

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**-FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS-**

**COLEGIO DE GEOGRAFÍA**

**“EVALUACIÓN DEL PELIGRO POR INCENDIOS FORESTALES EN LA  
DELEGACIÓN MILPA ALTA, DISTRITO FEDERAL”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN GEOGRAFÍA.**

**PRESENTA**

**ERIK ADRIÁN DIEZ DE BONILLA SANTIAGO.**

Asesor: Dr. Jorge López Blanco.  
CoAsesora: M.C. Lourdes Rodríguez Gamiño

Ciudad Universitaria 2007.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

A mi madre, Adriana Santiago Pérez que siempre me ha apoyado incondicionalmente, quien me ha protegido e impulsado desde el primer suspiro, quien con su inmenso amor, siempre me ha brindado una gran seguridad para conseguir mis metas.

A mi padre Angel Mariano Diez de Bonilla Padilla quien con su amor y apoyo ha representado un gran respaldo para siempre seguir adelante.

A mis hermanos Edgar Mariano Diez de Bonilla Santiago, Magdalena Ramírez Santiago y Oscar Isaac Diez de Bonilla Jiménez que han hecho del camino recorrido un lugar más llevadero.

A mi familia Socorro Pérez Merino, Reina Maribel Santiago Pérez, Jorge Arturo Salcedo Santiago, Sergio Iván Islas Santiago y Sebastián Salcedo Santiago, todos y cada uno de ellos piezas fundamentales en la construcción de mi pasado, presente y futuro.

A mi gran amigo el Lic. Odilón Ramírez Alaníz que siempre me brindó su amistad, cariño y respeto.

A la familia Márdero, Marcos, Marcial y Gaby, pero muy especialmente a Silvia Sofía Márdero Jiménez que ha sido un pilar muy importante en la construcción de este proyecto de vida.

A mis asesores Dr. Jorge López y a la Mtra. Lourdes Rodríguez Gamiño, quienes a cambio de nada me brindaron su experiencia, sus conocimientos, paciencia, tiempo y sobre todo apoyo, en verdad muchas gracias.

A los sinodales, a la Dra Lourdes Villers Ruiz, al Dr. Gilberto Vela Correa y al Dr. Arturo García Romero.

A la UNAM, institución que al paso de los años se convirtió en un hogar para mí.

A mis amigos que sin ser de mi familia son mis hermanos.

A las instituciones involucradas en este trabajo, Instituto de Geografía de la UNAM, Comisión de Recursos Naturales del D.F., Comisión Nacional del Agua y Servicio Meteorológico Nacional.

A todos aquellos que de manera voluntaria e involuntariamente han sido cómplices en este proyecto de vida.

***“EL ÚNICO INTENTO FALLIDO, ES AQUEL QUE NO SE HACE”***

<b>ÍNDICE</b>	<b>Pág.</b>
<b>CAPÍTULO 1.</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 Justificación.	2
1.2 Antecedentes.	2
1.3 Objetivos.	5
1.4 Marco Teórico.	6
1.5 Área de estudio.	8
1.5.1 Geología.	8
1.5.2 Hidrología.	9
1.5.3 Clima.	10
1.5.4 Suelos.	12
1.5.5 Vegetación.	13
1.6 Marco conceptual.	16
1.6.1 Bosque.	16
1.6.2 Fuego.	17
1.6.3 Índice de peligro de incendio.	18
1.6.4 Hojarasca.	20
1.6.5 Topografía.	20
1.6.6 Materiales combustibles.	21
1.6.7 Vegetación.	21
1.6.8 Servicios.	22
1.6.9 Variables meteorológicas.	23
1.6.10 Tipos de incendios forestales	23
 <b>CAPÍTULO 2.</b>	 <b>26</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>26</b>
2.1 Modelación del índice de peligro de incendios.	26
2.2 Recolección de muestras de combustibles en campo.	32
2.3 Elaboración de los mapas de los factores considerados para obtener el Índice de	

Peligro de Incendios Forestales.	35
2.3.1 Frecuencia de incendios.	35
2.3.2 Vegetación.	36
2.3.3 Temperatura y Precipitación.	36
2.3.4 Combustibles.	39
2.3.5 Profundidad del mantillo.	40
2.3.6 Exposición, pendiente y modelo digital del terreno.	40
2.3.7 Servicios.	42
2.3.8 Índice de peligro de incendios forestales.	43
<b>CAPÍTULO 3.</b>	47
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	47
3.1 Nivel de peligro de incendio, según las frecuencias de incendios.	47
3.2 Nivel de peligro de incendio según tipo de vegetación.	47
3.3 Nivel de peligro de incendio según la variable de promedio de precipitación.	51
3.4 Nivel de peligro de incendio según la variable de temperatura máxima.	51
3.5 Nivel de peligro de incendio según la variable de combustibles.	55
3.6 Nivel de peligro de incendio según la variable de profundidad del mantillo.	55
3.7 Nivel de peligro de incendio según la variable de exposición.	58
3.8 Nivel de peligro de incendio según la variable pendiente.	59
3.9 Nivel de peligro de incendio según el factor de servicios (vías de acceso y recreación).	59
3.10 Índice de peligro por incendios forestales en Milpa Alta.	63
3.11 Discusión.	66
<b>CONCLUSIONES.</b>	69
<b>LITERATURA CITADA</b>	71
<b>ANEXO I</b>	78
Tabla A.1. Puntos de muestreo de combustibles seleccionados en campo.	78

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Causas de incendios forestales en el Distrito Federal.	2
Tabla 1.2 Regiones, cuencas y microcuencas hidrológicas de la delegación Milpa Alta.	10
Tabla 1.3 Unidades y asociaciones de suelo.	12
Tabla 1.4 Tipos de vegetación en el área de estudio.	15
Tabla 2.1 Factores físico-geográficos que influyen en el peligro de incendio.	28
Tabla 2.2 Indicadores físico-geográficos para áreas con peligro de incendio bajo.	29
Tabla 2.3 Indicadores físico-geográficos para áreas con peligro de incendio medio.	30
Tabla 2.4 Indicadores físico-geográficos para áreas con peligro de incendio alto.	31
Tabla 2.5 Muestras de combustibles tomadas en campo.	34
Tabla 2.6 Estaciones meteorológicas que tienen influencia en Milpa Alta.	37
Tabla 2.7 Clases de combustibles.	39
Tabla 2.8 Metodología para la clasificación de nivel de peligro según la profundidad de mantillo.	40
Tabla 2.9 Ponderación de variables.	45
Tabla 2.10 Valores para el índice de peligro de incendio.	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Croquis de localización de la delegación Milpa Alta.	8
Figura 1.2 Triángulo del fuego.	17
Figura 1.3 Esquema del sistema de predicción básico de peligro de incendio forestal.	19
Figura 1.4 Tipos de incendios forestales.	24
Figura 2.1 Mapa de puntos de muestreo seleccionados en gabinete.	32
Figura 2.2 Medición de profundidad de mantillo.	33
Figura 2.3 Medición de combustibles.	34
Figura 2.4 Mapa de puntos de muestreo seleccionados en campo.	35
Figura 2.5 Mapa de vegetación y uso de suelo de la delegación Milpa Alta.	36
Figura 2.6 Mapa de estaciones meteorológicas con influencia en Milpa Alta.	38
Figura 2.7 Modelo digital del terreno de la delegación Milpa Alta.	42
Figura 2.8 Dato ponderado que multiplica el nivel de peligro.	46

