

III. ESTIMACIÓN SIMPLIFICADA DE LA AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES

Edgar Arturo Muñoz, Lucrecia Torres, Oscar Zepeda, Erandi Andrade y Liliana López

RESUMEN

Esta metodología presenta un modelo simple para la evaluación de la amenaza por incendios forestales. Se describen las características generales del fenómeno, definiendo conceptos básicos y las variables con las que se determinará un índice de peligro por incendios forestales.

El índice de peligro medirá la condición latente existente en un lugar para la generación de incendios forestales. En términos prácticos este indicador no representa una probabilidad de ocurrencia, valorada por una intensidad y un periodo de retorno, sino una mayor o menor posibilidad de incendios forestales.

El desarrollo del modelo original implica el estudio puntual de tres componentes: combustibles forestales, condiciones meteorológicas y el entorno socioeconómico. Para la obtención del índice, se realiza un análisis espacial, se integran estas componentes y se obtienen mapas de amenaza para un periodo dado y una zona de interés específica.

En esta metodología se establecen los factores que determinan la posibilidad de inicio de un incendio forestal, será en otras metodologías posteriores donde se modele su propagación y se establezcan los pasos para identificar el grado del riesgo de desastre por este fenómeno.

OBJETIVOS

Estimar de manera simplificada el nivel de amenaza por incendios forestales, a través de una metodología que pueda ser aplicada fácilmente por las unidades estatales y municipales de protección civil.

Determinar y calcular las principales variables que caracterizan los incendios forestales por medio de procedimientos sencillos: trabajo en campo, recopilación de información meteorológica e integración de datos obtenidos a partir de cartografía e información geoestadística.

3.1 INTRODUCCIÓN

Para entender los incendios forestales es necesario describir algunos términos y conceptos básicos. Asimismo, se deberán establecer las variables que determinan los modelos físico-matemáticos, y que caracterizan el fenómeno así como la evaluación de su impacto.

3.1.1 Definiciones y conceptos básicos (CENAPRED)

3.1.1.1 Conceptos básicos

A continuación se presentan conceptos básicos que definen este fenómeno perturbador:

- *Fuego*: Proceso de oxidación de un material combustible, con desprendimiento de calor, luz y gases. El fuego es la manifestación visual de la combustión del material que está siendo consumido.
- *Cuerpo*: Toda materia vegetal, viva o muerta, comúnmente llamada combustible forestal.
- *Combustible*: Cualquier sustancia o material ubicado en el campo, susceptible de encenderse y que reacciona con el oxígeno de forma violenta, produciendo calor, llamas y gases.
- *Combustión*: Reacción química que surge de la combinación de combustible, oxígeno y una temperatura de ignición. Esta reacción modifica la composición del material, consume el oxígeno y genera altas temperaturas que encienden nuevos materiales. El producto de esas reacciones puede incluir monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), agua (H₂O) y cenizas.
- *Ignición*: Es el inicio de la combustión de un material.

3.1.1.2 Tipos de incendios

Están determinados principalmente por el tipo de combustibles y se establecen tres clases:

- *Incendio de copa, de corona o aéreo*. Afecta gravemente los ecosistemas, pues destruye la vegetación y daña la biodiversidad.
- *Incendio superficial*. Afecta principalmente pastizales y vegetación herbácea que se encuentra entre la superficie terrestre y hasta 1.5 metros de altura. Deteriora gravemente la regeneración natural y la reforestación. Este tipo de incendios es el más frecuente en México.
- *Incendio subterráneo*. Se propaga bajo la superficie del terreno; afecta las raíces y la materia orgánica acumulada en grandes afloramientos de roca. Se caracteriza por no generar llamas, provocando un poco de humo.

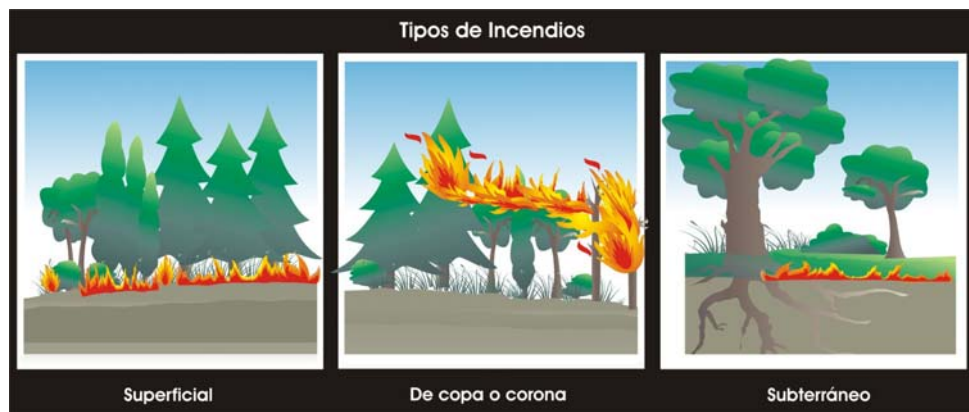


Figura 3.1 Tipos de incendios forestales

3.1.1.3 Etapas de los incendios forestales

Un incendio forestal se produce cuando el fuego tiene un efecto perturbador sobre combustibles vegetales naturales, cuyo evento no había sido previsto.

Para que se genere un incendio es necesario que existan y coincidan tres elementos, como se observa en la figura 3.2.

- Calor, que puede propagarse por conducción, convección y radiación.
- Oxígeno.
- Combustibles, de tipo vegetal, químico o de cualquier otro.

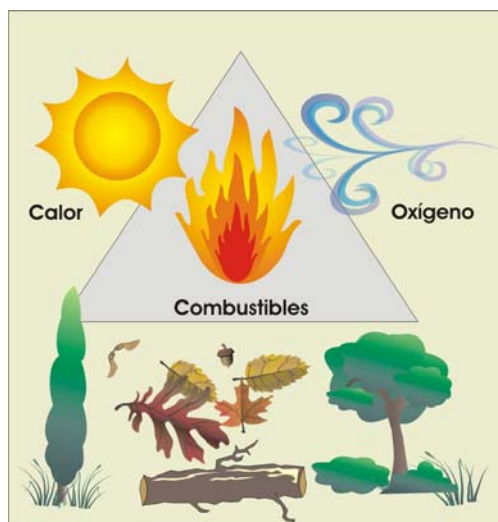


Figura 3.2 Triángulo del fuego

Una vez que se ha generado una ignición provocando un incendio forestal, su propagación depende de las características del sitio, tales como tipo de material combustible, pendiente del terreno, velocidad y dirección del viento, temperatura y precipitación.

Durante un incendio forestal ocurren diferentes procesos de *combustión* que para su estudio se dividen en tres etapas:

- *Pre calentamiento*. Inicia cuando el material combustible se localiza cerca de una fuente de calor; ésta puede ser una llama, ceniza o la propia incidencia del sol. El calor generado consume la humedad del material combustible. En esta etapa se generan temperaturas de entre 100 y 200 °C, además de la presencia de algunos hidrocarburos gaseosos sin presencia de llamas.
- *Combustión de gases*. Inicia cuando la temperatura oscila entre 300 y 400 °C, se caracteriza por la presencia de llamas sobre el material combustible, desprendiendo gases, así como humo, conformado por anhídrido carbónico y vapor de agua. La temperatura seguirá elevándose hasta alcanzar un rango entre los 600 y 1,000 °C.
- *Combustión de carbón*. Caracterizada por la quema de madera a una alta intensidad calorífica con poco desprendimiento de humo, se producen cenizas y minerales que no arden.

3.1.1.4 El peligro y riesgo por incendios forestales

Algunos autores han presentado distintas definiciones sobre peligro y riesgo por incendios forestales, a continuación se presentan algunas.

Peligro

- Cualquier situación, proceso o condición que puede causar fuego o proporcionar una fuente de combustible lista para aumentar la extensión o la intensidad del fuego y que plantea una amenaza a la vida o al ambiente. (National Fire Protection Association, NFPA, 1997).
- Es la probabilidad de ocurrencia de un incendio con cierta intensidad, que ocurre en un periodo dado y que está relacionado con las características del entorno fisiográfico y socioeconómico de una región específica.

Sistema expuesto

- Considerado como el área de vegetación, cultivos, infraestructura, el número de personas o especies animales que se encuentren en un sitio específico y que son factibles de sufrir daño.

Vulnerabilidad

- Se define como la susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un incendio forestal, es decir el grado de pérdidas esperadas.

Riesgo

- Es la pérdida probable debida a un incendio forestal y que puede ser calculada por el valor directo o indirecto de los recursos forestales, agrícolas y ganaderos entre otros, que se pierden debido a la intensidad del fuego.

En el análisis de peligro y riesgo por incendios forestales, se puede considerar a la vegetación como una variable implícita en la vulnerabilidad y en la determinación del nivel de peligro. Por ejemplo, una mayor densidad de vegetación aumenta la posibilidad de afectación del sistema expuesto (vulnerabilidad) y adicionalmente el nivel de peligro se determina entre otras cosas por la carga de material combustible, de ahí que la vegetación cumpla un doble rol en el estudio del fenómeno.

Para determinar la temporalidad de los incendios forestales, es necesario contar no sólo con registros meteorológicos y de incendios recientes, sino también los patrones históricos presentes antes de la influencia del manejo de los ecosistemas y de otras actividades humanas (Villers, 2004). De acuerdo con las estadísticas se ha determinado que el periodo de ocurrencia de incendios forestales en México comienza en enero y termina en agosto.

3.2 ESTUDIO Y MONITOREO DE INCENDIOS FORESTALES

En México existen instituciones que llevan a cabo estudios e investigaciones de peligro y riesgo sobre incendios forestales, actividades de monitoreo y alertamiento, así como la atención y combate de este fenómeno. En la tabla 3.1, se presentan las actividades sustantivas que desempeña cada institución con relación a los incendios forestales.

Tabla 3.1 Instituciones y actividades sustantivas

Institución	Instancia	Actividades
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)	Desarrolla, favorece e impulsa las actividades productivas, de conservación y restauración en materia forestal, así como la participación en la formulación de planes y programas, y en la aplicación de la política de desarrollo forestal sustentable.
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos	Diseñar, establecer, conducir y apoyar la aplicación de políticas en materia forestal, para el aprovechamiento sustentable, conservación, protección y restauración de los ecosistemas forestales mediante el manejo integral de cuencas que asegure el desarrollo de la sociedad, valorizando los servicios ambientales.
	Comisión Nacional de la Biodiversidad (CONABIO)	Desarrolla el programa de puntos de calor mediante técnicas de percepción remota.
	Servicio Meteorológico Nacional (SMN)	Detecta y da seguimiento a los incendios forestales en México a través del satélite meteorológico Goes-12.
Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGARPA)	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)	Lleva a cabo actividades de investigación y desarrollo aplicado que generan conocimiento de las características de ecosistemas forestales y de factores ambientales y antropogénicos que los impactan.

Un elemento importante en el estudio y evaluación de los incendios tiene que ver con el uso de técnicas modernas para el monitoreo y seguimiento de este fenómeno, principalmente la percepción remota. En la actualidad se han desarrollado algoritmos que permiten generar sistemas automatizados para la obtención de índices de peligro, puntos de calor, y seguimiento del fenómeno. A continuación se presentan algunos de éstos.

3.2.1 Sistema de información de incendios forestales (SEMARNAT)

Este sistema determina el índice meteorológico de peligro por incendios forestales (IMP) y puede ser consultado a través de la página <http://fms.nofc.cfs.nrcan.gc.ca/mexico/index.html>, es elaborado por el Sistema Canadiense de Evaluación del Peligro de Incendio Forestal, y proporciona una evaluación del potencial relativo del incendio basado en cinco variables: índice de humedad del combustible, índice de humedad del humus, índice de sequía, índice de propagación, e índice de consumo. En la página web mencionada, se pueden consultar mapas temáticos diarios sobre las siguientes variables: temperatura, velocidad del viento, precipitación, velocidad de propagación, tipo de incendio, entre otras. También se pueden consultar mapas históricos, disponibles desde 1999, con el fin de establecer tendencias o llevar a cabo análisis estadísticos.

