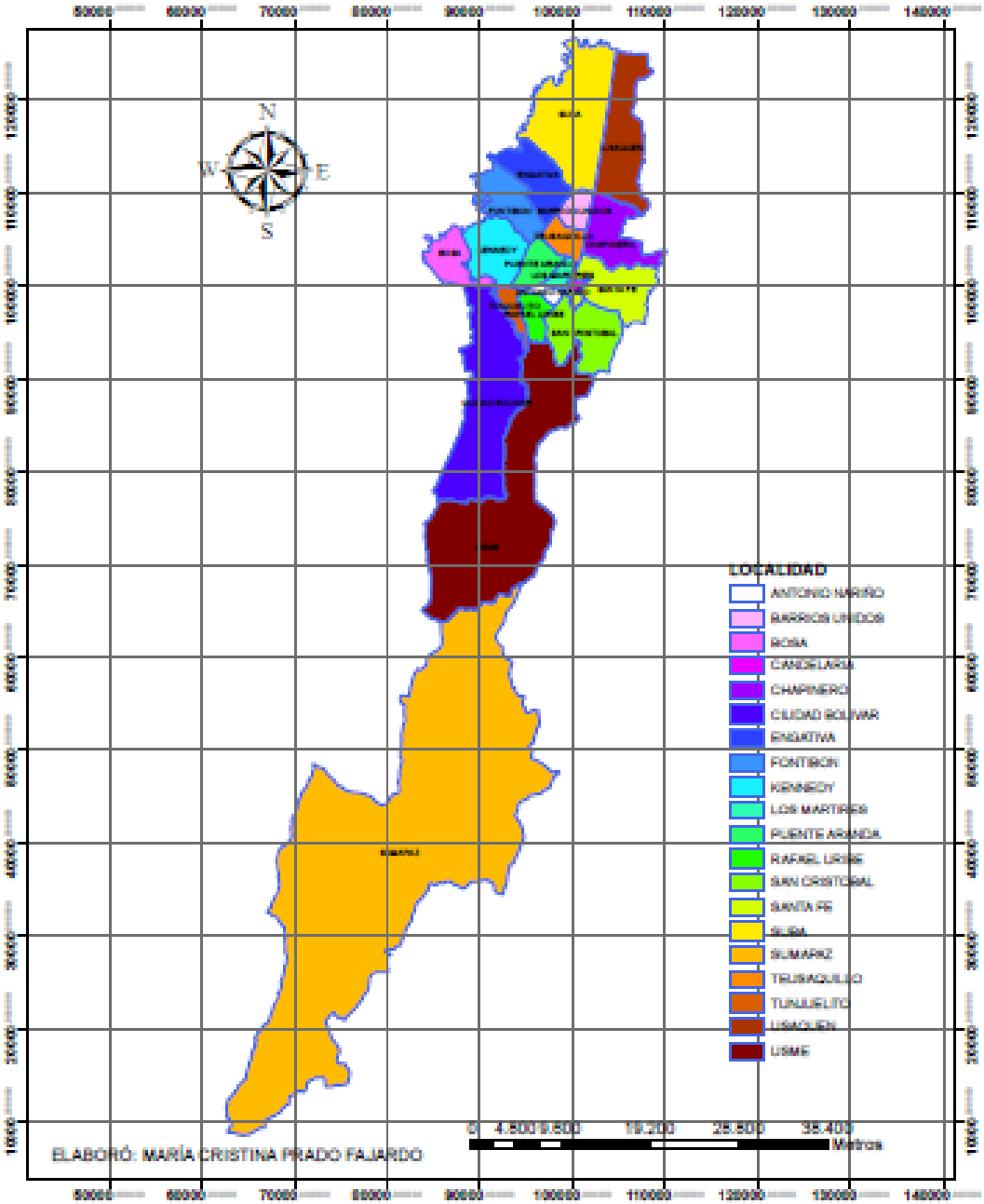

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA VEGETACIÓN A INCENDIOS
N
W
E
S
Susceptibilidad Alta
Susceptibilidad Moderada
0 3.700 7.400 14.800 22.200 29.600
Metros
Elaboró:María Cristina Prado