Figura 3.1 Mapa de nivel de peligro de incendio, según las frecuencias de los incendios de 1996 a 2006.	49
Figura 3.2 Mapa de nivel de peligro de incendio según el tipo de vegetación.	50
Figura 3.3 Mapa de nivel de peligro de incendio, según el promedio de la precipitación en mm de febrero a mayo de 1996 a 2006.	53
Figura 3.4 Mapa de nivel de peligro de incendio, según el promedio de temperatura máxima en °C de febrero a mayo de 1996 a 2006.	54
Figura 3.5 Mapa de nivel de peligro de incendio, según el tipo de combustibles.	56
Figura 3.6 Mapa de nivel de peligro de incendio, según la profundidad del mantillo.	57
Figura 3.7 Mapa de nivel de peligro de incendio según la exposición de la ladera.	60
Figura 3.8 Mapa de nivel de peligro de incendio según la inclinación de la pendiente en porcentaje.	61
Figura 3.9 Mapa de nivel de peligro de incendio según la variable de servicios (vías de acceso y recreación)	62
Figura 3.10 Mapa del índice de peligro por incendios forestales en la delegación Milpa Alta, Distrito Federal.	65

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

La mayoría de los bosques en la actualidad, han sido modificados directa o indirectamente por fenómenos naturales y con mayor importancia por procesos antrópicos, ambos considerados como perjudiciosos y desastrosos, de acuerdo con la frecuencia y al daño ocasionado. Ahora bien, en un bosque, los fenómenos como los incendios, la explotación forestal, el desmonte de la tierra, el desarrollo urbano, los huracanes, las plagas de insectos, las enfermedades epidémicas afectan la vida, el crecimiento de los árboles y el desarrollo del suelo, modificando la condición forestal (Spurr y Barnes, 1980).

Los incendios forestales son considerados uno de los mayores impactos sobre la vida silvestre, que afectan los bosques del planeta. En la mayoría de los casos en países tropicales y en vías de desarrollo (Andrev *et al.*, 2001).

Un incendio forestal es la perturbación que, con una ocurrencia y propagación no controlada, afecta selvas, bosques y vegetación de zonas áridas y semiáridas (Cedeño, 1999). Los incendios ocasionan la degradación de la tierra y pueden provocar la pérdida de vidas humanas, devastación económica, desorganización social y deterioro ambiental. Cada año los incendios destruyen millones de hectáreas de madera y otros valiosos productos forestales, así como los servicios ambientales que los bosques proporcionan a la población (FAO, 2005).

La principal causa de los incendios forestales registrados en el Distrito Federal recaen en la quema de pastizales en un 95%, por actividades agrícolas 3%, fogatas y vandalismo 1% y otro 1%, son ocasionados como medida para lograr un cambio de uso de suelo, principalmente para la construcción de viviendas, esto debido al incesante crecimiento de la ciudad (Paré, 1999). Considerando a los pastizales como una fuente de forraje para el ganado que es dejado en libertad en áreas seleccionadas, durante la época de secas es frecuente que quemen estos pastizales con el propósito de obtener renuevos para el consumo de los animales (CORENADER, 2002). En la Tabla 1.1 se presenta el porcentaje de causas de incendios forestales.



**Tabla: 1.1 Causas de incendios forestales en el Distrito Federal.**

<b>Causas</b>	<b>% Estimado</b>
Quema de pastos	95
Actividades agrícolas	3
Fogatas y vandalismo	1
Otros	1

Fuente: CORENADER, 2002.

### **1.1 JUSTIFICACIÓN.**

En las últimas décadas los recursos naturales han sido impactados drásticamente por fenómenos como los incendios forestales, que es uno de los factores destructivos más persistentes y que inciden en mayor grado en el deterioro de los ecosistemas naturales (García, 1998). La identificación de las áreas más vulnerables y más propensas a padecer las consecuencias de los incendios, ayudará a poder tomar medidas para mitigar los efectos de los mismos dentro del área de estudio. El objetivo del presente trabajo es adaptar y aplicar un índice de peligro de incendio, que permita identificar de manera puntual las áreas que se encuentren en más alto nivel de peligro y de esta forma establecer una base para futuras acciones precisas que ayuden a contener los efectos destructivos de este fenómeno.

### **1.2 ANTECEDENTES.**

En el año 2000 se quemaron en todo el mundo más de 350 millones de hectáreas de bosques, un 95 por ciento fue causado por actividades humanas (FAO, 2003). La continua expansión de la agricultura y otras formas de conversión de la tierra en los países en desarrollo, un incremento del uso de los bosques para fines recreativos y turísticos tanto en dichos países como en los desarrollados, y la constante expansión de las ciudades y suburbios en casi todos los países, son algunos de los factores que contribuyen a la creciente sensibilización mundial sobre el problema de los incendios forestales.

No es posible afirmar de manera concluyente que a nivel mundial los incendios registren una tendencia ascendente a largo plazo, ya que los datos históricos disponibles sólo se

refieren a una pequeña minoría de países. Sin embargo, los problemas experimentados por los distintos países y regiones son tales, que un número cada vez mayor de gobiernos consideran el problema de los incendios como una cuestión prioritaria que requiere mayor atención en las políticas y una asignación de recursos más generosa (FAO, 2005).

Recientes estudios han revelado, que los incendios forestales, han participado de manera muy activa, en la emanación de gases a la atmósfera, siendo el principal, el bióxido de carbono, que es un gas de efecto invernadero y contribuye el calentamiento global de la tierra (Mckenzie, 2004). En 1998 con el fenómeno de “El Niño” el problema de los incendios forestales se agudizó a nivel mundial. Una de las zonas más afectadas fue el Sureste Asiático donde se presentaron incendios sin precedentes que emitieron toneladas de partículas suspendidas a la atmósfera causando graves daños a la salud (Eaton y Radojevic, 2001). El problema de los incendios forestales en México y en el mundo, está directamente relacionada con las condiciones atmosféricas en aquellos países que cuentan con una temporada de estiaje bien definida, y con las causas que los originan en las áreas forestales (SEMARNAP, 2000).

Sin embargo, en México el fuego ha formado parte de la rica mitología prehispánica. Sobre todo en el campo de la agricultura. Por ejemplo, el sistema de roza-tumba-quema se remonta a los pueblos nativos de América, cómo los olmecas y los mayas. Ellos se percataron de que las parcelas con roza y siembra otorgaban menos beneficios que las cenizas que enriquecían al suelo con propiedades nutrimentales y que en muchos casos eliminaban plagas y maleza (True, 2001). Es por ello que el sistema ha prevalecido hasta nuestros días como la forma más práctica para sembrar. Pero, este tipo de prácticas en la mayor parte de los casos no son preparadas para evitar que el fuego adquiriera el carácter de destructivo e incontrolable (Pérez, 2005). Es a partir de los inicios del siglo pasado cuando el gobierno mexicano empieza a tomar algunas medidas de protección contra los incendios y es con la publicación de la primera Ley Forestal, del 24 de abril de 1926, en que se reflejan las primeras disposiciones oficiales para tomar medidas contra los incendios.