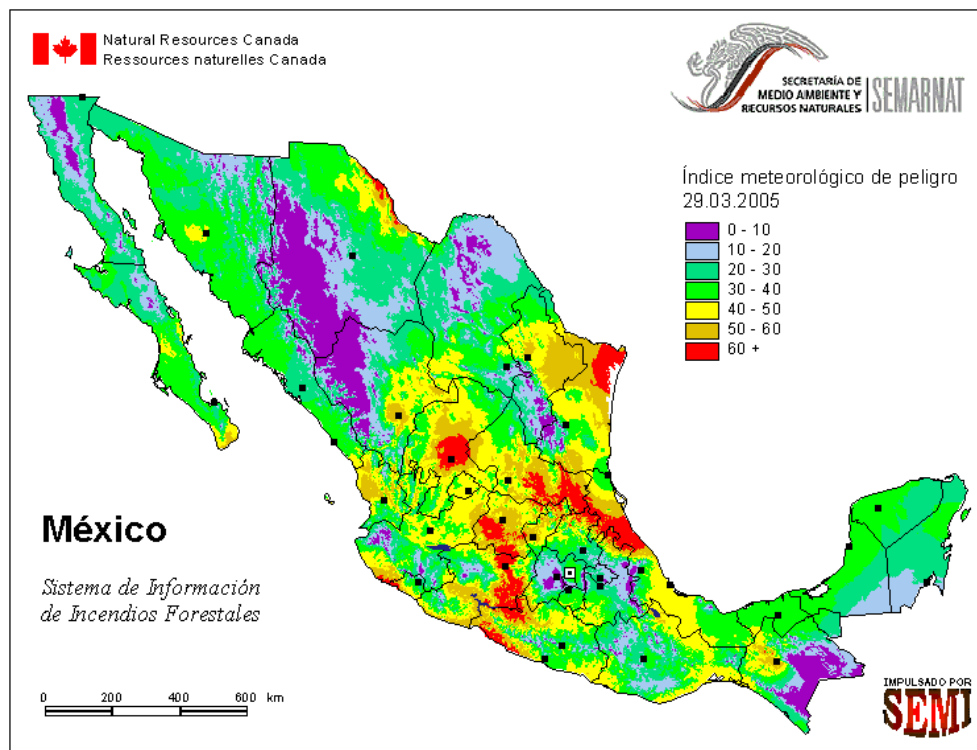


Figura 3.3 Mapa de índice meteorológico de peligro a nivel nacional (SEMARNAT, 2005)

3.2.2 Programa para la detección de puntos de calor (CONABIO)

Los daños provocados por los incendios forestales de 1998 tuvieron grandes repercusiones en las zonas naturales de México. En respuesta a esta problemática, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), realizó el estudio denominado "Los incendios en México un análisis de su amenaza a la biodiversidad", derivado de este estudio, se inició un proyecto que monitorea áreas que presentan altos niveles de calor con el fin de detectar zonas que presentan incendios forestales, empleando la técnica denominada puntos de calor.

Un punto de calor es cualquier fuente que puede ser detectada por un sensor (satélite) y que oscila entre los 25 °C y 32 °C. Los puntos de calor pueden ser provocados por incendios, quemas agrícolas, suelos calentados por el sol, grandes chimeneas, llamas de gas en pozos petroleros, volcanes activos, etc. (CONABIO).

El sistema desarrolla diferentes productos como: mapas diarios de puntos de calor, índice de propagación de incendios, índice de vegetación e información tabulada para cada uno de los puntos de calor detectados.

Desde 1999 y hasta la fecha el programa se ha mantenido activo y puede ser consultado en la página http://conabio.gob.mx/conocimientos/puntos_calor/doctos/puntos_calor.html.

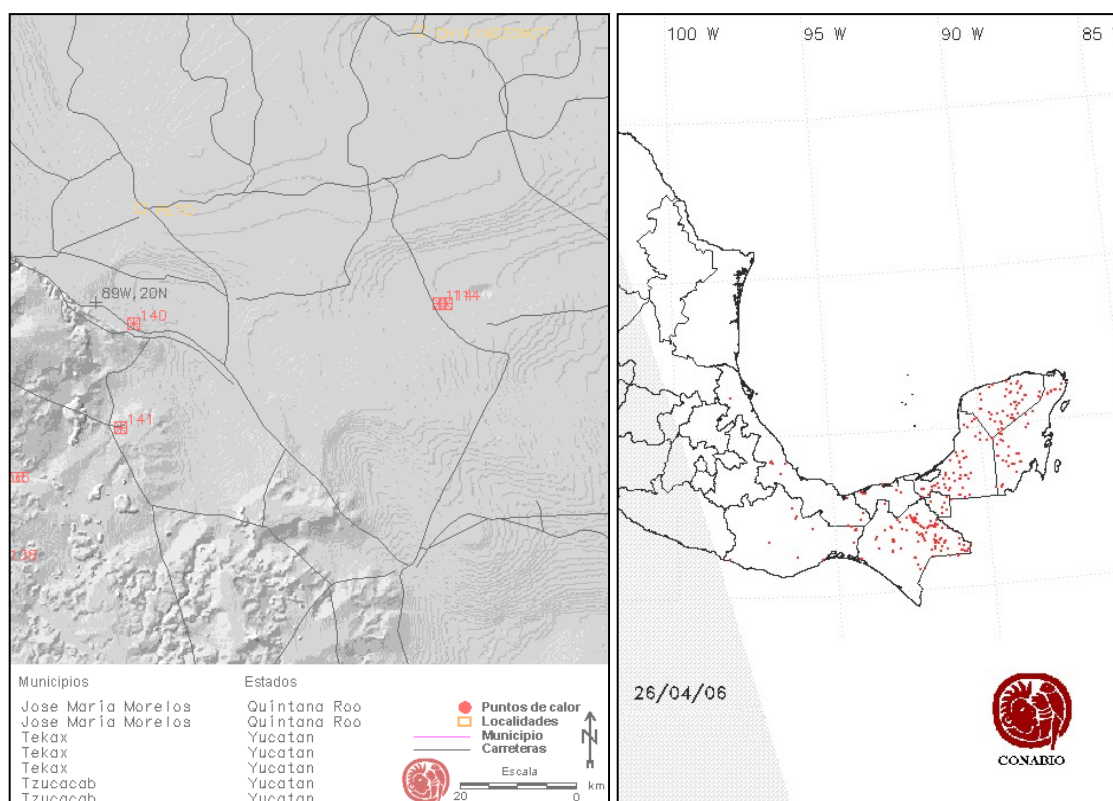


Figura 3.4 Mapas de puntos de calor en el territorio nacional (CONABIO, 2006)

3.2.3 Sistema para la detección y seguimiento de incendios forestales (SMN)

El Servicio Meteorológico Nacional incursionó desde 1998 en la detección y seguimiento de los incendios forestales a través de imágenes del satélite GOES-12. El sistema puede ser consultado en la página <http://smn.cna.gob.mx/>, en el se presentan animaciones de imágenes Goes-12 visibles e infrarrojas, información temática y los incendios detectados en las últimas horas.

3.3 VARIABLES QUE DETERMINAN LA AMENAZA DE UN INCENDIO FORESTAL

La información obtenida de los sistemas anteriormente mencionados deberá ser utilizada por parte de los estados y municipios con la finalidad de conocer el nivel de peligro que existe en una determinada zona. Sin embargo se debe considerar que la escala en la que está representada la información, muchas veces no permite establecer de manera exacta el nivel de peligro para áreas reducidas como municipios o localidades.

Se recomienda a quien elabore los estudios sobre incendios forestales, qué adicionalmente integre información de tipo estadístico sobre las áreas afectadas, la evaluación de los daños y número de eventos, a través de una recopilación histórica sobre los principales incendios forestales registrados en la zona de estudio. Resultará indispensable contar con datos de las estaciones meteorológicas cercanas.

Un primer nivel de análisis de la amenaza se logra con la integración de datos generales, para tal fin se propone que personal de protección civil elabore un cuestionario como el que se presenta en la tabla 3.2. En el se pide determinar una serie de variables que definen la conformación fisiográfica y socioeconómica del área de interés, ya que a través del cuestionario, se puede tener una primera aproximación a las causas que influyen en la generación de los incendios forestales.

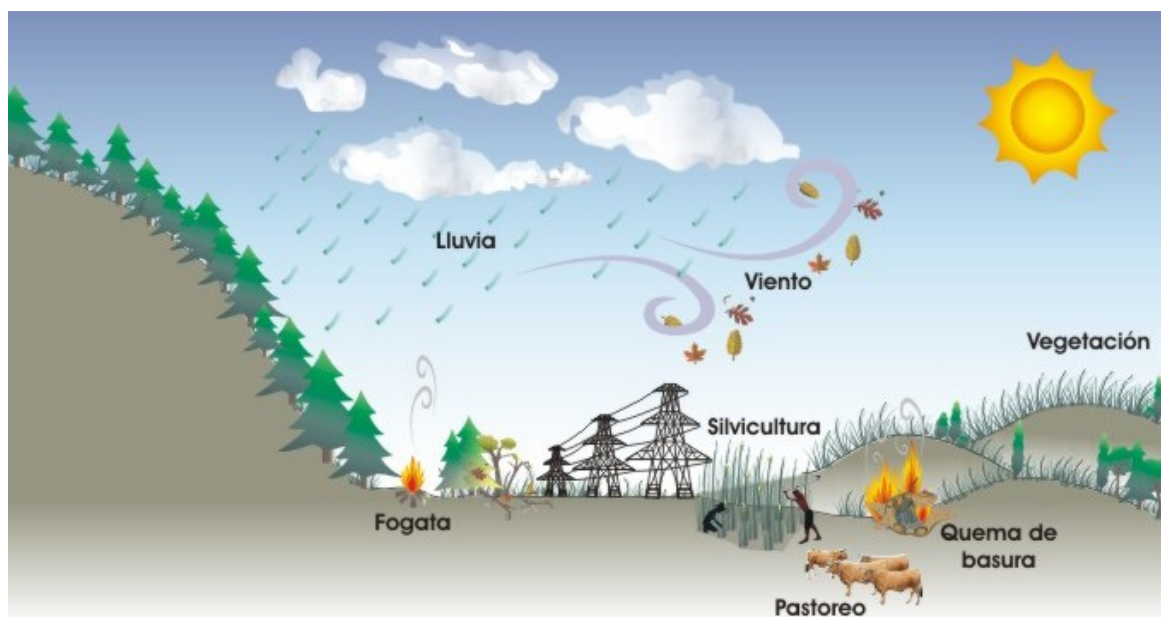


Figura 3.5 Variables que intervienen en la determinación de la amenaza por incendios forestales

El segundo nivel de análisis será el modelo que presentan estas metodologías, en el cual las variables que requieren de análisis y cuantificación son:

Gravedad específica: Es la relación que guarda la densidad de una sustancia con respecto a la del agua. La gravedad específica de cualquier sustancia es numéricamente igual al valor de su densidad expresada en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3). Es un número absoluto, adimensional y se representa con las letras **Gs**.

Tabla 3.2 Variables que intervienen en los incendios forestales

Aspectos Meteorológicos							
Humedad relativa (%)	Porcentaje				Comentarios u Observaciones		
Velocidad del viento km/h	0 - 26	27 - 65	66 - 104	> 104	Comentarios u Observaciones		
Dirección del viento	N	S	E	W	NE	NW	SE
Presencia de cambios bruscos de viento	Si		No		Comentarios u Observaciones		
Tipo de clima *	Af	Am	Aw	BS	BW	Cf	Comentarios u Observaciones
	Cw	Cs	Df	Dw	ET	EF	
Combustible							
Vegetación de la zona	Pastizal	Selva	Bosque	Matorral	Agricultura	Comentarios u Observaciones	
La vegetación se encuentra	Seca	Húmeda	Comentarios u Observaciones				
% de humedad del material combustible (forestal)	0 - 25	25 - 50	50 - 75	75 - 100	Comentarios u Observaciones		
Cantidad de material forestal**	< 5 mm diámetro			5 - 25 mm diámetro		25-75 mm diámetro	>75 mm diámetro
	Pastos	Hojarascas	Acículas	Ramas	Tallos	Arbustos	Árboles c/ramas
Presencia de Combustibles en el suelo	Veg. seca	Papel/cartón	Combustible	Comentarios u Observaciones			
Terreno							
Aspecto del terreno	Plano	Ondulado	Escarpado	Comentarios u Observaciones			
Pendiente del terreno (Grados)	0-25	25-50	50-75	75-90	Comentarios u Observaciones		
Pendiente del terreno (%)	0-25	25-50	50-75	75-100	Comentarios u Observaciones		
Existen zonas cercanas con mayor altitud	Si - No	Colinas	Cerros	Montañas	Comentarios u Observaciones		
Ubicado en ladera	Si - No	Orientación: N	S	E	O	Comentarios u Observaciones	
Factores socioeconómicos							
Pastoreo		Silvicultura		Quema Basura/agrícola		Turismo	
Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
Desperdicios de aserraderos		Lineas eléctricas		Fogatas		Comentarios u Observaciones	
Si	No	Si	No	Si	No		

* Climas:

A

Af (Tropical con lluvias todo el año)

Am (Monzónico)

Aw (Sabana)

B

BS (Seco estepario)

BW (Seco desértico)

C

Cf (Templado con lluvias todo el año)

Cw (Templado con lluvias en verano)

Cs (Templado con lluvias en invierno)

D

Df (Frio con lluvias todo el año)

Dw (Frio con lluvias en verano)

El mes más frío tiene una temperatura superior a los 18 °C

El mes más seco tiene precipitación mayor a 600 mm de lluvia

En el mes más seco caen menos de 600 mm de lluvia

Por lo menos hay un mes en el que caen menos de 600 mm de lluvia

La evaporación excede las precipitaciones. Siempre hay déficit hídrico

Clima árido continental

Clima árido con precipitaciones inferiores a 400 mm

Temperatura media del mes más frío es menor de 18 °C y superior a -3 °C y al menos un mes la temperatura media es superior a 10 °C

Las precipitaciones del mes más seco son superiores a 300 mm

El mes más húmedo del verano es diez veces superior al mes más seco del invierno

La precipitación del mes más seco del verano es inferior a 300 mm y la del mes más lluvioso del invierno, tres veces superior

La temperatura media del mes más frío es inferior a -3 °C y la del mes más cálido superior a 10 °C

No hay estación seca

Con una estación seca en invierno

** Cantidad de material forestal:

La cantidad de material forestal se podrá calcular a partir de una visita a campo, con un muestreo de la zona. En un área determinada se deberán recoger los materiales encontrados, como ramas, hojas, troncos. El material recogido se deberá expresar en kg/m². También se puede expresar en porcentajes, en donde todo el material recogido es el 100% y a partir de ahí se calcula el porcentaje de cada tipo de material encontrado.