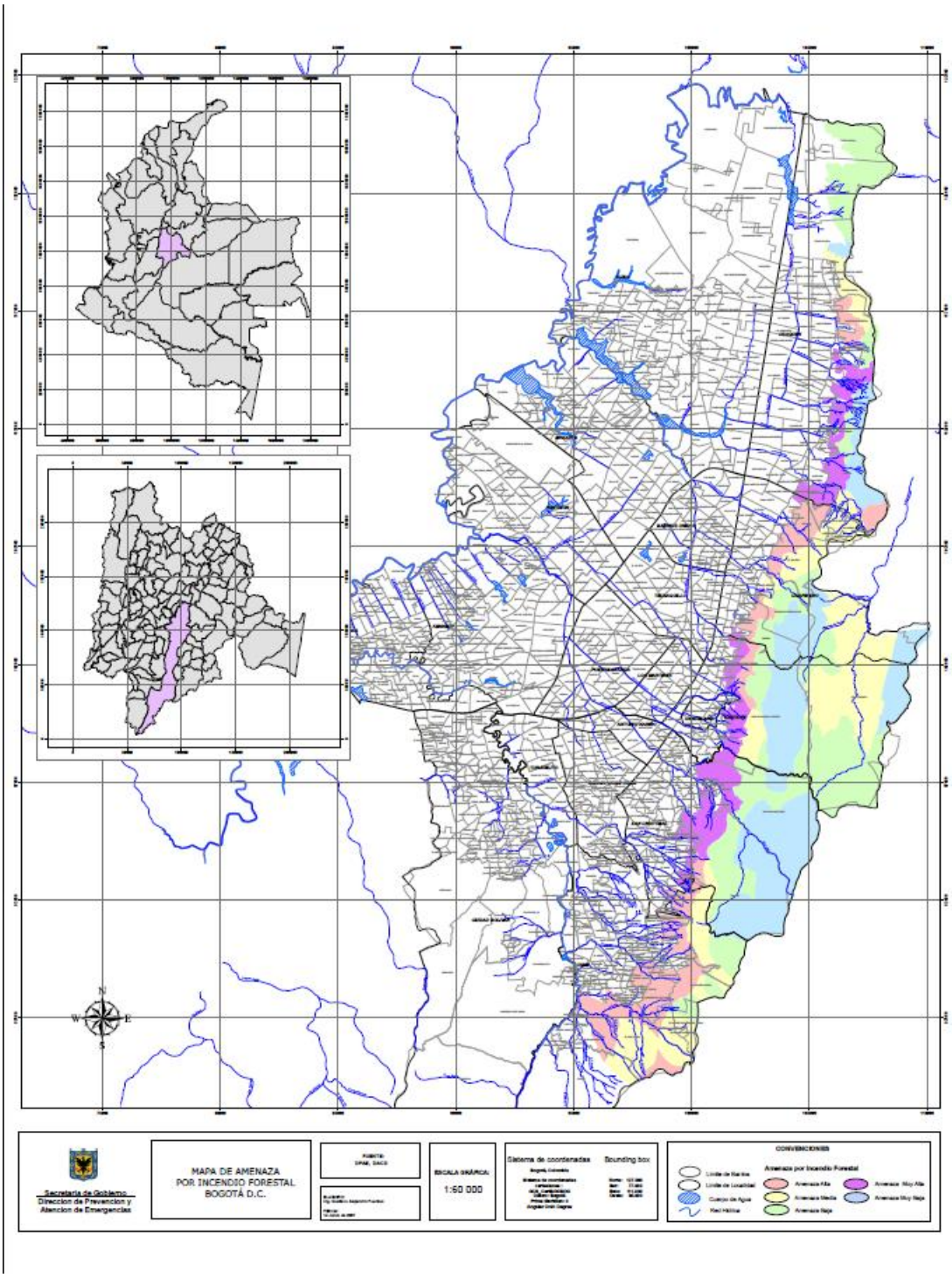

MAPA DE AMENAZA POR VÍAS E INCIDENTES
N
W
E
S
LEYENDA
AMENAZA BAJA
AMENAZA ALTA
AMENAZA MEDIA
ELABORÓ: MARÍA CRISTINA PRADO FAJARDO