En México cada año se presentan incendios forestales de diversas magnitudes, de acuerdo con las condiciones climáticas y meteorológicas. De 1970 a 2000 han ocurrido anualmente

en promedio 6,616 incendios forestales, con una superficie afectada promedio por año de 222,481 ha (alrededor de 34 ha por incendio). Afortunadamente más de 80% ha correspondido a arbustos y matorrales, vegetación que se renueva rápidamente (SEMARNAP, 2000).

La peor temporada de incendios forestales en la historia escrita del país, se registró en el año de 1998, en el cual se presentaron 14,445 incendios forestales, afectando 849,632 ha. Esto debido al fenómeno climatológico denominado “El Niño” que tuvo un fuerte impacto a nivel mundial, provocando extremas sequías en unas partes del planeta y lluvias torrenciales e inundaciones en otras (Paré, 1999). El fenómeno ocasionó que en los primeros cinco meses de 1998 se registraron las temperaturas más elevadas del siglo XX. Así, durante los meses de abril y mayo de 1998 se establecieron registros máximos de sequía, en comparación con las cifras históricas disponibles. Esto junto con los marcados decrementos en los intervalos de precipitación que influyeron de manera decisiva, tanto en el incremento de los incendios generados, como en el comportamiento extremo de los mismos.

El fenómeno “El Niño” para México, provocó disturbios en el clima, habiéndose registrado como se indicó, una sequía extrema y temperaturas muy variables. Estos cambios extremos colapsaron la vegetación, además con la presencia de fuertes vientos dieron origen a numerosos incendios de difícil control (Trápaga, 2002).

La magnitud de los incendios en la temporada de sequías de 1998 fue de tal naturaleza que puso en la agenda nacional el tema de la destrucción de áreas forestales, pérdidas económicas y daños a la salud por efecto de los incendios. Al 15 de julio ya se habían reportado 14,136 incendios que habían quemado 540,859 ha. La incidencia duplicaba el promedio anual del periodo 90-97 que había sido de 6,792 incendios anuales con una superficie afectada de 181.2 miles de ha (Paré, 1999).

Los efectos han sido devastadores, basta mencionar la pérdida de especies por la destrucción del hábitat y el número de especies en riesgo. De 1900 a la fecha, ha causa de los incendios, han desaparecido 11 especies de plantas superiores, dos de anfibios y

reptiles, 20 de aves y 10 de mamíferos (SEMARNAP, 2000). También se encuentran en riesgo de extinción 32 especies de mamíferos, 30 de aves, 13 de reptiles y 56 de plantas. Además de las elevadas emisiones de bióxido de carbono a la atmósfera (Paré, 1999).

En la delegación Milpa Alta cada año se presenta este fenómeno con cuantiosos daños al ecosistema forestal y provoca anualmente importantes pérdidas económicas (Rodríguez-Gamiño y López-Blanco, 2003). La superficie afectada por los incendios en la delegación es de 3,215.41 ha lo que equivale al 64.24% del territorio estudiado. Es necesario señalar que este porcentaje se refiere a zonas afectadas en el periodo de 1994 a 2003, pues si se consideran los últimos 20 años ascendería a 80% del territorio.

El 90% de los incendios presentados han sido superficiales afectando la regeneración del sotobosque, pastos y la corteza de los árboles adultos, en virtud de que son constantes los incendios, a largo plazo también afectan sus raíces provocando su derribo. Solo un 10% han sido de afectación de copa, estos incendios regularmente inician como incendios superficiales, sin embargo, al encontrar material combustible se incrementa la intensidad y quema la corteza, fuste y copa de los árboles (CORENADER, 2002). Siendo las zonas de mayor riesgo el Tláloc, Texalo, Ocotecatíl y el piedemonte frente al Cilcuayo. La Comisión de Recursos Naturales (CORENA) ha implementado diversos programas, que cuentan con brigadas, infraestructura y brechas cortafuego construidas en lugares estratégicos.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **Objetivo general.**

Realizar una evaluación general de los incendios forestales dentro de la delegación Milpa Alta, Distrito Federal, misma que servirá como base para la aplicación de un índice de peligro de incendio, tomando en cuenta factores como la frecuencia de eventos en el área, en los últimos diez años (1996-2006) y las condiciones físico-geográficas que van a contribuir en mayor o menor medida al inicio y propagación de un incendio.

#### **Objetivos particulares.**

- Identificar y determinar los distintos factores que influyen en la ignición y propagación de un incendio, como: propiedades del relieve, combustibles sobre el suelo,

vegetación, servicios (vías de acceso y áreas de recreación), manejo silvícola y variables meteorológicas.

- Hacer una ponderación que determine el grado de influencia, que tiene cada factor para la generación y propagación de un incendio.
- Adaptar el índice de peligrosidad aplicado por Martínez *et al.* (1990), que permite hacer una regionalización dentro de la delegación Milpa Alta con diferentes niveles de peligro (alto, medio y bajo)
- Construir un mapa de índice de peligrosidad del área de estudio que permita localizar de manera gradual las áreas de mayor ó menor susceptibilidad a la presencia de un incendio.

#### **1.4 MARCO TEÓRICO.**

La protección contra los incendios forestales es una de las actividades más importantes en todos los países con recursos forestales. Los programas de protección y control de incendios se remontan a principios del siglo XX, siendo Estados Unidos el pionero en su elaboración. Show y Clarke (1953) mencionaron que el Servicio Forestal de Estados Unidos, con el propósito de lograr una mayor eficiencia en la prevención y lucha contra los incendios, delimitó desde 1953 las zonas de acuerdo a su probabilidad de siniestros. Esta clasificación se denominó “Zonas de incendios”. Agregaron que este concepto fue una contribución muy práctica para el planeamiento de la política contra incendios. La asignación de las zonas está basada en registros, en los cuales aparecen los lugares donde se han iniciado los incendios. Asimismo, que las áreas de alta probabilidad se localizan por lo regular a lo largo de las carreteras principales, en los sitios en que se realiza una explotación maderera intensiva y donde las zonas de pastoreo están contiguas a los terrenos forestales.

La delimitación de zonas y la evaluación del peligro de incendio fue aplicada por primera vez por Gisborne, Show y Clarke (1953), de la Estación Experimental del Norte de Las Montañas Rocallosas. Después de este, surge el sistema canadiense para evaluar los peligros de incendio y determinar la forma de lucha. Éste comprende un índice numérico que contempla el peligro, la descripción del tipo de incendio y las medidas administrativas

a seguir.

Salazar y Power (1988) trabajaron en el Parque San Bernardino en el Distrito Forestal de San Jacinto en Estados Unidos. Los elementos considerados dentro de este sistema son: topografía, uso de suelo, tipos de vegetación, hidrología, climatología, formas de registro de incendios, mapas con el historial de la ocurrencia de incendio, el tratamiento dado a los combustibles, sitios de muestreo y tipos de suelo.