Pendiente: Indica la relación que existe entre una distancia vertical y otra horizontal; también llamada tangente, y se expresa en porcentaje o en grados. Se puede medir en campo con instrumentos como el clinómetro o el clisímetro, y de manera aproximada si se conoce la diferencia de alturas entre dos puntos del terreno.

Obtención de la pendiente en campo

Material: tabla de madera, transportador, lápices, colores, clavos, plomada e hilo.

Construcción de herramienta: se requiere colocar el transportador sobre la tabla donde se trazará su contorno, en el lugar justo donde el transportador indique 90° , se indicará el cero dibujando una marca en este punto y de la misma forma a cada 10° , hasta cubrir todo el contorno delineado, de esta forma quedarán marcas de 0° a 90° en ambos sentidos, como se muestra en la figura 3.6.

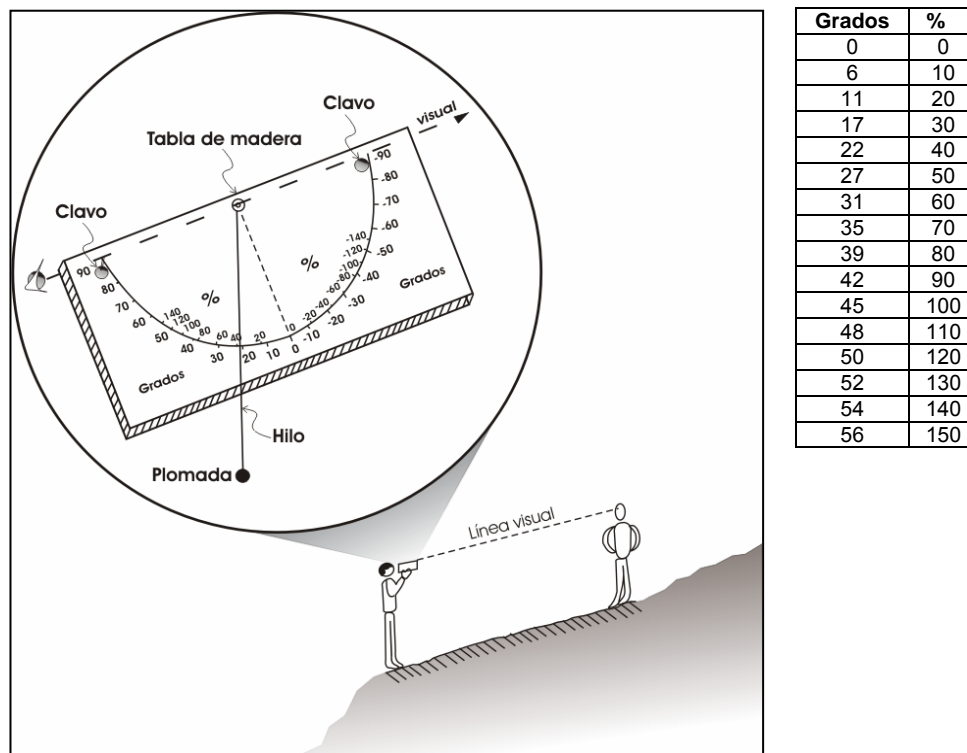


Figura 3.6 *Determinación de la pendiente en campo y su equivalencia entre grados y porcentaje de pendiente*

En el origen del transportador se debe colgar un hilo resistente con algún objeto pequeño, lo suficientemente pesado para que pueda servir como plomada. En los 90° , de ambos lados de la escala, se pondrán dos clavos.

Medición: Se colocarán dos personas con una distancia de separación de 20 m sobre el terreno, se recomienda que las dos personas tengan una estatura similar. Posteriormente quien realice la medición, alineará sobre una línea visual, los dos clavos con los ojos de la persona ubicada a los 20 m, se dejará libre la plomada, una vez estabilizada se sujetará. El hilo cruzará el

contorno delineado, indicando la medida de la pendiente. En caso de que la persona que ayudará como referencia, sea más alta y los ojos de quien tomará la medida se encuentren a la altura de sus hombros, entonces la alineación será con los clavos y los hombros.

Orientación de la pendiente (*op*): Se define como la dirección que sigue la línea de un punto de mayor altitud a uno de menor y se puede determinar a través de un mapa topográfico, trazando una línea desde el punto más alto hasta el punto más bajo indicado por las curvas de nivel, ubicando la dirección de esta línea con respecto a los puntos cardinales del mapa; como se puede observar en la figura 3.7. La dirección de la pendiente se obtiene al seguir la orientación que tienen las curvas de nivel, desde la curva más baja hasta la más alta.

Temperatura media máxima mensual (*tmm*): Es el promedio de las temperaturas máximas que se presentan en un mes, para un periodo está determinado por los años en que se tengan registros meteorológicos. Se expresa en grados centígrados.

Precipitación con distribución media normal mensual (*pnm*): Es el valor promedio (media) de una serie de datos sobre la precipitación que se presenta durante un mes y el posterior cálculo de la desviación estándar con respecto a la media. Se expresa en milímetros.

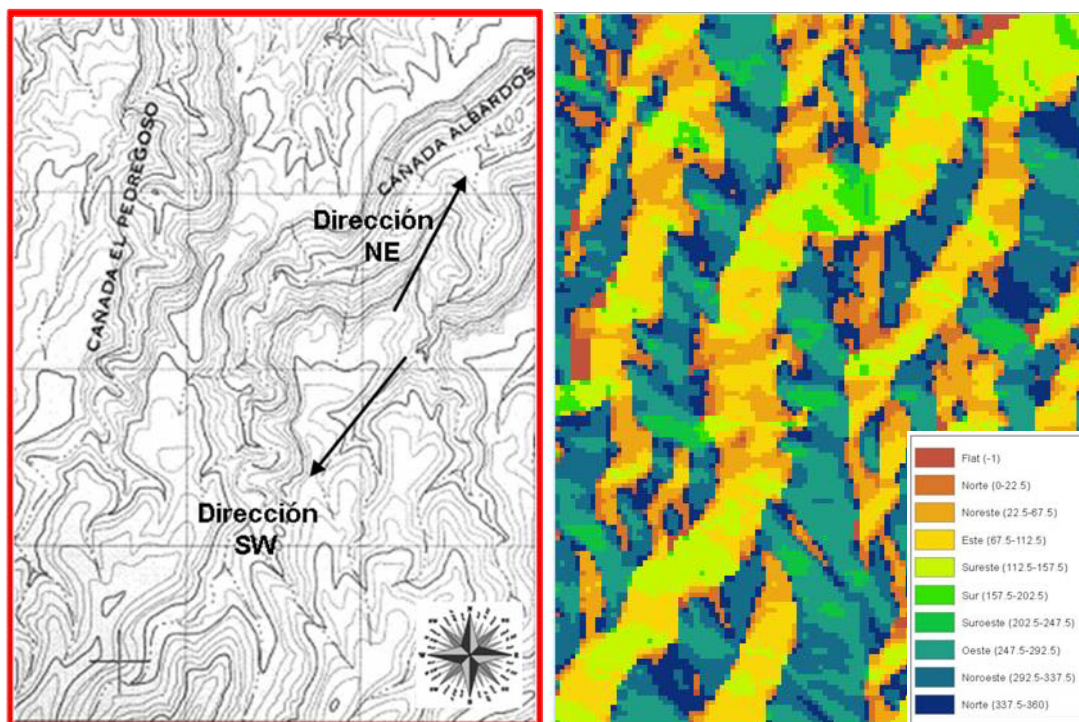


Figura 3.7 Determinación de la orientación de la pendiente

Aprovechamiento forestal: Son las actividades forestales que se desarrollan en una región; no sólo la producción de madera comercial, sino que consideran la importancia de los bosques para la conservación de la diversidad biológica y los productos no madereros, valores comerciales y servicios ambientales que éstos proporcionan. (Dykstra, 1996).

3.4 MODELOS EXISTENTES PARA LA EVALUACIÓN DEL PELIGRO

La ocurrencia de los incendios forestales no puede ser definida de una manera sencilla, sin embargo, cada vez existen más métodos y estudios que relacionan de diversas maneras las variables que intervienen en este fenómeno. Algunos modelos se apoyan en el uso de nuevas tecnologías para facilitar su análisis y evaluación, lo que requiere un mayor nivel de especialización por parte de los técnicos encargados de su estudio. En su mayoría los modelos están basados en el tipo y estado del combustible, en aspectos meteorológicos y principalmente en el comportamiento de agentes causantes, ya que la influencia humana en el origen de los incendios forestales es del 90%.

Existe una gran cantidad de bibliografía nacional e internacional sobre incendios forestales, que abarca diversos temas como el comportamiento de la vegetación ante el fuego, modelos de predicción y de evaluación, planes de prevención y determinación de índices entre otros. Se puede establecer que tanto en estudios realizados en otros países como también en México, existe una incertidumbre en la evaluación del peligro, debido a que el factor humano (actividades y presencia) influye en las condiciones que originan y propagan el fenómeno.

De forma general hay dos tipos de modelos para el estudio de los incendios forestales; los deterministas, los cuales suponen que la evolución de los incendios forestales está determinada por una serie de variables iniciales, y los estadísticos, que a través de la inferencia de datos numéricos, establecen relaciones entre los factores que intervienen y sus causas, con lo cual se pueden elaborar mapas de peligro.

Algunos de los modelos de predicción de incendios presentan cierta complejidad matemática en su análisis, tal es el caso de los modelos de regresión logarítmica (modelo Logit) y el de red neuronal artificial. Estos tipos de modelos, en algunos casos, son utilizados para determinar la probabilidad de incendio por la presencia y actividad de agentes de ignición, a través de la relación de variables temporales, meteorológicas y geográficas, con lo cual es posible obtener resultados que describen la distribución y variación del peligro en una zona de estudio, con una precisión de aproximadamente 79% para la regresión logarítmica y del 81% para las redes neuronales (tabla 3.3).

De los modelos analizados y de algunos estudios de caso consultados, se seleccionó uno simplificado y flexible que se adapta a las condiciones del país, ya que las variables que intervienen en su determinación se pueden calcular de forma sencilla y rápida. Además de considerar que las unidades de protección civil en muchas ocasiones no cuentan con equipo para realizar procesos complejos.