MAPA DE VULNERABILIDAD POR VÍAS
N
W
E
S
VULNERABILIDAD ALTA_VIAS
VULNERABILIDAD MEDIA_VIAS
VULNERABILIDAD BAJA_VIAS
0 4.950 9.900 19.800 29.700 39.600
Metros
ELABORÓ: MARÍA CRISTINA PRADO FAJARDO


MAPA DE LA BASE CARTOGRÁFICA - BOGOTÁ
N
W
E
S
CNIv
MDT_BOGOTA
LOCALIDAD
NOMBRE
ANTONIO NARIÑO
BARRIOS UNIDOS
BOSA
CANDELARIA
CHAPINERO
CIUDAD BOLIVAR
ENGATIVA
FONTIBON
KENNEDY
LOS MARTIRES
PUENTE ARANDA
RAFAEL URIBE
SAN CRISTOBAL
SANTA FE
SUBA
SUMAPAZ
TEUSAQUILLO
TUNJUELITO
USAQUEN
USME
RIO_RURAL
hidrolinea_acueducto
RIO_BOGOTA
LAGO
hidrocuerpo_acueducto
CUENCAS
0 3.508.000 14.000 21.000 28.000
Metros
Elaboró:Maria Cristina Prado

LOCALIDADES DE BOGOTÁ




Secretaría de Gobierno
Dirección de Prevención y Atención de Emergencias
MAPA DE AMENAZA POR INCENDIO FORESTAL BOGOTÁ D.C.
FUENTE: IDRD, DACD
ESCALA GRÁFICA
1:60 000
Sistema de coordenadas
Bounding box
CONVENCIONES
Amenaza por Incendio Forestal
Límite de Barrios
Límite de Localidad
Cuerpo de Agua
Red Hídrica
Amenaza Alta
Amenaza Media
Amenaza Baja
Amenaza Muy Alta
Amenaza Muy Baja
N
S
E
W