Hudson y Salazar (1981) señalaron que la protección contra los incendios en América Latina fue introducida a los bosques de coníferas de Centroamérica en 1927. Los programas de protección en México habían sido nulos, y no es sino hasta la promulgación de la primera Ley Forestal en 1926, cuando la lucha contra los incendios adquiere una definición más clara. No obstante, puede decirse que es en los últimos 30 años cuando se ha logrado tener un mejor control, debido a que se han modernizado los sistemas, las herramientas y equipos de combate de incendio.

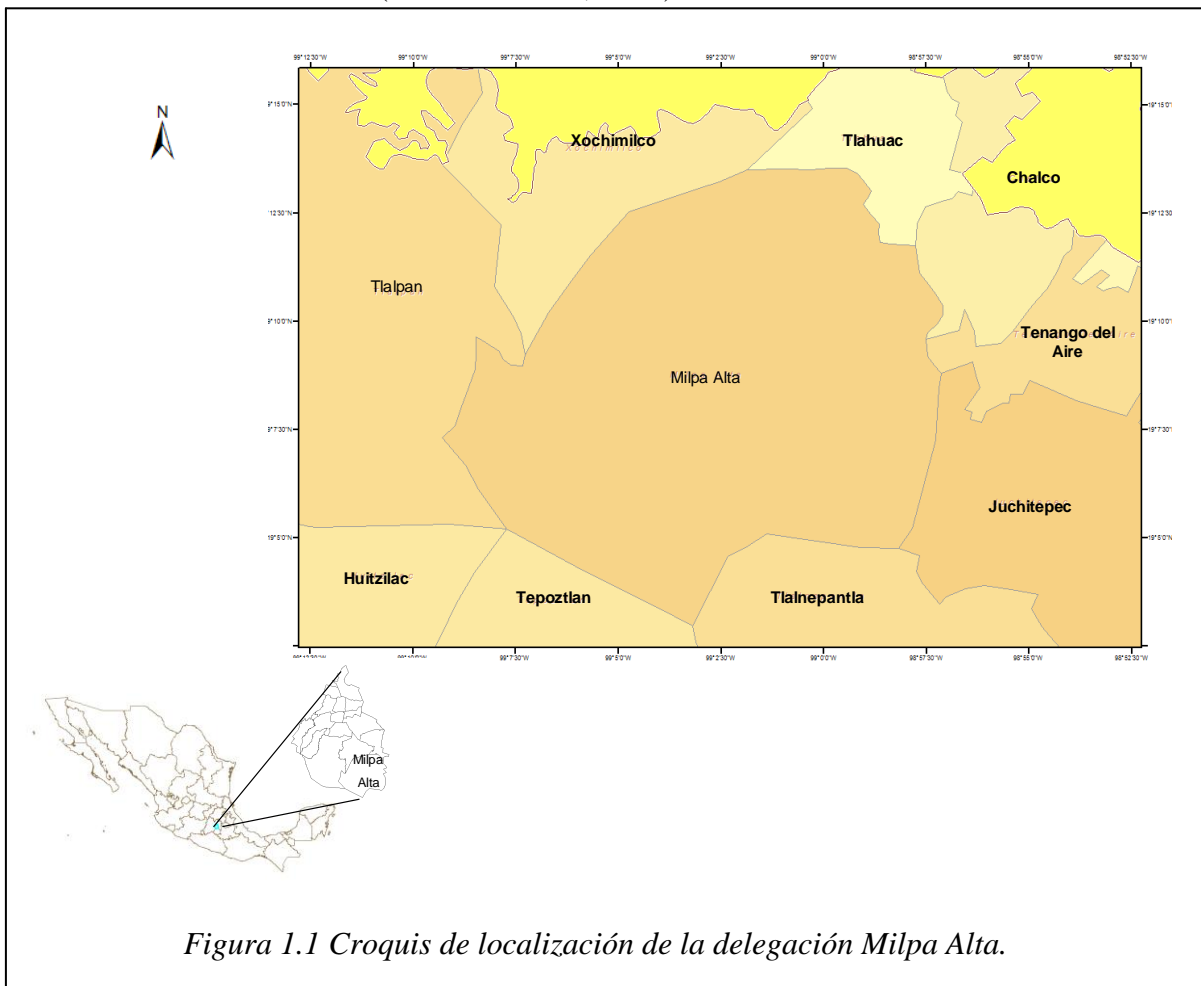
Los estudios desarrollados en México han sido esfuerzos aislados que consideran principalmente la carga de combustibles forestales y algunas variables meteorológicas (Magaña, 1985; Zapata, 1991; Santillán, 1993). Destaca el trabajo realizado por Sepúlveda *et al.* (1999), quienes obtuvieron índices de peligro de incendios analizando espacialmente modelos de combustibles y variables meteorológicas en Baja California.

A nivel nacional ha sido adoptado el modelo canadiense de peligro de incendios (SEMARNAT, 2001). Sin embargo la necesidad de conocer con mayor detalle las áreas con peligro de incendios e incorporarlas al manejo forestal, es una prioridad considerada por la mayoría de los poseedores y administradores de los recursos forestales (Verástegui *et al.*, 2005).

Dentro del estado de Jalisco, la Jefatura del Programa Forestal, con base en la ocurrencia histórica de incendios ha establecido zonas de alto riesgo de incendio forestal. No obstante esta delimitación aún no es muy precisa debido a que no consideran otros elementos, como son la vegetación, las condiciones meteorológicas y la recreación, entre las más importantes (Jefatura del Programa Forestal en Jalisco, 1987).

## 1.5 ÁREA DE ESTUDIO.

Milpa Alta es una comunidad, enclavada en el sur del Distrito Federal, su territorio pertenece a la delegación política de Milpa Alta. Cuya ubicación geográfica se encuentra a los 19°13'00'' Latitud Norte, y a los 98°57'00'' y 99°10'00'' Longitud Oeste. Su territorio colinda hacia el Norte con la delegación Xochimilco y Tláhuac; al Este con el estado de México, principalmente con los pueblos de Chalco, Tenango del Aire y Juchitepec, asimismo, colinda hacia el Sur con los pueblos de San Francisco Tlanepantla y Tepoztlán en el estado de Morelos y en el Oeste con las delegaciones Tlalpan y Xochimilco (Figura 1.1). Su territorio abarca una superficie de 28,464 ha, de las cuales 26,930 ha se mantienen como Área de Conservación (CORENADER, 2002).



### 1.5.1 Geología.

La historia geológica del área de estudio muestra que ha sido sometida a grandes procesos

tectónicos y volcánicos que se remontan al Terciario Superior, cuando se formó la zona de fracturamiento profundo de la corteza terrestre denominado Clarión o de Humboldt que atraviesa la porción sur de la Cuenca de México (Mooser, 1963). Este fracturamiento tiene un ancho de aproximadamente 20 km y conforma tres bloques que sufren movimientos verticales de hundimiento lento y horizontales de oeste a este. El nacimiento y el posterior desarrollo de esta faja obedece a las grandes presiones ejercidas desde el manto terrestre hacia la superficie y la inyección de lava en las capas inferiores de la corteza terrestre, de modo que se fueron formando lentamente zonas de abultamientos que posteriormente derivaron en erupciones volcánicas ya en el Cuaternario. Grandes volcanes se elevaron en este proceso como el Popocatepetl y el Iztaccíhuatl; del mismo modo, el Ajusco, Chichinautzin, Tláloc y Cilcuayo, conformando lo que hoy conocemos como La Sierra del Chichinautzin. Las monumentales masas de lava que el vulcanismo desarrolló en el área, trajo como consecuencia inmediata y directa el cierre de la Cuenca de México, ya que antes de la formación de esta serranía, las aguas drenaban libremente hacia el Sur, siendo un afluente más del Río Balsas (Naranjo et al., 2002).