Tabla 3.3 Características de modelos para incendios forestales

No.	TIPO	MODELOS	VARIABLES	ESTIMACIÓN	FUENTE	CONSIDERACIONES	GRADO CONFIABILIDAD (según autor)
1	Combustible y Dispersión	Simulación del comportamiento del fuego espacial para la evaluación del peligro de incendios forestales en la Sierra Madre de México	Tipo, carga y humedad de los combustibles	Muestreo en campo y equipo especial para la humedad	Villers, R. L., López, B. J., (2004) "Incendios Forestales en México. Métodos de evaluación", UNAM, Ciencias de la Atmósfera	ArcMacro Language de ArcInfo, 1996. Es necesario realizar la simulación. El texto no hace referencia a ningún cálculo específico	No presentan datos
			Fuerza y dirección del viento	Apoyo de estación meteorológica o anemómetro			
			Pendientes	Por medio de un modelo de elevación, interpolación co_Kriging, carta topográfica, estudios en campo			
2	Peligro	Desarrollo de un modelo espacial para la evaluación del peligro de incendios forestales en la Sierra Madre de México	Tiempo de duración de la simulación	Cronómetro	Revista "Investigaciones Geográficas", Boletín del Instituto de Geografía, no.56, 2005	Las fuentes de datos para construir el modelo son de rápido acceso, proporciona una aproximación de áreas susceptibles a incendios forestales	No presentan datos
			Coordenada de punto de inicio	Ayuda de equipo GPS			
			Carga de combustible forestales	Muestreo en campo, técnica de intersecciones planares			
3	Metodologías Prácticas	Incendios Forestales - Dante Arturo Rodríguez Trejo	Componente meteorológico integrando la temperatura media máxima mensual, precipitación total mensual	Datos de estaciones climatológicas (CNA), estimaciones en función de análisis de correlación con los datos de la estación más cercana	Rodríguez T. D. (1996). "Incendios Forestales", Universidad Autónoma de Chapingo. Mundi- Prensa, México	Expone métodos sencillos para la determinación de ciertas variables	No presentan datos
			Componente de causa; mediante la evaluación de elementos socioeconómicos, rasgos geográficos, actividades humanas	Áreas sometidas a manejo forestal, distancia a vías de acceso y a poblados			
			Humedad del combustible, tiempo de retardo, estado y peso, tamaño, forma, densidad	Horno o estufa, báscula			
4	Peligro Probabilístico	Modelo logit Modelo de red neuronal backpropagation	Pendiente	Medición en campo y cálculos matemáticos, clinómetro o clinómetro	Vega, G. C. M. Woodard P., J. Titus S. (1999), "Dos modelos para la predicción de incendios forestales en Whitecourt Forest, Canadá" Investigación agraria, Sistemas de recursos forestales Vol. 8 (23 pp.)	Implica la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales por causas humanas	79% 81%
			Temperatura y humedad relativa	Probeta, termómetro			
			Velocidad y dirección del viento	Anemómetro, brújula			
5	Peligro Probabilístico	Método Regresión Logística, comparación con método de Red Neuronal	Variables Temporales (humedad relativa, velocidad de viento y mes del año), Variables Geográficas (distancia a carreteras, a ciudades, áreas de acampar, combustibles, elevación, propiedad, valor comercial de la masa, tipo de combustible)	$\ln(P/(1-P)) = \beta_0 + \sum \beta_j X_{ij}$	Universidad de Alcalá, (1997-98) Incendios Forestales, Serie Geográfica no.7, 'capítulo "Evaluación de la estimación de grandes incendios forestales en la Cuenca Mediterránea Europea por redes neurales y regresión logística	La actividad de la ocurrencia de incendios es del 76%, no es muy alta pero proporciona al modelo variables explicativas. Las variables son fáciles de obtener y la ecuación es muy sencilla, aunque se requieren varias extensiones de terreno para el muestreo	69.23%
			Superficie provincial bajo climas Bsh o Csa (con ecuación simple)	Mapas, o medición en campo			
			Diferencia de población en actividades del sector terciario entre 1960 y 1990	Estadísticas (INEGI),			
6	Índice de Riesgo	Determinación de un Índice de Riesgo	Distancia a carreteras	Mapas, o medición en campo	Alanis M. H. Orozco V. F. (2000), "Índice de riesgo de incendios forestales, en la región central del macizo boscoso de Chihuahua", INIFA P-SAGAR, Cd. Madera, Chihuahua	El programa IDRISI es utilizado para calcular las condiciones ambientales	60%
			% de población activa en 1990	Estadísticas (INEGI),			
			Superficie agrícola en 1990	Mapas, o medición en campo			
			Análisis de estadísticas de incendios	Datos estadísticos CONAFOR			
			Medición de cargas de combustibles	Metodología de Brown			
			Análisis de tipos de vegetación	Ayuda de cartas forestales y topográficas (SEMARNA T, INEGI)			
			Condiciones ambientales	Base de datos (SMN, CNA)			

3.5 DESCRIPCIÓN DEL MODELO SELECCIONADO

El modelo seleccionado es de tipo espacial (Muñoz R.C., *et al*, 2005), y considera los siguientes criterios:

1. *El modelo establece el nivel de peligro pre-incendio con una ecuación matemática simple.*
2. *Las variables que intervienen en el cálculo del modelo son determinables a través de trabajo en campo, datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y por medio de información geoestadística existente en el INEGI.*
3. *El resultado que arroja el modelo es un índice de peligro por incendios forestales (IPIF), determinado por un análisis multicriterio de las variables, con el que se establece una escala que normaliza sus valores.*
4. *Las variables que intervienen en el modelo son, material combustible, caracterización meteorológica de la zona y parámetros socioeconómicos que establecen la actividad humana en el área de estudio.*
5. *En el manejo de las variables que intervienen en el modelo, debe considerarse su temporalidad, ya que las componentes de tipo meteorológico y de carga de combustible, varían por mes y por época del año, lo que permite obtener un IPIF mensual o temporal, según se considere en el proyecto.*

En la figura 3.8 se presenta el diagrama de flujo del modelo que incorpora las actividades y procedimientos para la obtención del *IPIF*.

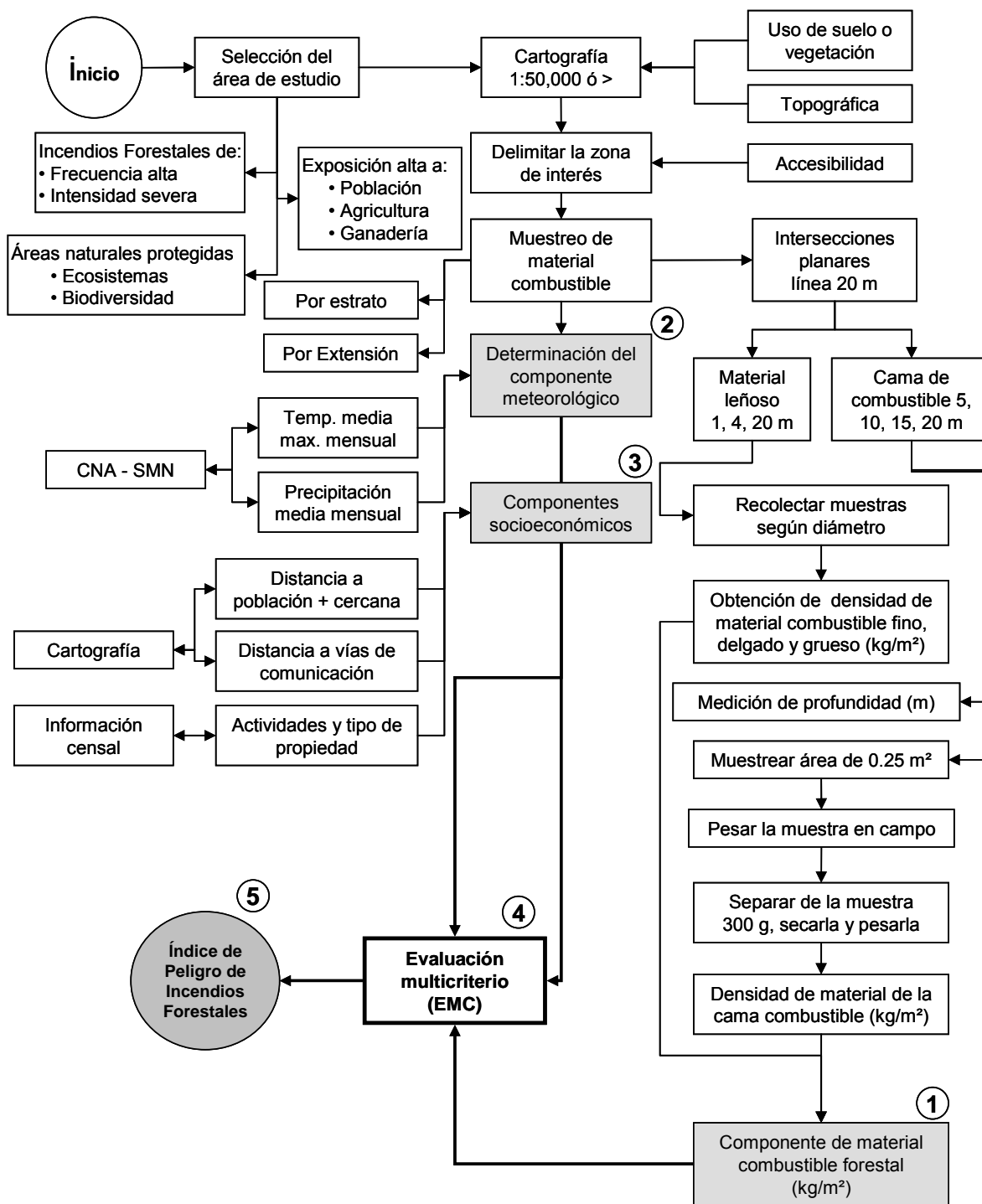


Figura 3.8 Diagrama de flujo de la conceptualización y descripción genérica del modelo

3.5.1 Determinación del área de estudio

El primer paso de la metodología consistirá en establecer la zona donde se llevará a cabo el estudio, se proponen los siguientes criterios.

- Zonas con incendios forestales frecuentes o con una intensidad severa.
- Lugares donde el valor sistema expuesto es alto, como pudiera ser la población.
- Regiones con actividades agrícolas, silvícolas, forestales y ganaderas.
- Áreas naturales protegidas donde exista exposición de los ecosistemas y la biodiversidad.

Para delimitar la extensión del área de estudio se propone utilizar las cartas *topográfica* y de *uso de suelo y vegetación* del INEGI, con escala de 1:50,000. Sobre ambas cartas se dibujará un recuadro en el cual esté contenida la zona de estudio, tal como se muestra en la figura 3.9. Posteriormente, se calculará el área de la zona por medio de la cuadrícula de la carta, donde cada una de las celdas representa una superficie de 1 km².

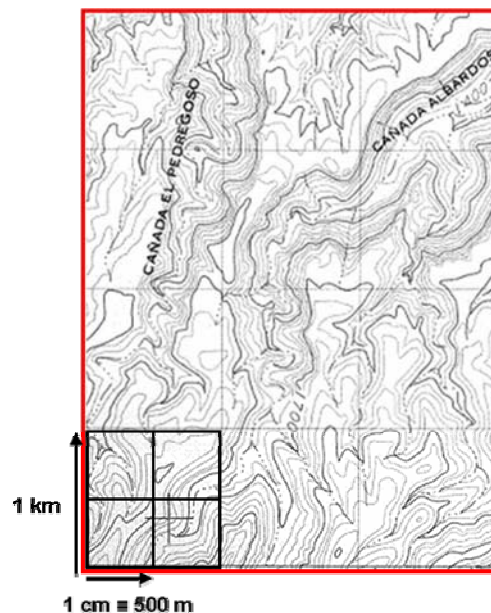
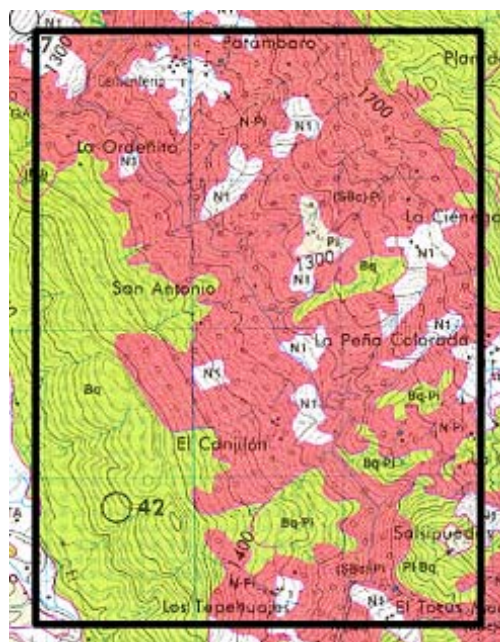


Figura 3.9 Zona de estudio establecida en un mapa topográfico, escala 1:50,000

Con la carta de uso de suelo y vegetación se determinarán los diferentes tipos de vegetación que existen en la zona de estudio, como se muestra en la figura 3.10, estas superficies de igual tipo de vegetación se denominarán *estratos*, para cada uno se estimará su área aproximada. Se puede presentar el área en km² o en hectáreas (ha), en la tabla 3.4 se presenta una tabla de equivalencia entre unidades de área.

Tabla 3.4 Equivalencia entre unidades de área

1 ha	10,000 m ²
1 km ²	1,000,000 m ²
1 ha	0.01 km ²
1 km ²	100 ha



Selva baja caducifolia	SBc
Pastizal inducido	Pi
Bosque de encino	Bq
Agricultura nómada	N1

Figura 3.10 Vegetación de la zona de estudio en un mapa de uso de suelo y vegetación (INEGI)

3.5.2 Determinación del componente de combustibles forestales (C_{CF})

Este componente se encuentra determinado por tres parámetros: carga de combustibles, compuesta por ligeros (cl) y pesados (cp), cama de combustibles (cc) y su profundidad, también llamado profundidad del mantillo (pcc).

La determinación de estos parámetros deberá realizarse en el área de estudio por medio de un muestreo, aplicando la técnica de intersecciones planares (Van Wagner, 1982), como se explica a continuación.

1. Se deberá ubicar una línea de 20 m de longitud con una dirección definida aleatoriamente en la zona de estudio.
2. Para cada estrato se deberá llevar a cabo un muestreo.
3. Para superficies en donde un estrato sea mayor a una hectárea, deberán hacerse tantos muestreos como número de hectáreas se tengan.
4. Debido a que la carga de combustible va cambiando a lo largo del año, para el análisis de estas variables es necesario que se realicen muestreos por cada época del año, o si es posible cada mes, dependiendo de la época del año en que se realice el estudio.