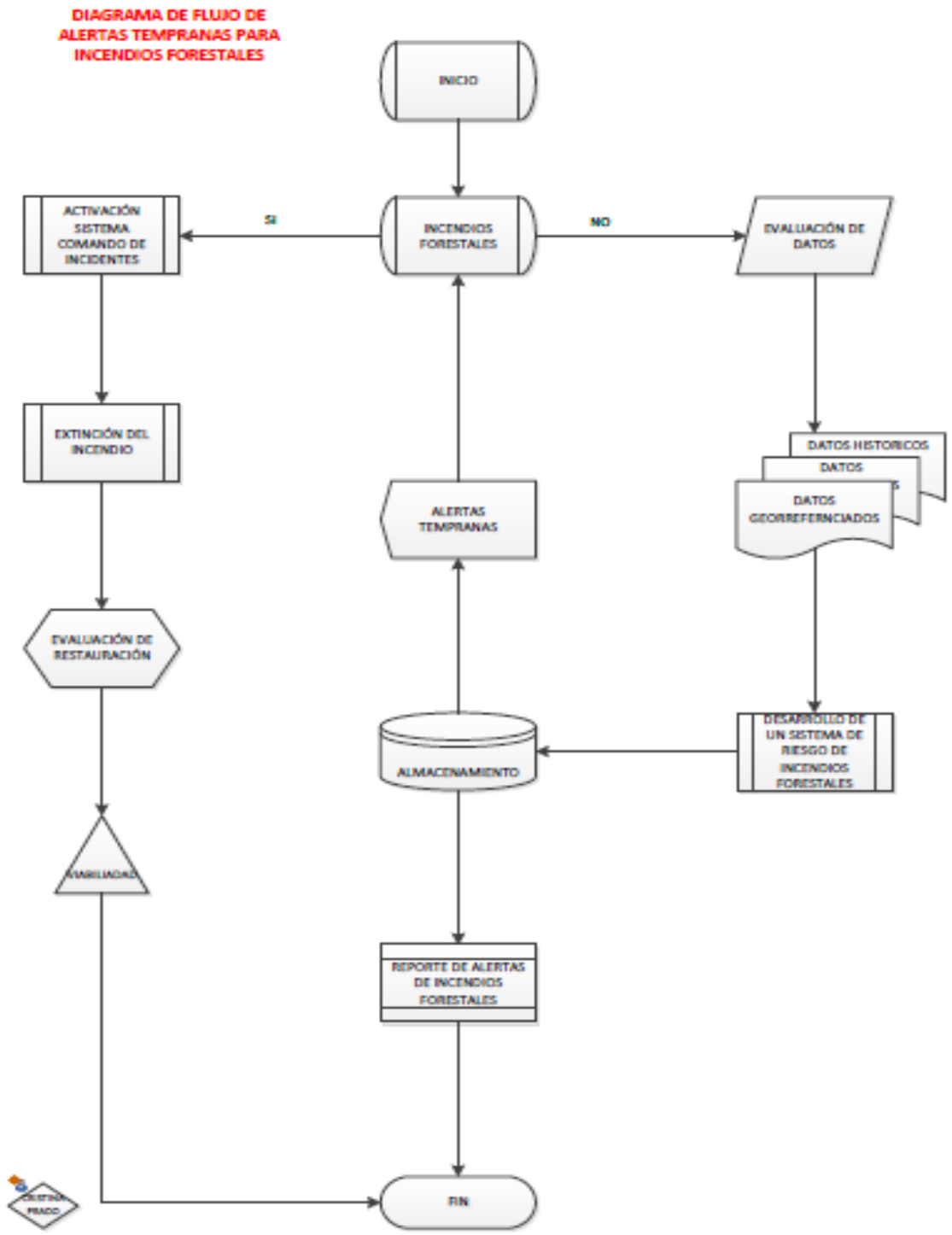
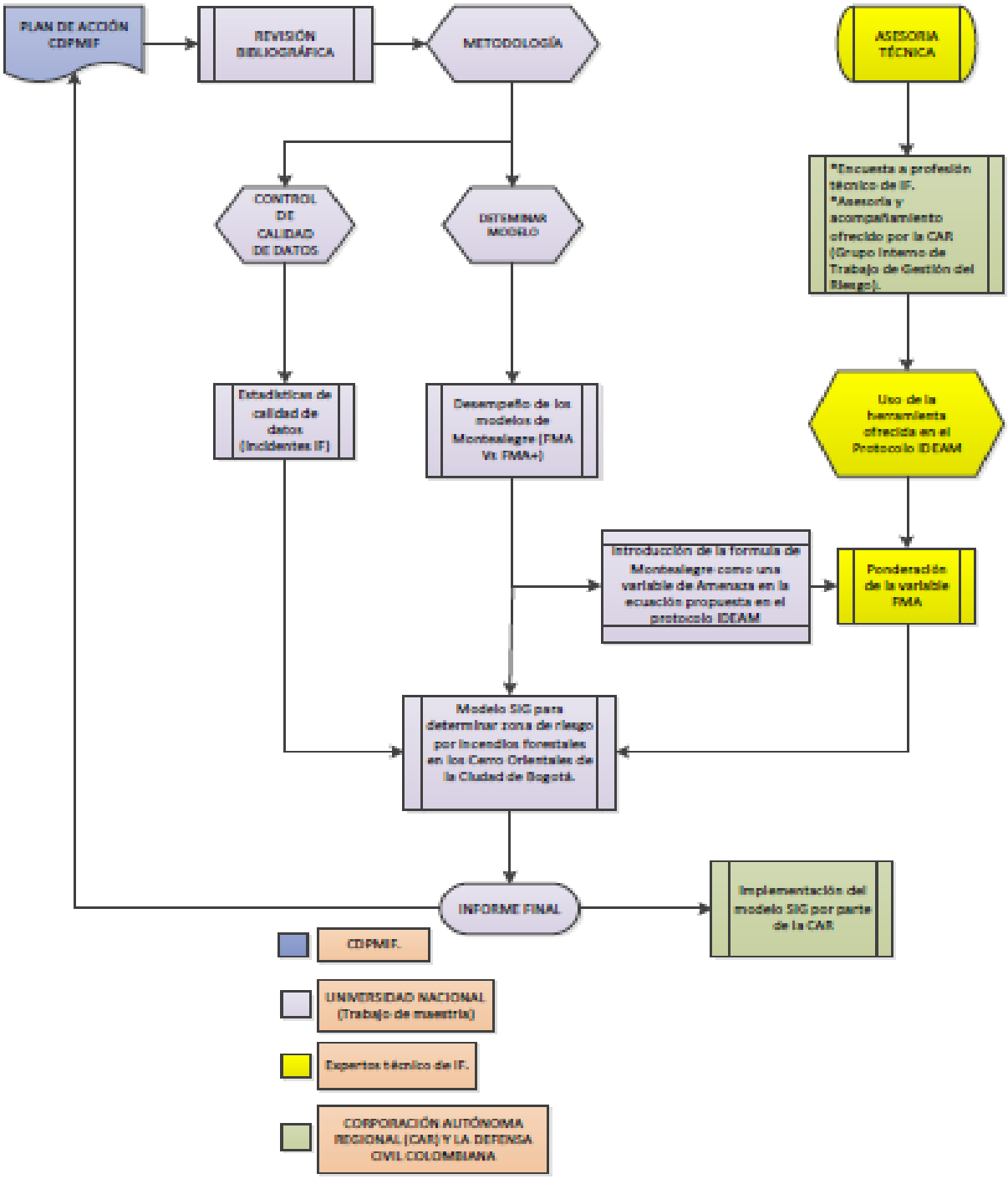