Dada la relativa juventud de esta formación geológica (menos de 1 millón de años) y que en la actualidad se encuentra en pleno desarrollo, presenta una litología fundamentalmente de rocas ígneas extrusivas, tobas, brechas y basaltos (Naranjo et al., 2002). De acuerdo con la Carta Geológica del INEGI (1984) a escala 1:250,000 en la delegación se encuentra que casi toda el área, con excepción de algunas pequeñas zonas de acumulación de materiales intemperizados, una base de rocas ígneas, principalmente del tipo extrusivo básico y de toba basáltica que conforman casi el 80% del territorio.

### **1.5.2 Hidrología.**

El área de estudio conforma el parteaguas que divide dos grandes regiones hidrológicas del país. Por un lado la región RH26 Pánuco que drena sus aguas hacia el Norte, es decir, hacia la cuenca de México y, de manera artificial, al Río Pánuco. Hacia el Sur, la región RH18 Balsas que a su vez desagua en la cuenca del mismo nombre (Naranjo *et al.*, 2002).

A continuación se presenta la Tabla 1.2 de las regiones, cuencas y microcuencas hidrológicas de la delegación Milpa Alta.



**Tabla 1.2 Regiones, cuencas y microcuencas hidrológicas de la delegación Milpa Alta.**

Región Hidrológica	Cuenca	Subcuenca	Microcuenca	Superficie en ha	Superficie %
RH26 Pánuco	Río Moctezuma	Lago de Texcoco Zumpango	Tláloc	1,735	34.1
			Cilcuayo	1,451	28.5
RH18 Balsas	Río Grande de Amacuzac	Río Huauatla	Nepanapa	1,904	37.4

Las corrientes de aguas superficiales en la zona de estudio concuerdan con las que se encuentran en toda la Sierra del Chichinautzin. Fundamentalmente son de régimen torrencial e intermitente y dada la relativamente reciente formación geológica del relieve (mucho menor a 1 millón de años) y a su compleja estructura geomorfológica, el patrón de drenaje no ha desarrollado un sistema hidrográfico de corrientes permanentes bien definido, se caracteriza por tener una configuración incipiente radial en derredor de las principales elevaciones como los volcanes Tláloc y el Cilcuayo. A pesar de esto, la zona se caracteriza por presentar condiciones geológicas que le confieren una alta capacidad de infiltración de agua (Naranjo *et al.*, 2002).

De acuerdo con el Gobierno del Distrito Federal y la Secretaría del Medio Ambiente (2000), las microcuencas Cilcuayo y Tláloc, con una infiltración de 16.5 y 21.8 millones de m<sup>3</sup>/año. Tienen una precipitación media de 25.5 y 37.6 millones de m<sup>3</sup>/año y aportan un escurrimiento de 9 y 15.8 millones de m<sup>3</sup>/año respectivamente.

### **1.5.3 Clima.**

Como toda la Cuenca de México, el área de estudio se encuentra influenciada por las condiciones generales de circulación atmosférica dominantes del centro del país. Durante el verano, la zona subtropical de alta presión se encuentra desplazada hacia el Norte, el anticiclón de las Bermudas se mueva hacia el Oeste dentro del Golfo de México, produciendo fuertes vientos alisios. Estos, al atravesar el Golfo de México se recargan de

humedad y llegando a la zona continental mexicana ascienden por la Sierra Madre Oriental disminuyendo su temperatura, provocando consecuentemente abundantes lluvias en casi toda la cuenca. Las condiciones locales del relieve hacen que los vientos que atraviesan la Cuenca de México sigan un curso en general de Noreste a Sureste (Naranjo *et al.*, 2002).

En el invierno, el centro subtropical de alta presión se mueve hacia el Sur con la consecuente disminución de la fuerza de los vientos alisios y su influencia queda disminuida a la región Sureste de la república. Los vientos dominantes en esta época del año se ven influenciados por los vientos de Oeste, que por la gran altitud de la cuenca (> a 2,000 msnm), son predominantemente secos y en algunas ocasiones sufren perturbaciones atmosféricas que promueven descensos en la temperatura y algunas precipitaciones en las partes altas de las montañas en forma de nieve. Asimismo, se trasladan hacia el Sur ondas frías (vientos secos y fríos) y masas de aire polar continental (vientos húmedos y fríos) que recogen humedad en el Golfo de México originando los llamados Nortes. Estos provocan descenso de la temperatura, gran nubosidad y precipitaciones de tipo frontal que llegan a durar varios días. También durante la temporada verano-otoño las condiciones de precipitación en la cuenca se ven favorecidas por las tormentas y ciclones tropicales (Naranjo *et al.*, 2002).

La temperatura promedio en las regiones montañosas de la cuenca oscila entre 7 y 12°C aunque existen algunas partes con temperaturas entre los 12 y 14°C disminuyendo conforme se asciende en altitud. Naranjo *et al.*, (2002) reporta que el promedio de la temperatura media llega a ser de alrededor de los 8°C.

La precipitación en la zona de Milpa Alta abarca intervalos que oscilan entre los 600 y los 1,000 mm anuales. El incremento de la precipitación sigue un gradiente altitudinal y se distribuye de Noreste a Suroeste. De este modo las precipitaciones más altas de la región se encuentran en la porción Suroeste. Alrededor del 65% del territorio está entre los 600 y 800 mm, el 22% entre 800 y 1,000 mm y el 13% presenta precipitaciones por debajo de los 600 mm (Naranjo *et al.*, 2002).

El clima que presenta el área, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificado por García (1988), es C(w<sub>2</sub>)(w) que significa templado subhúmedo con lluvias en verano, una temperatura media anual de 14.4°C y una precipitación anual de 879.9 mm.

La precipitación es heterogénea en su distribución, ya que se presentan precipitaciones de 1,200 mm anuales en las partes altas y en las áreas mas bajas se registran 580.6 mm anuales, en promedio (IMTA, 1996).

#### 1.5.4 Suelos

De acuerdo con la clasificación de suelos de la FAO, en el área de estudio se encuentran representados en mayor proporción por los Andosoles húmicos y ócricos, y Litosoles (Tabla 1.3). También se encuentra una pequeña proporción de otros suelos como Regosol éutrico y Feozem háplico (Naranjo *et al.*, 2002, FitzPatrick, 1984).

**Tabla: 1.3 Unidades y asociaciones de suelos.**

Asociación	Nombre	Clase textural	Superficie (ha)	Total %
I+Th/2	Litosol+Andosol húmico	Media	4,088.9	80.3
Th+I/2	Andosol húmico+ Litosol	Media	375.3	7.4
Th+To/2	Andosol húmico+Andosol ócrico	Media	318.0	6.2
Th/2	Andosol húmico	Media	177.1	3.5
Re+Th/2	Regosol éutrico+Andosol húmico	Media	61.7	1.2
Re+Hh/1	Regosol éutrico+Feozem háplico	Gruesa	59.4	1.2
Hh+Re/1	Feozem háplico+Regosol éutrico	Gruesa	8.1	0.2
Th+Re+I/2	Andosol húmico+Regosol éutrico+ Litosol	Media	5.0	0.1
Total			5,093.5	100.0

Fuente: INEGI (1984).