En campo, se colocan dos estacas a 20 m, y se tiende un hilo cáñamo a una altura entre 30 y 50 cm, dependiendo de las condiciones del material forestal muerto. Posteriormente, sobre la línea de muestreo marcada por la cuerda, se marcarán las distancias a 1 m, 4 m, 5 m, 10 m, 15 m y 20 m, como se muestra en la figura 3.11.

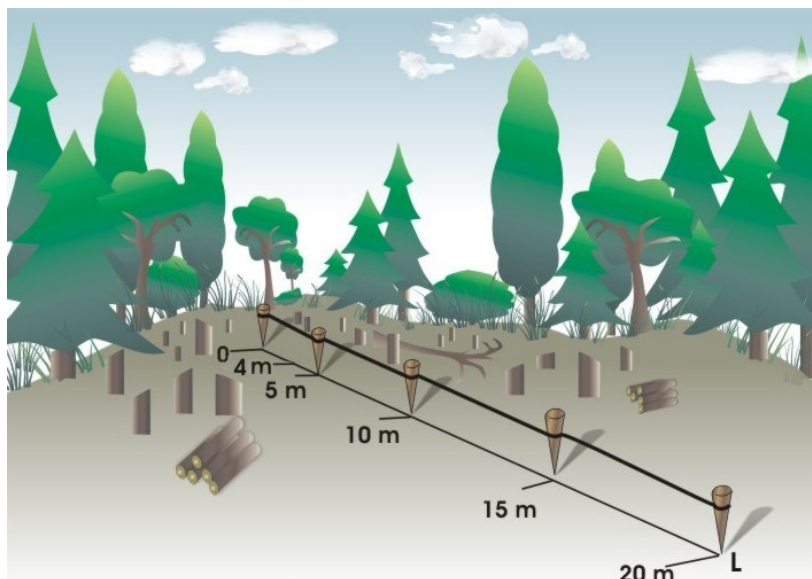


Figura 3.11 Línea de muestreo para la carga de combustibles

La carga de combustible forestal, se define como la relación existente entre el peso del material y la unidad de área expresada en kg/m^2 y depende de las siguientes variables:

- Diámetro del material leñoso; una descripción de los diferentes tipos se presenta en la tabla 3.5 y en la figura 3.12.
- Clasificación del tipo de vegetación, por ejemplo: pino, encino, oyamel, etc.
- Pendiente del terreno.
- Longitud de la línea donde se recolecta la muestra (L).

Para realizar el muestreo y las mediciones en campo, se recomienda llevar la siguiente herramienta: hilo cáñamo, cinta de medir con una longitud mayor a 20 m, bolsas de recolección o costales, pala, báscula, vernier o en su caso una regla transparente y brújula.

Tabla 3.5 Tipo de combustibles leñosos

Tipo	Diámetro (cm)	Características
Ligeros (<i>cl</i>)	0.1 - 2.5 (finos) 2.5 – 7.5 (medianos)	Constituido por ramillas muertas, también se conoce como combustibles finos y se acumulan por la caída natural o por el impacto del viento.
Pesados (<i>cp</i>)	>7.5	En este grupo se encuentran las ramas, tallos y troncos muertos caídos de forma natural o por efecto del viento, y por tala de árboles y arbustos. Su inflamabilidad está sujeta a su cantidad, tamaño, forma y humedad.



Figura 3.12 Tipos de material leñoso superficial

3.5.2.1 Cálculo de la carga de combustibles (combustibles ligeros y pesados)

Una vez en campo se recolectarán los datos que indica la tabla 3.5, para caracterizar los materiales combustibles del sitio, llevando un registro de las muestras obtenidas con el siguiente procedimiento:

- A.** Cuantificación de la cantidad de materiales finos y pesados que intersectan la línea de muestreo y que se encuentren depositados en el suelo.
 - a.1** Recolección de ramas y leña que tenga un diámetro entre 0.1 y 2.5 cm, para el primer metro.
 - a.2** Recolección de ramas y leña que tenga un diámetro entre 2.5 y 7.5 cm, para los primeros cuatro metros.
 - a.3** Recolección de material leñoso con diámetro mayor a 7.5 cm, para los 20 metros.
 - a.4** Anotar en la tabla 3.6 el diámetro de cada uno de los elementos recolectados (d_1 , d_2 , d_3 , ..., d_n) en el rango de materiales que le corresponda.
 - a.5** Elevar al cuadrado el valor de cada uno de los diámetros y anotar el resultado en la tabla 3.6.
 - a.6** Sumar todos los diámetros que se elevaron al cuadrado y anotar el resultado en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Formato de campo para determinar la carga de combustible

Diámetro	Material fino 0.1–2.5 cm $L_i = 1\text{m}$		Material mediano 2.5–7.5 cm $L_i = 4\text{m}$		Material pesado > 7.5 cm $L_i = 20\text{m}$	
	d_i	d_i^2	d_i	d_i^2	d_i	d_i^2
d_1						
d_2						
d_3						
d_n						
	Suma	=	Suma	=	Suma	=

- a.7** Determinar el valor de la pendiente sobre la línea de muestreo, por medio del método descrito anteriormente en este capítulo (levantamiento en campo), expresándolo en términos de porcentaje (%).

a.8 Por medio de la ecuación 1 se calculará c , que es el factor de corrección por pendiente.

$$\text{ec. 1} \quad c = \sqrt{1 + \left(\frac{\% \text{ pendiente}}{100} \right)^2}$$

a.9 Finalmente, para la estimación de la carga de combustibles superficiales muertos, se aplicará la ecuación 2 (Van Wagner, 1982):

$$\text{ec. 2} \quad C = \left(G_s \frac{0.1234}{L_i} \right) \times (d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \dots + d_n^2) \times c$$

Donde:

L_i es la longitud de la línea de muestreo que toma valores de 1, 4 y 20 m.

$d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2$, es la suma del cuadrado de los diámetros, obtenida de la tabla 3.6.

G_s es la gravedad específica, definida como el cálculo de la densidad específica de un material entre la densidad específica del agua. Para el caso de la guía el valor de G , se refiere a la gravedad específica de la madera; algunos valores se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Valores de gravedad específica de la madera

Tipo de madera	Densidad (g/ml) – (g/cm ³)	Gs
Cedro	0.57	0.57
Ébano	1.26	1.26
Haya	0.66 – 0.83	0.66 – 0.83
Nogal	0.60 – 0.81	0.60 – 0.81
Roble	0.71 – 1.07	0.71 – 1.07
Cerezo	0.76 – 0.84	0.76 – 0.84
Encino	0.69 – 1.03	0.69 – 1.03
Manzano	0.66 – 0.84	0.66 – 0.84
Olmo	0.56 – 0.82	0.56 – 0.82
Pino	0.31 – 0.76	0.31 – 0.76

a.10 Para los materiales finos el valor de “ L_i ” será igual a 1 m, y se calcula por medio de la ecuación 3, de donde se obtiene su carga de combustible (cf).

$$\text{ec. 3} \quad cf = (G_s \times 0.1234) \times (d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \dots + d_n^2) \times c$$

a.11 Para los combustibles medianos, el valor de “ L_i ” será igual a 4 m, y se calcula por medio de la ecuación 4, de donde se obtiene su carga de combustible (cm)

$$\text{ec. 4} \quad cm = (G_s \times 0.031) \times (d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \dots + d_n^2) \times c$$

a.12 Finalmente se realizará la suma de los dos valores, obteniendo el total de materiales ligeros (cl).

$$\text{ec. 5} \quad cl = cf + cm$$

a.13 Para los materiales pesados el valor de “ L_i ” será igual a 20 m, y se calcula por medio de la ecuación 6, de donde se obtiene su carga de combustible (cp).

$$\text{ec. 6} \quad cp = (G_s \times 0.006) \times (d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \dots + d_n^2) \times c$$

3.5.2.2 Cálculo de la cama de combustible (cc)

La cama de combustible es un volumen que se compone por material leñoso, hojarasca, y otros tipos de vegetación, como se muestra en la figura 3.12.

B. La determinación del valor de la cama de combustible se lleva a cabo mediante el siguiente procedimiento:

- b.1** Se registrarán las profundidades a los 5 m, 10 m, 15 m y 20 m de longitud sobre la línea de muestreo, reportando los resultados obtenidos en la tabla 3.8.
- b.2** Posteriormente se calculará el promedio de todas las profundidades en la línea de muestreo, simplemente haciendo la suma de las profundidades (*A*) y el resultado se dividirá entre cuatro, el valor se anotará en la tabla 3.8 en la celda denominada *PCC_{promedio}*.
- b.3** A los 5 m, 10 m, 15 m y 20 m sobre la línea de muestreo, se dibujarán cuadrantes de 50 x 50 cm.
- b.4** La hojarasca recolectada en cada cuadrante se pesará en el sitio (in situ), dato que deberá registrarse en la tabla 3.8.
- b.5** De la muestra de hojarasca en cada uno de los cuadrantes, se tomarán 300 g para su posterior secado, este se puede realizar de dos formas; la primera es calentándolo en una estufa durante varias horas hasta que pierda su humedad, y la segunda es exponiéndolo a un secado natural, teniendo especial cuidado en que no se pierda ningún elemento del material.
- b.6** El material seco del punto anterior se pesará nuevamente, registrando el valor en la tabla 3.8.
- b.7** El peso por unidad de superficie en kg/m², se obtendrá de la suma de los pesos de los cuatro cuadrantes (*B*) y dividiéndolo entre 1 m².
- b.8** La relación que guardan los 300 g de material que se tomaron de las muestras en los cuatro cuadrantes, dado en unidades de superficie, está expresado de la siguiente manera:

$$\text{ec. 7} \quad \frac{(1200 \text{ g}) 1 \text{ m}^2}{\text{Peso in situ (g)}} = R \text{ (m}^2\text{)}$$

- b.9** El valor del peso seco de los 1,200 g (*C*), se dividirá entre el resultado de la ecuación 7, con lo cual obtendremos la cantidad de combustible por unidad de superficie, que constituye la cama (cc).

Tabla 3.8 Formato para la obtención de la cama de combustibles

Distancia (m)	Profundidad pcc (cm)	Peso de la hojarasca <i>in situ</i> por cuadrante (g)	Peso de los 300 gramos secos (g)	Peso por unidad de superficie (g/m ²)
5				$cc = C/R$
10				
15				
20				
Suma	A	B	C	
pcc_{promedio}	A/4			

pcc profundidad de la cama de combustibles

3.5.2.3 Consideraciones para la obtención de la componente de combustibles forestales

En la determinación de esta componente se puede observar, que las variables no tienen las mismas unidades, por lo que se debe recurrir a normalizar los valores mediante el establecimiento de una escala común, que para este modelo se determinó con valores entre 0 a 1, este valor dependerá de los niveles de peligro que aporte cada variable.

En la tabla 3.9 se muestran los valores extremos de la escala común que caracterizan las condiciones de la zona de estudio para cada variable de la componente de carga de combustibles forestales. Los valores intermedios serán calculados mediante la ecuación de la última columna.

Tabla 3.9 Escala para la normalización de valores de carga de combustibles

Variable \ Escala común	1	0	Ecuación para la obtención del valor estandarizado
Combustibles ligeros (cl)	la mayor carga	ausencia de carga	$cl_s = \frac{cl_i}{cl_{\max}}$
combustibles pesados (cp)	la mayor carga	Ausencia de carga	$cp_s = \frac{cp_i}{cp_{\max}}$
Cama de combustibles (cc)	la mayor carga de la cama de combustible	Ausencia de cama de combustibles	$cc_s = \frac{cc_i}{cc_{\max}}$
Profundidad de cama de combustibles (pcc)	La mayor profundidad encontrada	Ausencia de cama de combustibles	$pcc_s = \frac{pcc_i}{pcc_{\max}}$

s es el valor normalizado que se quiere calcular, su resultado va de 0 a 1

i es el valor recolectado en el muestreo o en estadísticas

Las variables anteriores, tiene diferente influencia en el resultado final de la componente, por lo que se hace una ponderación, asignando valores relativos con respecto a los criterios y experiencias de los autores del modelo, pero sobre todo al análisis estadístico derivado de observaciones registradas a lo largo del tiempo, ya que con estas estadísticas se pueden determinar factores como el origen de un incendio forestal, su propagación y los daños ocasionados por el mismo.

En la tabla 3.10, se muestra la importancia asignada a las variables que definen a la componente de combustibles forestales.