DIAGRAMA DE FLUJO DE ALERTAS TEMPRANAS PARA INCENDIOS FORESTALES
INICIO
INCENDIOS FORESTALES
SI
NO
ACTIVACIÓN SISTEMA COMANDO DE INCIDENTES
EVALUACIÓN DE DATOS
EXTINCIÓN DEL INCENDIO
DATOS HISTORICOS
DATOS
DATOS GEORREFERNCIADOS
ALERTAS TEMPRANAS
EVALUACIÓN DE RESTAURACIÓN
ALMACENAMIENTO
DESARROLLO DE UN SISTEMA DE RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES
REPORTE DE ALERTAS DE INCENDIOS FORESTALES
FIN


PLAN DE ACCIÓN CDPMIF
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA
METODOLOGÍA
ASESORIA TÉCNICA
CONTROL DE CALIDAD DE DATOS
DETERMINAR MODELO
*Encuesta a profesión técnico de IF.
*Asesoría y acompañamiento ofrecido por la CAR (Grupo Interno de Trabajo de Gestión del Riesgo).
Estadísticas de calidad de datos (Incidentes IF)
Desempeño de los modelos de Montealegre (FMA Vs FMA+)
Uso de la herramienta ofrecida en el Protocolo IDEAM
Introducción de la formula de Montealegre como una variable de Amenaza en la ecuación propuesta en el protocolo IDEAM
Ponderación de la variable FMA
Modelo SIG para determinar zona de riesgo por Incendios forestales en los Cerro Orientales de la Ciudad de Bogotá.
INFORME FINAL
Implementación del modelo SIG por parte de la CAR
CDPMIF.
UNIVERSIDAD NACIONAL (Trabajo de maestría)
Expertos técnico de IF.
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL (CAR) Y LA DEFENSA CIVIL COLOMBIANA

Bibliografía

[1] Artículos Misceláneos; Fiestas de Australia. (2000). Recuperado de http://guidewhois.com/2011/04/fiestas-de-australia

[2] Bardi J. "Gestión de riesgo en desastres y emergencias complejas" Centro de Estudios Estratégicos. Argentina, 2004.