Litosol. Estos suelos son delgados de escaso desarrollo y están limitados en profundidad por un estrato duro, continuo y coherente dentro de los 10 cm superficiales. En el área de estudio están muy bien representados, pues abarcan, en asociación con los Andosoles húmicos, la mayor parte del área (más del 80%).

Andosol húmico y ócrico. Los Andosoles húmicos son suelos que se han derivado de materiales volcánicos como cenizas vítricas, escorias y otros materiales piroclásticos. Presentan una superficie de hojarasca suelta sobre un horizonte superior con humus de color pardo oscuro a negro, con textura de migajón y que puede tener 30 cm de profundidad. También pueden presentar un horizonte B cámbico de color pardo a pardo

amarillento entre 20 y 30 cm de espesor y con una estructura angular o subangular de bloques. Este horizonte con la profundidad pasa a ser ceniza volcánica con poca alteración. El contenido de arcilla no pasa en general de 20 a 25% y va disminuyendo con la profundidad. Casi todos los horizontes que los constituyen son esponjosos y con una alta porosidad que llega a ser de hasta 70%. Estos suelos son de moderados a fuertemente ácidos en la superficie pues llegan a presentar pH de hasta 4.5, con la profundidad el pH incrementa hasta 6.0 en los horizontes con cenizas volcánicas. Presenta un alto contenido de materia orgánica en el horizonte superficial, debido a esta característica, la capacidad del intercambio catiónico es alta. La saturación de bases es baja en el horizonte superior y se incrementa con la profundidad. Estos suelos se desarrollan en condiciones aeróbicas y tienen un flujo de agua hacia abajo, sin embargo presentan una gran cantidad de alófono por lo que tiene una importante capacidad de retención de agua y también de algunos elementos como el fósforo (Naranjo *et al.*, 2002).

Regosol eútrico. Estos suelos provienen de materiales no consolidados, no presentan propiedades hidromórficas en los primeros 50 cm de profundidad. Constituyen una etapa inicial de otros suelos y pueden presentar un horizonte de diagnóstico A ocrico ó un horizonte gléyico a más de 50 cm de la superficie. Cuando la textura es gruesa estos suelos carecen de láminas de acumulación de arcilla (Naranjo *et al.*, 2002).

Feozem háplico. Presenta un horizonte A mólico de color gris muy oscuro de hasta 50 cm de espesor. El contenido de arcillas disminuye con la profundidad. El pH en la superficie puede llegar a ser de más de 7.0 pero disminuye en su interior, al igual que la materia orgánica que es mayor a 1%. Esta se encuentra en estado de humus bien desarrollado. Son suelos que tienen un horizonte A mólico, sin horizontes gléyico ó B argílico. La fertilidad de estos suelos es relativamente buena y puede producir buenas cosechas, sin embargo requieren de fertilización de fósforo y otros elementos, así como de cal en condiciones intensivas de cultivo. Tradicionalmente se han utilizado para los cultivos de maíz y avena (Naranjo *et al.*, 2002).

### **1.5.5 Vegetación.**

De manera general y tomando en consideración las características fisonómicas, la vegetación está representada en la zona de estudio por bosques de pino, oyamel, bosque

mixto y pastizales.

Las afinidades florísticas de la vegetación en el área de estudio corresponden con la vegetación presente en la mayor parte de las montañas del Eje Neovolcánico Transversal. De acuerdo con Rzedowski (1981), el área de estudio está enclavada en la unidad fitogeográfica de la Provincia de las Serranías Meridionales, que a su vez forman parte de la Región Mesoamericana de Montaña, una unidad fitogeográfica transicional entre los reinos Holártico y Neotropical, que se caracteriza por presentar estratos arbóreos de especies “holárticas” y un sotobosque donde las especies “neotropicales” son muy abundantes.

Conforme a la clasificación de la vegetación realizada por Rzedowski (1981), en el área convergen y se han descrito cinco comunidades vegetales agrupadas en tres tipos de vegetación (Tabla 1.4).

### **Los pastizales: zacatonal subalpino y pastizal de pradera**

Los zacatonales subalpinos son pastizales que se desarrollan en zonas por encima del límite superior de la distribución de la vegetación arbolada, sin embargo, en el área de estudio se encuentran por debajo de este límite. Son considerados como una etapa sucesional de los bosques de coníferas perturbados, favorecida principalmente por los incendios ligados al pastoreo. Presentan generalmente dos estratos de gramíneas amacolladas, una con una altura de 50 cm o más, y otra superficial. Presentan una cobertura del suelo mayor al 75% y las siguientes especies características: *Festuca tolucensis*, *Muhlenbergia macroura*, *Calamagrostis tolucensis*, *Alchemilla procumbens*, *Arenaria lycopodioides*, *Potentilla candicans*, *Festuca amplissima*, *Muhlenbergia quadridentata*. En el área de estudio los pastizales en general se encuentran entre los 3,280 y los 3,480 msnm (Naranjo *et al.* , 2002).

**Tabla: 1.4 Tipos de vegetación en el área de estudio.**

Tipo de vegetación	Comunidad vegetal	Asociaciones	Vegetación del área de estudio	Superficie ha	Área Total
Bosque mixto de Coníferas	<i>Pinus hartwegii</i>	<i>Muhlenbergia, quadridentata-Pinus hartwegii, Festuca toluensis-Pinus hartwegii</i>	<i>B. de Pinus hartwegii</i>	2,993.8	58.8
	<i>Pinus montezumae</i>	<i>Festuca toluensis-Pinus montezumae, Muhlenbergia quadridentata-P. montezumae</i> <i>Muhlenbergia macroura-P. montezumae</i>	<i>B. de Pinus montezumae</i>	1,002.7	19.7
	<i>Abies religiosa</i>	<i>Roldana angulifolia Abies religiosa, Roldana barba-johannis</i> <i>Abies religiosa, Alnus, Abies religiosa, Musgos-Abies religiosa</i> <i>Pinus Alnus, Abies religiosa</i>	<i>Bosque de oyamel</i>	310.6	6.1
			<i>B. Pinus montezumae-Pinus Abies</i>	15.8	3.1
			<i>B. Abies-Pinus</i>	197.4	3.9
	Bosques Mixtos	<i>Pinus-Alnus</i>	<i>Pinus montezumae-Alnus spp.</i>	<i>B. Pinus-Alnus</i>	211.9
<i>B. Alnus</i>				14.5	0.3
Pastizal	Zacatonal Subalpino-Pradera	<i>Trisetum spicatum, Festuca toluensis, Muhlenbergia quadridentata-M. ramulosa</i> <i>Festuca amplissima, Stipa ichu-Potentilla candicans</i>	Pastizal	203.8	4.0
			<b>Total</b>	<b>5,093.5</b>	<b>100.0</b>

Fuente: Tomado de Naranjo *et al.* (2002).