Tabla 3.10 Valor de importancia para las variables de la componente de combustibles forestales

Variable	Importancia	Valor	Descripción o consideraciones
<i>cc</i>	Mayor	0.3067	Compuestas por partículas de diámetros pequeños, pierden humedad de forma muy rápida, generalmente son los que dan inicio a los incendios.
<i>pcc</i>	Mayor	0.3710	
<i>cl</i>	Media	0.2610	Estos materiales tienen una menor influencia en el inicio de un incendio, pero son de consideración por sus diámetros y su bajo contenido de humedad.
<i>cp</i>	Menor	0.0613	Este material define en gran medida la intensidad de un incendio, pero no tiene gran influencia su inicio.

Finalmente para obtener el valor de la componente de combustibles forestales, se deberá utilizar la siguiente ecuación:

$$\text{ec. 8 } C_{CF} = cc(0.3067) + cl(0.2610) + cp(0.0613) + pcc(0.3710)$$

3.5.3 Obtención del componente meteorológico (C_M)

Esta componente tiene gran influencia en la determinación del índice de peligro, ya que de ésta depende el contenido de humedad del material combustible, situación que regula la ocurrencia de los incendios forestales.

Las variables meteorológicas que el modelo considera, son:

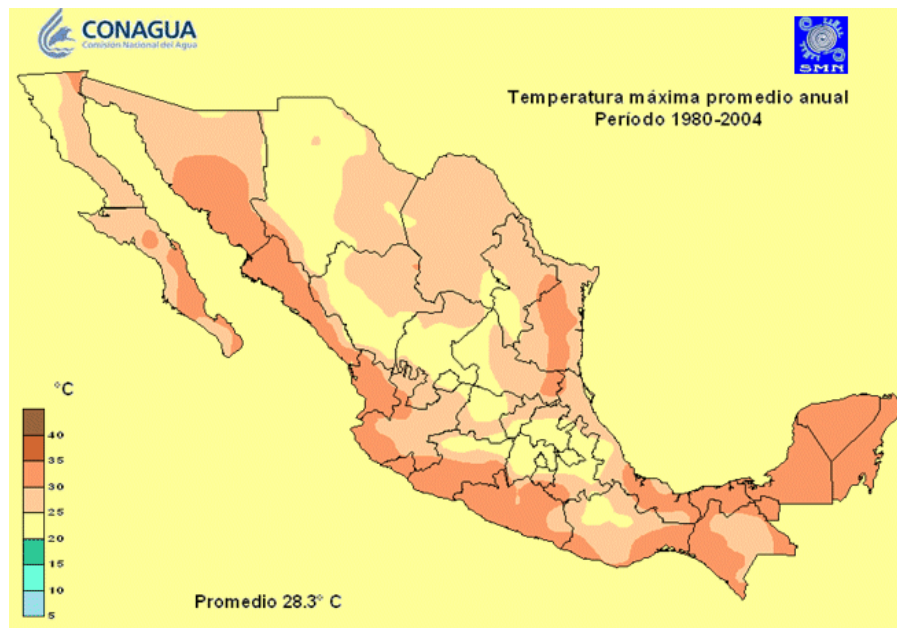
- Temperatura media máxima mensual (*tmm*)
- Precipitación media normal mensual (*pnm*)
- Orientación de la pendiente (*op*)

3.5.3.1 Determinación de la temperatura media máxima mensual (*tmm*)

Esta variable se debe calcular por medio de registros obtenidos en las estaciones meteorológicas ubicadas en el territorio nacional. Para fines de facilitar el uso de esta guía a las autoridades de protección civil, se propone que el valor de la temperatura media máxima mensual sea tomado de la tabla 3.11, cuya fuente es la página del SMN, <http://smn.cna.gob.mx/>, en ella se presentan los valores de la temperatura máxima promedio anual, por medio de datos estadísticos obtenidos en el periodo de 1980 a 2004. La información se muestra por mes para cada uno de los estados. Simplemente, se considerará el mes y el estado en el cual se requiera hacer el estudio y posteriormente se registrará el dato de la temperatura.

Tabla 3.11 Datos de temperatura máxima promedio anual, periodo 1980-2004, (CNA-SMN, 2006)

Temperatura Máxima Promedio Estatal Período 1980-2004, en grados centígrados (°C)													
Estado	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Aguascalientes	21.5	23.2	26.5	28.4	30	29.2	26.8	26.3	25.8	25.6	24.3	22.4	25.8
Baja California	19.7	21	22.1	24.6	27	31.1	33.9	33.9	31.9	28.1	23.3	20.2	26.4
Baja California Sur	23.8	25	26.5	28.6	29.8	32.4	34.6	34.8	34	31.6	27.8	24.7	29.5
Campeche	29.6	30.8	33.3	35.1	35.9	34.3	33.6	33.6	33	31.9	30.8	29.8	32.6
Coahuila	19.5	21.8	26	29.5	32.4	34.2	34.1	33.7	31.6	28.3	24.1	19.9	27.9
Colima	31.3	31.9	32.4	33.3	33.9	33.5	32.8	32.6	32.1	32.4	32.3	31.4	32.5
Chiapas	27.9	28.9	31.3	32.4	32.9	31.1	30.6	30.6	30.1	29.3	28.6	27.9	30.1
Chihuahua	17.3	19.5	22.6	26.4	30.1	33.2	31.7	30.4	28.6	25.8	21.4	18.1	25.4
Distrito Federal	20.3	21.5	24	24.8	24.8	23.1	21.7	21.8	21.3	21.4	20.8	20.1	22.1
Durango	21.1	22.8	25.4	28.2	30.6	31.4	29.2	28.6	27.6	26.6	24.2	21.6	26.4
Guanajuato	22.4	24	26.7	28.9	30	28.1	26.1	26.1	25.4	24.9	24.2	22.8	25.8
Guerrero	30.6	31.5	32.8	33.9	34	32	30.8	30.7	30.2	30.7	30.9	30.6	31.6
Hidalgo	21.3	22.8	26.1	27.7	28.1	26.3	25.1	25.3	24.5	23.6	22.8	21.7	24.6
Jalisco	26.1	27.5	29.7	31.7	32.8	31.3	28.8	28.8	28.5	28.6	27.8	26.3	29
México	20.9	22	24.1	25.5	25.5	23.5	22.1	22.3	21.9	22.1	21.8	21.1	22.7
Michoacán	27.7	28.9	30.9	32.6	33	30.8	28.8	28.7	28.4	28.8	28.7	27.9	29.6
Morelos	26.6	28.1	30.4	31.9	31.7	29.2	27.3	27.4	26.8	27.1	27.2	26.7	28.4
Nayarit	28.2	29.4	31	32.8	34	33.8	32.2	31.9	31.7	31.8	30.9	28.5	31.4
Nuevo León	20.4	22.7	26.6	29.5	31.8	33	33.5	33.3	30.9	27.8	24.3	21.1	27.9
Oaxaca	27.2	28	30	31.3	31.4	29.5	28.7	28.7	28.2	28.1	27.7	27.2	28.8
Puebla	23.5	24.8	27.3	28.8	29.1	27.3	26	26.3	25.6	25.5	24.7	23.7	26.1
Querétaro	23	24.6	27.7	29.8	30.3	28.4	26.8	27	26.1	25.4	24.4	23.4	26.4
Quintana Roo	29.2	29.8	31.5	32.7	33.7	33.1	33.1	33.1	32.6	31.7	30.5	29.3	31.7
San Luis Potosí	22.1	24.2	27.5	29.8	31.1	30.3	28.9	29.1	27.9	26.5	24.8	22.8	27.1
Sinaloa	27.2	28.8	30.2	32.4	34.3	35.4	34.7	34	33.8	33.4	30.7	28.1	31.9
Sonora	21.7	23.6	25.4	29.1	32.8	36.9	36.6	35.9	34.8	31.2	25.9	21.9	29.7
Tabasco	27.8	28.9	32.1	34.1	35.5	34	33.5	33.6	32.8	31.1	29.7	28.1	31.8
Tamaulipas	21.9	24.5	28.4	31.4	32.9	34	34.2	34.4	32.4	29.6	26.3	23.2	29.4
Tlaxcala	20.6	21.9	24	24.9	24.8	23.2	22.1	22.2	21.8	22.1	21.8	21.1	22.5
Veracruz	24.5	25.7	29	31.3	32.8	31.8	30.7	30.8	30.2	28.7	26.9	25.1	29
Yucatán	29.7	30.6	32.9	34.7	35.5	34.4	33.9	34	33.3	32.1	31	30	32.7
Zacatecas	21	23	25.7	28.2	30.3	29.9	27.7	27.3	26.4	25.7	24.1	21.7	25.9
Nacional	23.1	24.7	27.3	29.8	31.8	32.4	31.7	31.3	30.2	28.5	25.9	23.6	28.3

**Fig. 3.13 Mapa de temperatura máxima promedio anual, SMN 2006**

3.5.3.2 Determinación de la precipitación con distribución media normal mensual (pnm)

Esta variable, así como la anterior, requieren de un análisis matemático complejo, donde los datos registrados durante largos periodos por medio de estaciones climatológicas, son de gran importancia para poder predecir la lámina de lluvia que se presentará en ciertas fechas. De esta forma, para poder determinar este valor, se tomarán datos del Servicio Meteorológico Nacional, específicamente los registros de lámina de lluvia normal mensual obtenidos por medio de un tratamiento estadístico para datos del periodo de 1941 a 1996. En la tabla 3.12 se presenta esta precipitación por mes y para cada estado del país.

Para determinar el valor de la lámina de lluvia normal mensual sólo se tendrá que ubicar el estado en el cual se encuentra la zona de estudio y el mes en el que se realizará el análisis. Los datos obtenidos de esta fuente, contribuirán a la determinación de un índice mensual de peligro. Si el estudio requiere mayor precisión o un índice semanal o diario se deberá a datos específicos de estaciones climatológicas ubicadas en zonas cercanas al área de estudio, el análisis estadístico de los registros y posteriormente a su interpretación por parte de personal capacitado en la materia.

Tabla 3.12 Datos de lámina de lluvia normal mensual, periodo 1980-2004, (CNA-SMN, 2006)

Cuadro de Precipitaciones 1941-1996, en milímetros de lámina de lluvia (mm)													
Estado	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Aguascalientes	13.3	6.3	3.4	7.5	16.4	70.8	101.4	103.3	76.9	33.2	12.5	11.1	456.1
Baja California	38.1	30.3	37.5	15.3	4.3	1.2	1.4	5.2	5.8	9.2	22.7	34.1	205.1
Baja California Sur	14.5	4.7	2.3	1	0.6	1	19.3	41.7	52	18.5	5.9	14	175.5
Campeche	27.6	19.2	18.4	13.9	60.1	157.3	189.4	200.3	207.2	120.9	54.7	33.7	1102.7
Coahuila	13.5	12.2	6.3	20.2	36.1	37.1	33.2	40.3	56.2	30.2	13.2	12.3	310.8
Colima	23.5	7.6	4	2.5	9.1	112.8	168.4	203.4	223.2	100.8	25.2	14.8	895.3
Chiapas	83.8	59.4	49.8	56.5	133.1	270.5	272.9	265.2	342.1	230	111.6	107.5	1982.4
Chihuahua	17.6	9.6	6.9	8.2	10.3	35.4	111.4	100.8	71.1	29.4	9.3	18.7	428.7
Distrito Federal	7.8	4.7	8.9	22.6	50.7	123.9	155.1	141.7	122.6	50.4	10.5	6.1	705
Durango	22	10.2	5.9	5.3	11.4	60.4	119.5	120	95.3	36.4	13.7	27.4	527.5
Guanajuato	13.2	7.1	8.4	15.7	36.5	105.3	125.3	122.7	98.5	41.7	12.2	10.8	597.4
Guerrero	10.8	3	2.7	9.6	50.4	204.9	227.7	226.9	263.4	108.4	26.5	6.2	1140.5
Hidalgo	21.6	18.1	22.3	41.7	69.4	128.4	120.7	111.5	161	80.5	37.3	22.5	835
Jalisco	16.2	8.3	7.1	7	26.2	147.9	212	187.3	144.8	63.7	17	14.1	851.6
México	14.2	6.8	9.4	24.9	65.1	163.7	193.4	183	166.8	75.4	21.1	9.4	933.2
Michoacán	15	4.8	4.2	10.9	33.6	140.7	190.1	172.5	162.2	66.3	16.4	9.7	826.4
Morelos	10.4	3.3	4.3	13.8	53.6	182.5	173.9	157.4	183.3	66.2	13.7	4.4	866.8
Nayarit	20.6	9.1	4.8	4.3	8.7	136.9	275.3	264.5	212.7	74.8	15.2	18.6	1045.5
Nuevo León	21.4	18.1	16.2	37.7	62.1	75.1	55.2	85.2	131.7	62.4	19	17.9	602
Oaxaca	31.4	28	22.3	31.1	88.9	257.3	265.3	247.6	288.2	143.2	61.2	38.5	1503
Puebla	30.6	25.5	26	44.4	83.3	181	187.6	174.1	222.2	123.4	59.9	35.4	1193.4
Querétaro	12.7	6	8.5	21.2	42.6	105.2	112.2	101.5	100.9	43.6	13.1	8	575.5
Quintana Roo	63.3	39.3	31.5	30.7	101.1	177.5	140.9	131.9	204.4	159.7	89.5	81.8	1251.6
San Luis Potosí	20.5	17.5	16.8	36.6	69.3	156.3	149.6	150.4	209	95.4	37.3	25.9	984.6
Sinaloa	31.5	14.6	13.1	9	11.1	60.3	191	196.3	159.6	61.6	22	35.1	805.2
Sonora	26.3	15.3	11.1	4.3	3.7	20.1	121.2	111.9	55.6	26.5	12.6	27.5	436.1
Tabasco	187.3	120.4	84.1	71.8	126.3	248.7	210	246.7	381.3	346.4	212.4	197.3	2432.7
Tamaulipas	19.5	15.8	15.9	35.8	70.3	129.3	108.9	105.6	154.5	72.4	25	19.9	772.9
Tlaxcala	7.9	6.6	11.4	32.8	73.1	129.7	125.7	124	107.2	51.4	16.4	6.9	693.1
Veracruz	42	35	32.9	44.4	76.8	208.8	237.1	195.8	292.3	155.2	82.7	56.5	1459.5
Yucatán	35.7	35.3	30.4	30.8	81.8	164.4	172.5	168.5	190.1	111.3	52.1	45.5	1118.4
Zacatecas	17.4	8.4	5.9	7.6	19	79.7	119	111.7	84.7	35.3	13.4	17.9	520
Nacional	27.3	18.2	15.2	19.2	40.8	104.6	140.4	136.1	142	72.5	31.1	30	777.4