[3] Borgues, Tiago. S., Fiedler, Nilton. C. & Edmilson, L. (2011). "Desempenho de alguns índices de riscos de incendios en plantios de eucalipto no norte do Espíritu Santo". Floresta e Ambiente 2011, *18*(2): 153-159.

[4] Burt, C. (2011). Los perores incendios forestales en la historia del mundo. Recuperado de http://translate.google.com.co/translate?hl=es&langpair=en%7Ces&u=http://www.wunderground.com/blog/weatherhistorian/article.html%3Fentrynum%3D30

[5] Comisión Distrital para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales, "Plan de acción para el manejo de situaciones de desastre, 2010. p.3.

[6] Corporación Autónoma Regional. (2007). "Áreas protegidas del territorio CAR". Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.

[7] Corporación Nacional de investigación y fomento forestal CONIF& Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM. "Desarrollo del mapa nacional de zonificación de riesgo a incendios de la cobertura vegetal, a partir de la información temática e información complementaria y el aplicativo informático para autorizar las posteriores actualizaciones". Subdirección de ecosistemas. Bogotá, 2009.

[8] Corporación Autónoma Regional. Convenio interadministrativo No. 00976 con la Universidad Nacional de Colombia. (2011). "Guía taller sobre modelación de escenarios de cambio climático". Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.

[9] Dentoni M. and M. Muñoz. "Sistema de evaluación de peligros de incendios" Plan Nacional del Manejo del Fuego. España, 2010.

[10] FAO. 2007, Manejo del fuego: principios y acciones estratégicas. Directrices de carácter voluntario para el manejo del fuego. Documento de trabajo sobre el manejo del fuego No. 17, Roma. pp.34-35.

[11] Film, V. And Moira, F; AUSTRALIAN BROADCASTIN0047 CORPORATION; (2003). Recuperado de http://es.wikipedia.org/wiki/Viernes_Negro_(1939)

[12] França, Alexandre. T., Batista, Carlos & Soares, S. (2010). "Comportamiento y ajuste de la Formula Monte Alegre en la Floresta Nacional de Irati, Estado de Paraná". Piracicaba, *38*(87), 409-417.

[13] Gobierno Nacional. "Política nacional de gestión del riesgo de desastres, LEY No. 1523", Republica de Colombia, 2012. Tomada de http://www.ifrc.org/docs/idrl/1057ES.pdf.

[14] Gómez. G. Jorge. "Los sistemas de información geográfica". Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, 2010.

[15] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. "Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal escala 1:100.000". Subdirección de ecosistemas, 2011.

[16] Instituto de Hidrología, Meteorológica y Estudios Ambientales IDEAM, "Posibles efectos naturales y económicos del fenómeno el niño en el periodo 1997-1998 en Colombia", 1997.

[17] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. "Metodología para el análisis de vulnerabilidad y análisis de riesgos asociados en la cuenca del río Cauca". Programa de investigación de ecosistemas y adaptación al cambio climático en el Macizo Colombiano, 2011.

[18] Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM. “Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelito”. Alcaldía Mayor de Bogotá, 2007.

[19] Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM. “Guía para diligenciamiento formato único de incendios, reporte de incendios forestales”. Subdirección de ecosistemas e información ambiental. Bogotá, 2005.

[20] Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM. “Posibles efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno El Niño en el periodo 1997-1998 en Colombia” Subdirección de Hidrología. Bogotá, 1997.