### **Bosque de coníferas**

Bosque de *Pinus hartwegii*. Son bosques que se encuentran entre 2,980 y los 3,690 msnm. Se caracterizan por presentar un estrato arbóreo dominante de esta especie de unos 20 m de altura, donde generalmente forman bosques abiertos con una carpeta de zacatón en el estrato bajo. Otras veces puede presentarse con un sotobosque arbustivo que le confiere diferentes niveles de estratificación dependiendo de su composición florística. Especies características son: *Muhlenbergia quadridentata*, *Festuca toluensis*, *Calamagrostis*

*tolucensis* y *Senecio cinerarioides* (Naranjo *et al.* , 2002).

Bosque de *Pinus montezumae*. Estos árboles miden entre 20 y 30 m de altura, están presentes en el área entre los 2,900 y los 3,320 msnm. Forman bosques más ó menos densos y en ocasiones abiertos. Presentan una estratificación variada debido a la presencia de un sotobosque herbáceo y ocasionalmente arbustivo. Especies características son: *Festuca tolucensis*, *Muhlenbergia macroura* y *Alchemia procumbens* (Naranjo *et al.* , 2002).

Bosque de *Abies religiosa*. Estos bosques se desarrollan en el área en lugares con pendientes de moderadas a fuertes y en suelos profundos, bien drenados, en condiciones de alta humedad y concentración de materia orgánica. Está constituido por varios estratos. El estrato superior lo conforman árboles de *Abies religiosa* y ocasionalmente se mezclan con *Pinus* sp. Es posible encontrarlos en el área de estudio entre los 2,980 y los 3,460 msnm. Algunas especies del sotobosque son: *Senecio angulifolius*, *Senecio barba-johannis* y *Buddleja sessiliflora* entre otras (Naranjo *et al.* , 2002).

**Bosque mixto de *Pinus montezumae*-*Alnus* spp.** El bosque mixto es una comunidad donde conviven especies de pinos y ailes. En el área de estudio es posible encontrarlo entre los 3,280 y los 3,560 msnm. Está comunidad se presenta en el área de estudio con dos ó tres estratos. Un estrato arbóreo de *Pinus montezumae* y *Alnus* spp de alrededor de 30 m de alto. Un estrato herbáceo de gramíneas y en ocasiones un estrato herbáceo rasante. Las especies características son: *Pinus montezumae*, *Alnus acuminata*, *Alnus jorullensis*, *Muhlenbergia macroura* y *Muhlenbergia quadridentata* (Naranjo *et al.*, 2002).

## **1.6 MARCO CONCEPTUAL**

Las definiciones o conceptos que se mencionan a continuación, han sido tomados de estudios de autores especializados. Los términos y sus definiciones se consideraron apropiados para este estudio.

### **1.6.1 Bosque**

El bosque es una de las formas de vida fisonómicas básicas, por medio del cual las comunidades bióticas pueden ser clasificadas ó definidas en función de los árboles que lo

componen, que son los que le dan a la comunidad su fisonomía característica (Spurr. y Barnes, 1980). Los bosques son de gran importancia ecológica y económica, debido a los recursos naturales existentes que contribuyen a la dinámica de la biosfera y al ciclo hidrológico, entre otras. Estas comunidades forestales se desarrollan en un ambiente biofísico compuesto por la atmósfera que rodea las porciones aéreas y el suelo que incluye las capas subterráneas (Spurr y Barnes, 1980).

### 1.6.2 Fuego

El fuego, es conocido como la liberación de energía en forma de luz y calor, debido al proceso de combustión (Aguirre, 1978). Para que éste exista se requiere de oxígeno-calor-combustible (Figura 1.2), en donde si alguno falta, el fuego no se logra producir (Rodríguez, 1996). Ahora bien, un incendio forestal es la propagación sin control de fuego sobre la vegetación del bosque (Pritchett, 1986). De\_Bano *et al.* (1998) definen a un incendio natural como el fuego originado por la naturaleza (p.e. un rayo o un tipo de combustión espontánea), e incendio antrópico, el fuego causado por una ó más personas con ó sin motivo aparente.



Figura 1.2 Triángulo del fuego. Fuente: [www.mirabosques.com/fuegohtml](http://www.mirabosques.com/fuegohtml)

Los incendios son el fenómeno dominante en la historia forestal. La vida para muchas



especies forestales literalmente empieza y termina con los incendios. El incendio, es a la vez un factor cuyos efectos han sido incorporados desde hace mucho tiempo a las adaptaciones de las especies y a la dinámica del ecosistema forestal, inclusive la exclusión del fuego puede considerarse como una perturbación. Sin embargo, un incendio forestal puede interrumpir y alterar enérgicamente su desarrollo dependiendo de la intensidad y frecuencia del fuego (Maass y Jaramillo, 1999). Por su parte Cooper (1961), menciona que existen ecosistemas en donde los incendios ocurren naturalmente con organismos y comunidades adaptados y dependientes de ellos como las especies de pinos cuyas semillas requieren ser calentadas para su germinación.

### **1.6.3 Índice de peligro de incendio**

A través del tiempo han sido desarrollados diversos modelos para estimar el índice de peligro de incendio forestal considerando principalmente variables meteorológicas y combustibles forestales (Verastegui *et al.*, 2005).

Índice de peligro de incendio se define como la resultante de combinar varios factores de peligro que determinan ó afectan el inicio y la propagación de un incendio así como su control e intensidad (Capó, 1999).

Existen diferentes índices de peligro, entre los cuales están el índice de peligro de ignición, que se define como: un indicador cuantitativo y/o cualitativo relacionado con la facilidad con la cual los combustibles finos (pastos, vegetación herbácea, etc.), podrían encenderse cuando son expuestos a una fuente de combustión (cigarrillos, fósforos, rayos). También existe un índice de peligro de propagación definido como: un indicador cuantitativo y/o cualitativo de la velocidad de propagación pronosticada para el fuego en un determinado tipo de combustibles, una determinada pendiente y bajo condiciones meteorológicas específicas (GAF, 2006).

Vélez (1968) lo define como un número que refleja anticipadamente la posibilidad de que se produzca un incendio, así como la facilidad de que se propague, de acuerdo con las condiciones atmosféricas del período. Su conocimiento es fundamental dentro de un plan

de defensa de los bosques contra los incendios. El peligro de incendio es la resultante de factores (variables y constantes) de peligro que afecta el inicio, propagación y dificultad para controlar siniestros, y el daño causado por ellos (Capó, 1999).

Los factores constantes son: clima, topografía (exposición y pendiente) y radiación solar. Los factores variables, son humedad de los combustibles, viento, temperatura, presión barométrica, precipitación (cantidad, duración, estacional acumulada y número de días desde la última lluvia). Las variaciones anuales de la precipitación también se toman en cuenta, así como el punto de rocío, la condición de la vegetación, el riesgo de incendio ó fuentes de ignición y la visibilidad (Brown y Davis 1973).

Para que sea efectivo este índice, cada parte debe contar con información detallada sobre los principales factores que lo determinan. Por ejemplo, la propagación y el daño potencial del incendio dependen del combustible existente, la humedad relativa del aire, la velocidad y la dirección del viento y la topografía del terreno (Capó, 1999).