3.5.3.3 Determinación de la orientación de la pendiente (op)

Para determinar esta variable se debe contar con datos sobre las características del terreno, específicamente la pendiente y su orientación, para posteriormente asociarlos con información histórica sobre la frecuencia de incendios forestales en la región de estudio. Para determinar esta variable se sugiere utilizar el Continuo de Elevaciones Mexicano, producto gratuito proporcionado por el INEGI a través de su portal, el cual utilizando un sistema de información geográfica permite generar un mapa de pendientes así como su orientación. Una vez que se ha determinado la orientación de la pendiente, los datos se clasificarán de forma tal que la orientación con más recurrencia adquiera el valor de 1 y 0 la que se presente el menor número de veces. Estos valores se obtienen de manera cualitativa como se puede observar en la tabla 3.13, donde la frecuencia hace referencia al número de incendios presentados en un sitio donde la orientación de pendiente ha sido la misma; en caso de no existir datos que asocien esta variable con la frecuencia de los incendios forestales, dicha variable no se tomará en cuenta.

Tabla 3.13 Valores cualitativos asignados a la orientación de pendiente

Valor	Frecuencia de incendios en un año
1	5 ó más
0.75	3 ó 4
0.5	2
0.25	1

3.5.3.4 Consideraciones para la obtención de la componente meteorológica

Con los datos del servicio meteorológico nacional, el análisis de la C_M , se facilita, ya que al obtener los valores de la temperatura máxima mensual (tmm) como de la precipitación normal mensual (pnm) para cada mes y estado del país, la normalización de los datos se establece para el caso de (tmm) de la siguiente forma; para un estado o región en específico al valor más bajo de temperatura se le asignará el valor de 0, mientras que a la temperatura más alta se le dará el valor de 1. Para la (pnm), la normalización es contraria con respecto a los datos de temperatura, ya que al valor mínimo de lluvia registrada para la zona de estudio se le dará un valor de 1, mientras que el mayor dato de lluvia se le asignará el valor de 0; los valores intermedios se calcularán usando la ecuación de la tabla 3.14.

Tabla 3.14 Escala para la normalización de valores meteorológicos

<i>Variable</i> / <i>Escala común</i>	1	0	Ecuación para la obtención del valor estandarizado
Temperatura máxima mensual (tmm)	la máxima registrada	la más baja	$tmm_s = \frac{tmm_i}{tmm_{max}}$
Precipitación normal mensual (pnm)	mínima registrada	máxima registrada	$pnm_s = \frac{pnm_i}{pnm_{min}}$
Orientación de la pendiente (op)	frecuencia igual o mayor de 5 incendios forestales al año	no se presentan incendios o no se tienen datos	tabla 3.13

s es el valor normalizado que se quiere calcular, su resultado va de 0 a 1

i es el valor recolectado en el muestreo o en estadísticas

Los valores relativos que se le asignan a las variables que definen la componente meteorológica se muestran en la tabla 3.15.

Tabla 3.15 Valor de importancia para las variables de la componente meteorológica

Variable	Importancia	Valor	Descripción o consideraciones
<i>tmm</i>	Media	0.2493	Las altas temperaturas en combinación con otras condiciones, como la incidencia del sol, pueden llegar a generar incendios.
<i>pnm</i>	Mayor	0.5936	Los periodos de sequía están directamente relacionados con la cantidad de lluvia, lo que impacta directamente en la humedad del material combustible.
<i>op</i>	Menor	0.1571	Depende directamente de la frecuencia con que se presentan un incendio forestal en cierta zona de estudio.

La componente meteorológica queda definida por medio de la ecuación 9.

$$\text{ec. 9 } C_M = tmm_i(0.2493) + pmn_i(0.5936) + op(0.1571)$$

3.5.4 Obtención de la componente de causa (C_C)

Es de gran importancia considerar los agentes causales de los incendios forestales para su integración en el presente modelo, sin embargo se presenta una gran dificultad de representarlos espacialmente, por lo que se realizó un análisis de los rasgos geográficos asociados con actividades humanas (*Chuvieco et al, 2000, García et al., 1999, Almeida, 1994*), tales como distancia a vías de acceso al sitio de estudio, distancia a poblados, áreas sometidas a manejo forestal, las cuales se utilizarán en esta metodología y se sugiere determinar a través de una carta topográfica.

3.5.4.1 Determinación de áreas de manejo forestal (*aa*)

Las actividades de manejo forestal engloban la producción maderera comercial, la conservación de la biodiversidad y actividades turísticas en bosques y selvas.

Para determinar el área de manejo forestal en el sitio de estudio, se utilizará la carta de uso de suelo y vegetación, con el fin de identificar las zonas con actividades referentes al aprovechamiento forestal. Una forma de realizar este cálculo, se muestra en la figura 3.14, donde se tratará por medio de cuadrículas, cada vez más pequeñas, estimar el valor de la superficie de un estrato, teniendo en cuenta que se deben de excluir los cuerpos de agua, las zonas urbanas y los pastizales.

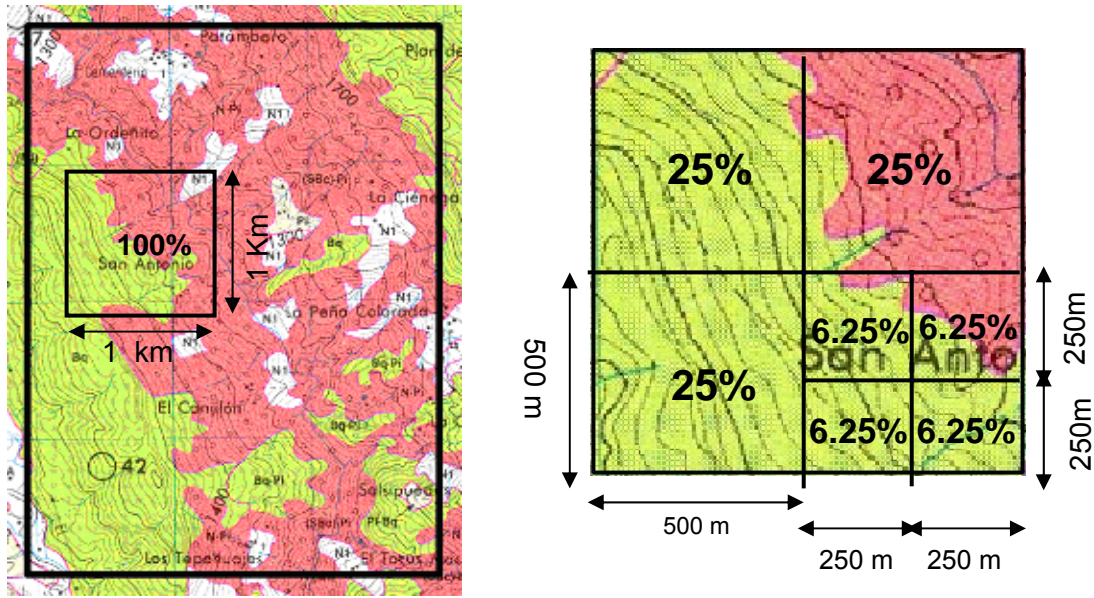


Figura 3.14 Determinación de áreas de aprovechamiento forestal

3.5.4.2 Determinación de la distancia a vías de comunicación

Las vías de comunicación que se considerarán para la aplicación del modelo mediante la determinación de su distancia a la zona de interés son:

Para las tres variables el cálculo de las distancias se deberá llevar a cabo empleando la carta topográfica 1:50,000, y midiendo sobre el mapa la distancia que existe entre el límite de la zona de estudio y la carretera más cercana, para facilitar el cálculo con una regla, se establece que la cuadrícula de la carta es de 1 km por 1 km, o bien, que cada 2 cm representan 1 km.

- Distancia a carreteras (dc).
- Distancia a veredas (dv).
- Distancia a brechas de extracción de madera (db).

3.5.4.3 Determinación de la distancia a poblados (dp)

En la carta topográfica 1:50,000 se pueden observar los poblados que se encuentren más cercanos a la zona de estudio, entonces para determinar la distancia se tomará una regla y se medirá la distancia en centímetros posteriormente se multiplica por 500, de esta forma se obtiene el resultado en metros como se muestra en la figura 3.15.

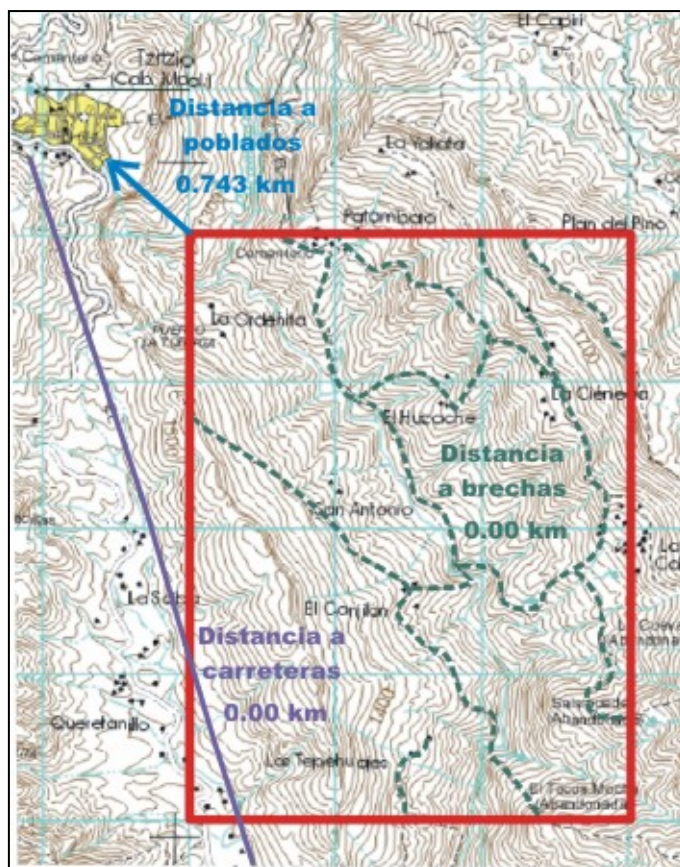


Figura 3.15 Determinación de distancias por medio de la carta topográfica

3.5.4.4 Consideraciones para la obtención de la componente de causa

Una consideración importante para este caso, es la existencia de poblados y vías de comunicación lejanos a la zona de estudio, por lo que se requiere acotar el radio de influencia para determinar hasta donde llegará el análisis. Para cada caso se definen los valores en la tabla 3.16.

Tabla 3.16 Radios de influencia para vías de comunicación

Variable	Radio de influencia (m)
Brechas	1,000
Veredas	1,000
Carreteras	1,500
Poblados	2,500

Para la normalización de las variables que integran el C_C , se le asignará el valor de 1 a la distancia más corta que exista entre el límite de la zona de estudio y la carretera, brecha de extracción de madera, vereda o poblado y 0 a la vía de comunicación o poblado que se encuentre más alejado de la zona de estudio y que esté dentro del radio de influencia de la misma. De esta forma para normalizar otros valores de distancia se deberá recurrir a las ecuaciones de la tabla 3.17.