[21] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente; Estadística de Incendios Forestales. Gobierno de España, 2010.
http://www.marm.es/es/biodiversidad/temas/defensa-contra-incendios-forestales/estadisticas-de-incendios-forestales/

[22] Mejía D. (2007, Enero).El fenómeno del Niño y su posible impacto en Colombia. Reportes del Emisor, Investigación e información económica, pp. 1-2.

[23] Ministerio de Medio Ambiente, “Estrategia de corresponsabilidad social en la lucha contra incendios forestales”. Bogotá-Colombia; (MINAMBIENTE), 2011. p.3.

[24] Ministerio de Medio Ambiente, “Formulación y puesta en marcha de los programas nacionales de capacitación, educación e información en prevención y mitigación de incendios forestales”: Manual de brigadas forestales. Bogotá-Colombia; (MINAMBIENTE), 1997. p.9.

[25] Ministerio de Medio Ambiente. (2007). Manual del jefe de brigadas forestales. Bogotá: Impresora nacional de Colombia.

[26] Ministerio de Medio Ambiente. (2007). Manual del vigía forestal. Bogotá: Impresora nacional de Colombia.

[27] Ministerio de Medio Ambiente. "Metodología para la determinación de prioridades de protección frente a incendios forestales a partir de los mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo". Dirección General de Ecosistemas centro nacional para la prevención y mitigación de incendios forestales y la Cooperación técnica Holandesa, 1999. Pag.3-4.

[28] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, "Plan nacional de prevención control de incendios forestales y restauración de áreas afectadas", Comisión Nacional asesora para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales, 2002. p.10.

[29] Moreno C. and Múnera A. "Riesgos y vulnerabilidad: un enfoque de atención de lo urbano" Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2000.

[30] Pabón, J.D., P.D. Rojas, J.E. Montealegre, K. Robertson, J.L. Ceballos, N. Martínez, E. Náñez. "El océano" Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2000.

[31] Ruíz, A.D. (2004). La predicción de la humedad en los restos forestales combustibles; aplicación a masas arboladas en Galicia. Madrid: Tesis doctoral Universidad politécnica de Madrid.

[32] Secretaria Distrital de Ambiente (SDS). "Informe de las actividades de gestión del riesgo por incendios forestales en Bogotá D.C., ejecutadas entre Octubre de 1996 y Diciembre de 2008". Alcaldía Mayor de Bogotá, Dirección de gestión ambiental, Subdirección de ecosistemas y ruralidad, (2008).

[33] Secretaría Distrital de Ambiente (SDS). "Reserva forestal protectora bosque oriente de Bogotá; Cerros Orientales". Alcaldía Mayor de Bogotá. Recuperado de http://www.secretariadeambiente.gov.co/sda/libreria/php/decide.php?patron=03.131308#1

[34] Silva, L. Cuando el fuego avanza por el bosque sin ningún control. Peshtigo, EEUU, 1871. Recuperado de http://noticias.es.msn.com/verde/fotos.aspx?cp-documentid=158604943&page=5 (2011).

[35] Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2005). Historia del sistema nacional para la atención y prevención de desastres. Recuperado http://www.sigpad.gov.co/sigpad/paginas_detalle.aspx?idp=79

[36] Silva, F. Modelagem da biomassa florestal de espécies nativas no municipio de seropédica – RJ; Universidade Federal do Paraná, Curituba. 2009.

[37] Soares, Jóse. R., Namikawa, Ivone. S. & Soares, S. (2009). Desempenho da fórmula de Montealegre (FAM) y da fórmula Montealegre (FAM+) no distrito florestal de Montealegre. Floresta, *40*(2), 320-325.

[38] Summary of major Bush Fires in Australia Since 1851. Romsey Australia. Retrieved 29 de October. Recuperado de http://en.wikipedia.org/wiki/Bushfires_in_Australia. (2010).

[39] Torres, C. "Memorias de capacitación en incendios forestales: Contrato CPS No. 072 de 1999. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA), 2001. p.27.

[40] Wilches G. "La restauración de San Cayetano" Gobernación de Cundinamarca, Universidad de los Andes. Colombia, 2000. p.51.