Tabla 3.17 Escala para la estandarización de valores de causa

Variable	1	0	Ecuación para la obtención del valor estandarizado
Distancia a poblados (dp)	≤ 500 m	en el límite del área de influencia	$dp_s = \frac{dp_i}{500}$
Distancia a brechas (db)	≤ 50 m	en el límite del área de influencia	$db_s = \frac{db_i}{50}$
Distancia a veredas (dv)	≤ 50 m	en el límite del área de influencia	$dv_s = \frac{dv_i}{50}$
Distancia a carreteras (dc)	≤ 50 m	en el límite del área de influencia	$dc_s = \frac{dc_i}{50}$

s es el valor normalizado que se quiere calcular, su resultado va de 0 a 1

i es el valor recolectado en el muestreo o en estadísticas

En la tabla 3.18, se muestra la importancia asignada a las variables por medio de su valor relativo correspondiente.

Tabla 3.18 Valor de importancia para las variables de causa

Variable	Importancia	Valor	Descripción o consideraciones
aa	Mayor	0.4211	Mientras mayor área de aprovechamiento forestal exista, mayor es la influencia de las actividades humanas.
db	Mayor	0.3431	El transporte de madera, implica actividades y asentamientos humanos temporales en la zona.
dp	Media	0.1172	Es muy variable ya que depende de la distribución de los asentamientos humanos.
dv	Menor	0.0687	Estadísticamente tienen una influencia directa en la ocurrencia de incendios forestales y su valor relativo puede cambiar en sentido opuesto si alguna de estas vías de comunicación cruza la zona de estudio.
dc	Menor	0.0500	

Para determinar el valor de la componente de causa se utilizará la siguiente ecuación:

$$\text{ec. 10 } C_c = aa(0.4211) + db(0.3431) + dc(0.0500) + dv(0.0687) + dp(0.1172)$$

3.5.5 Integración de criterios

Para realizar al cálculo del *IPIF* (índice de peligro por incendios forestales), se emplea una evaluación multicriterio (EMC), el cual tiene la finalidad de establecer una regla de decisión, la cual se aplica para obtener resultados que muestren el índice correspondiente a la zona de estudio.

Finalmente mediante una ponderación de las componentes, se calculará el valor del índice de peligro *IPIF*, el cual se podrá interpretar de la siguiente manera:

Tabla 3.19 Interpretación de los valores del IPIF

Índice	Porcentaje	Amenaza de ocurrencia
0.0 – 0.2	0 – 20 %	Muy bajo
0.2 – 0.4	20 – 40 %	Bajo
0.4 – 0.6	40 – 60 %	Medio
0.6 – 0.8	60 – 80 %	Alto
0.8 – 1.0	80 – 100 %	Muy alto

3.5.6 Determinación del índice de peligro por incendios forestales (*IPIF*)

El *IPIF* se podrá calcular por medio de una suma ponderada de las componentes, en donde la componente meteorológica tiene una influencia del 60 %, la preponderancia de la componente del combustible forestal es del 25 % y finalmente la componente de causa un 15 %, quedando definido el *IPIF* con la siguiente ecuación.

$$\text{ec 11} \quad IPIF = C_M(0.60) + C_{CF}(0.25) + C_C(0.15)$$

Los factores de ponderación están asignados principalmente por la influencia de las componentes en la ocurrencia del incendio, esto último determinado por análisis estadísticos, es decir, si se tiene un archivo histórico sobre la ocurrencia, propagación y daños de un incendio forestal en una zona específica, se podrán establecer con mayor certeza los orígenes del incendio.

CONCLUSIONES

La presente metodología establece los criterios generales para determinar el nivel cualitativo de peligro por incendios forestales, en una zona determinada. Para ello, incorpora un modelo multicriterio basado en datos estadísticos, a través de estudios realizados en el norte del país que fueron considerados en la formulación de esta guía. Se pretende, que esta guía resulte una herramienta que permita a quienes atienden los incendios forestales, contar con información indispensable para determinar las causas que inciden en su inicio y que podrá ser aplicada en aspectos preventivos y de atención a la emergencia.

En el estudio de peligro para incendios forestales, es necesario contar con estimaciones sobre el medio físico, aspectos forestales, así como del entorno socioeconómico. La obtención de resultados confiables, depende de la calidad y análisis de los datos estadísticos y de los levantados en campo.

Con la aplicación de la metodología se obtiene un índice de peligro por incendios forestales (*IPIF*), que indica la posibilidad de ocurrencia del fenómeno en cierta zona, con la temporalidad definida para el análisis y con base en los datos estadísticos con que se cuente. Los datos que se manejan en esta metodología, están asociados a una representación estatal, en caso de que el estudio requiriera mayor precisión, entonces se deberá recurrir a datos puntuales; como los generados por las estaciones meteorológicas cercanas al sitio de estudio, para el caso de la componente meteorológica, y para la componente de causa se deberá contar con cartografía con escalas grandes, por ejemplo 1:5,000, fotografía aérea o imágenes de satélite de alta resolución.

En trabajos próximos se desarrollarán modelos complejos que involucren la etapa de evaluación del peligro por incendios forestales, en términos de su intensidad y probabilidad de ocurrencia, y que también incorporen modelos que determinen su propagación. Adicionalmente se definen variables (material combustible y localización de la población), que podrán ser de utilidad para cuantificar la pérdida esperada (riesgo), debida al impacto de los incendios forestales.

Finalmente, cabe mencionar que la representación de los incendios forestales es un fenómeno complejo, difícil de cuantificar a través de un modelo simplificado, sin embargo, el presente trabajo tiene la virtud de establecer un nivel de peligro por medio de la determinación de ciertas variables, sin tener que llevar a cabo complicados análisis matemáticos.

Se invita a todas aquellas personas interesadas en aplicar esta metodología, a establecer una retroalimentación que permita mejorarla en cuanto a su contenido, alcance y aplicación en la determinación del nivel de amenaza para un fenómeno que cada día toma mayor relevancia.

GLOSARIO

Árbol: Planta perenne, de tronco leñoso y elevado, que se ramifica a cierta altura del suelo con una talla total superior a los siete metros.

Arbusto: Planta leñosa, con tronco único y copa, bien diferenciados, y una altura total inferior a cinco metros.

Biodiversidad: Es toda la variedad de vida en la Tierra. Puede abordarse de tres maneras: como variedad de ecosistemas, variedad de especies y variedad de genes.

Calor: Energía térmica y transferencia de energía térmica.

Clima: Condiciones medias del tiempo en un lugar determinado, establecidas mediante observaciones y mediciones de las variables meteorológicas durante períodos suficientemente largos. Cuando se habla del clima de una región, debe hacerse referencia tanto a los valores medios como a los extremos alcanzados por cada variable.

Conducción: Es un mecanismo de transferencia de energía térmica entre dos sistemas basado en el contacto directo de sus partículas, que tienden a igualar su temperatura o estado de excitación térmica.

Convección: Movimientos internos organizados dentro de una capa o aire que conducen al transporte vertical del calor, *momentum*, etc. En el aire, la convección se produce con mayor frecuencia debido a la capacidad de flotamiento de una masa de aire en contacto con una superficie caliente, lo que produce una corriente vertical de aire sobre la superficie. La convección también puede ocurrir por la mecánica de corrientes y remolinos de aire, como cuando el aire pasa sobre un terreno elevado.

Cuadrante: Es la manera de dividir una zona en cuadros pequeños, los cuales, en este caso, sirven para determinar la ubicación exacta de donde se toman las muestras recolectadas, este cuadrante mide 25 por 25 cm.

Densidad: La densidad es igual a la masa por unidad de volumen. Se puede medir en kilogramos por pulgada cúbica, gramos por centímetro cúbico, etc. La densidad de los líquidos es uniforme, esta no tiene cambios de un punto a otro, pero, en un gran cuerpo de gas como nuestra atmósfera esto no es cierto. La densidad algunas veces es expresada de otra manera indicando cuantas veces es densa una sustancia como lo es el agua. La densidad de la sustancia en cuestión dividida entre la densidad del agua es llamada gravedad específica, este es un número puro y no tiene unidades. Como la densidad del agua es de 1 g. /cm³, la gravedad específica de todas las sustancia es igual numéricamente, esto es la densidad en g. /cm³.

Detección: La acción o sistema utilizado para descubrir y localizar incendios, por ejemplo, la detección de bomberos o personal voluntario desde torres de vigilancia.

Estrato: La capa de vegetación viva comprendida entre ciertos límites. El estrato herbáceo comprende las plantas no leñosas; el arbustivo, las leñosas que no llegan a adquirir el porte arbóreo, y el arbóreo, el estrato compuesto por árboles.

Foco: Fuego inicial que afecta un área de escasas dimensiones, en las proximidades del punto de ignición. También utilizado para describir un sector de un incendio que arde con mayor intensidad que el resto.

Geoestadística: Se define como la aplicación de la teoría de funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales, o simplemente, el estudio de las variables numéricas distribuidas en el espacio, siendo una herramienta útil en el estudio de estas variables.

Humo: Aerosol producido por combustión, descomposición térmica o evaporación térmica. Sus partículas pueden ser sólidas (humo del óxido de magnesio) o líquidas (humo del tabaco). La definición estándar internacional de *humo* es: “un aerosol visible producido generalmente por la combustión”. El humo es una suspensión atmosférica de partículas pequeñas producida por la combustión.

Humedad relativa: Proporción de la fracción molecular de vapor de agua en el aire en relación con la fracción molecular correspondiente si el aire se saturara con respecto al agua a una presión y temperatura específica.

Hojarasca: Conjunto de las hojas que han caído de los árboles.

Ignición: Acción de un objeto en combustión.

Incendio: Fuego grande que quema combustibles que no estaban destinados a arder.

Índice de peligro: Indicador cuantitativo y/o cualitativo del peligro de incendios.

Infraestructura: Datos e información geográfica que se refieren a cualquier obra hecha por el hombre ubicada en alguno de los 6 ámbitos geográficos generales del territorio nacional incluyendo la Zona Económica Exclusiva. Ejemplo: carreteras, localidades, puentes, presas, tendidos eléctricos, redes de comunicación telefónica, faros, puertos, límites político administrativos, demarcaciones geográficas de cualquier tipo, plataformas petroleras, etc.

Intensidad del fuego: Un término general que se refiere a la energía térmica liberada por un incendio.

In situ: En el lugar, en el sitio.

Ladera: Terrenos con pendientes mayores al 15 % y caracterizadas generalmente por desarrollo en sentido horizontal.

Lámina de lluvia: Tiene una escala en milímetros la que identifica la cantidad de lluvia observada en un lugar específico en un tiempo determinado.

Localidad: Todo lugar que esté habitado.

Madera: Son tejidos lignificados conductores de agua, los de sostén y los de reserva contenida en las ramas, tallos y raíces.

Oxígeno: Elemento gaseoso, cuyo número atómico es 8, masa atómica relativa igual a 15,9994 y su se representa con “O”. El oxígeno es un gas incoloro e inodoro que permite la combustión en el aire. El oxígeno molecular (O₂) constituye 20,95% del volumen de aire seco en la parte inferior de

la atmósfera. El O₂ es esencial para la conservación de casi todas las formas de vida. A una altitud mayor de 20 km, el oxígeno atómico se presenta en cantidades significativas y a 100 km, se encuentra en forma predominante.

Pastizal: Vegetación herbácea generalmente constituida por gramíneas y otras especies de pastos. En áreas húmedas los mismos están representados por juncuales, totorales o pajonales.

Perenne: Es una planta que vive durante más de dos años. Las plantas perennes herbáceas son aquellas que no forman tejido leñoso permanente.

Población: Grupo de seres vivos de la misma especie que viven juntos en la misma zona y en la misma época.

Precipitación: Caída de partículas líquidas o sólidas de agua.

Profundidad de la cama: Altura media de los combustibles de superficie, presentes en la zona de combustión del frente de propagación del fuego.

Profundidad del mantillo: Altura media de los combustibles de superficie, presentes en la zona de combustión del frente de propagación del fuego.

Radiación: es un modo de propagación de la energía a través del vacío. En sentido estricto refiere a la radiación electromagnética, aunque también se utiliza la expresión para referirse al movimiento de partículas a gran velocidad en el medio, con apreciable transporte de energía.

Sequía: Ausencia prolongada o escasez marcada de precipitación.

Suelo: Datos e información geográfica referente al estrato donde se sustenta la vegetación y es originada por la interacción del clima sobre la roca madre. Ejemplo: edafología, uso del suelo, Vegetación, contaminación ambiental, etc.

Temperatura: Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente. Su unidad en el Sistema Internacional es el *kelvin* (K).

Triángulo del fuego: Herramienta didáctica en la cual cada lado de un triángulo equilátero se refiere a los tres factores necesarios para la combustión y producción de llama (oxígeno, calor y combustible). Cuando alguno de estos factores es removido, la llama no se produce o cesa.

Vegetación: Tapiz vegetal de un país o de una región geográfica. La predominancia de formas biológicas tales como árboles, arbustos o hierbas, sin tomar en consideración su posición taxonómica, conduce a distinguir diferentes tipos de vegetación, como bosque, matorral y pradera.

Zona: Parte de terreno o de superficie encuadrada entre ciertos límites.