Garrido (1991) propuso una metodología basada en un esquema del Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza en España, modificado en parte por el mismo autor. En ese esquema (Figura 1.3) está muy clara la relación entre índice de riesgo y peligro de incendio.

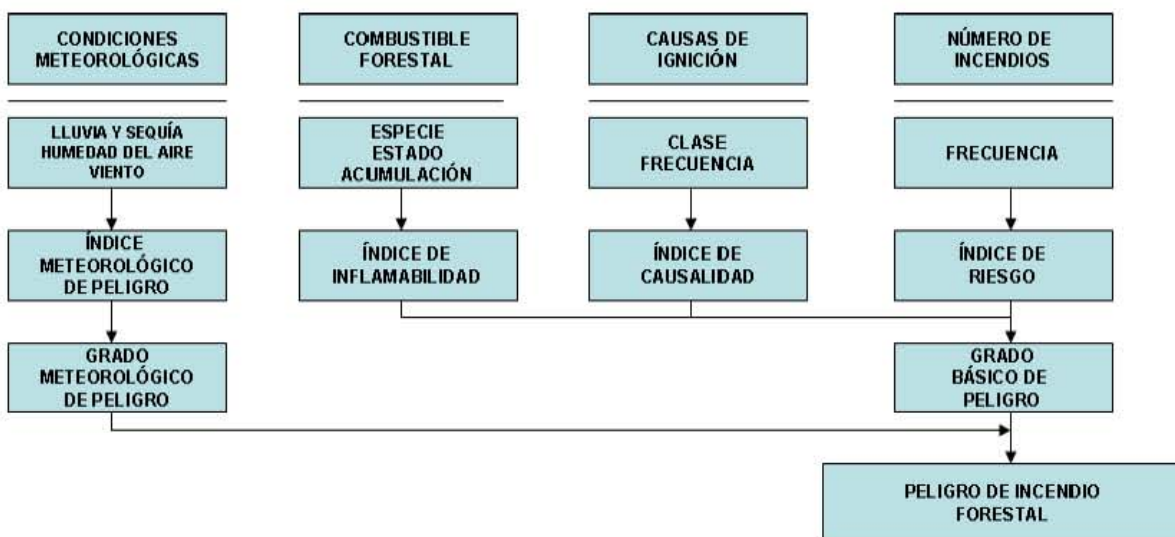


Figura 1.3. Esquema del sistema de predicción básico del peligro de incendio forestal. Fuente: Garrido (1991).

Es bien sabido que las áreas de mayor posibilidad de incendio son las que están cerca de caminos, carreteras ó poblados, y también en áreas de fuertes pendientes, sitios de pastoreo, lugares de recreo, áreas en aprovechamiento maderable, etc. (Flores, 1996).

De acuerdo con Martínez *et al.* (1990) y Flores (1996), autores que se han tomado como base para la definición del Índice de Peligro, se consideraron aquellos aspectos que influyen en la presencia y propagación de incendios. A continuación se señalan y se describe, brevemente la importancia de ellos.

#### **1.6.4 Hojarasca**

*Mantillo.* La acumulación de hojarasca es uno de los principales elementos que contribuyen a la incidencia de incendios, ya que de su presencia y espesor depende la magnitud que adquiere un incendio. Esto es debido a que la capa de hojarasca actúa como una “mecha”, a través de la cual se va difundiendo el fuego. Generalmente esta difusión es por medio de la capa inferior de la hojarasca, lo que hace que en ocasiones sea difícil de detectar el avance del fuego y, lo que es más importante, si en verdad este se ha extinguido. Esta hojarasca forma parte de los combustibles ligeros (Martínez *et al.*, 1990).

#### **1.6.5 Topografía**

*Pendiente.* La inclinación de los terrenos es muy determinante, ya que, combinada con otros agentes como el viento, influyen directamente sobre la velocidad de propagación de incendio. Generalmente esta velocidad aumenta con relación a una mayor pendiente del terreno. Se ha determinado que un incendio que se desarrolla sobre una superficie plana (hasta de 5% de pendiente), se llega a propagar al doble de velocidad cuando alcanza una pendiente del 30%; a su vez esta velocidad se duplica otra vez al aumentar la pendiente al 55% (Martínez *et al.*, 1990).

*Exposición.* La orientación que guardan los terrenos es fundamental para la insolación que

reciben los bosques. En México los terrenos con exposición sur son los que reciben una mayor incidencia de rayos solares, razón por la cual es donde se localizan las mayores temperaturas, la humedad relativa más baja y los vientos de mayor intensidad, las anteriores son condiciones favorables que aumentan la probabilidad de incendio (Martínez *et al.*, 1990).

*Altitud.* La altitud ejerce una influencia notable en varios de los aspectos que favorecen la probabilidad de incendio. Entre los principales se tiene a la temperatura, la humedad relativa, la precipitación y los tipos de vegetación. Como ejemplo se puede señalar que en altitudes bajas se presentan mayores temperaturas, lo que favorece a que el material combustible natural está más seco, lo cual aumenta considerablemente la probabilidad de un incendio (Martínez *et al.*, 1990).

#### **1.6.6 Materiales combustibles**

*Combustibles pesados.* En este grupo se encuentran las ramas, tallos, troncos y los residuos de aprovechamiento, ya sea de árboles ó de arbustos. También se consideran árboles muertos, ya sea en pie ó tirados. La inflamabilidad de los combustibles (ligeros ó pesados), está sujeta a diferentes características, como son: la cantidad de combustibles, el tamaño y forma de los mismos, la humedad que contiene y la presencia de sustancia químicas, por ejemplo, la resina en las coníferas. Además, debe considerarse que la cantidad de materiales combustibles puede llegar a ser del orden de 25 toneladas por hectárea, siempre y cuando no se haya presentado algún fuego (Martínez *et al.*, 1990).

#### **1.6.7 Vegetación**

*Conífera.* Este es el tipo de vegetación más susceptible al fuego, ya que tiene un aporte constante de hojarasca al suelo y una rápida deshidratación de sus hojas verdes. Además la resina que produce (principalmente el género *Pinus*), representa un peligro como combustible, acelerando la propagación del fuego. Debido a lo anterior son los bosques de coníferas los que sufren más pérdidas por este tipo de siniestros. Los bosques con masa

pura de pinos o con dominancia de los mismos son los que mayor peligro de incendios muestran, además de que, una vez ocurrido un fuego, el período crítico para que pueda ocasionarse otro es muy corto. Se ha estimado que el material combustible vuelve a alcanzar un nivel crítico en cinco años (Martínez *et al.*, 1990).

*Latifoliada.* A pesar de que este tipo de vegetación logra una gran acumulación de hojarasca y de combustibles pesados, no llega a presentar estragos tan considerables como los generados en los bosques con dominancia de pinos. Sin embargo, el material combustible que generan no deja de ser un peligro potencial para la generación de incendios (Martínez *et al.*, 1990).

*Vegetación herbácea y arbustiva.* Esta vegetación, si bien no contribuye con grandes cantidades de combustibles, se debe tomar en cuenta, ya que generalmente no es en los árboles donde se originan los incendios si no en los estratos más bajos. Estos últimos son los constituidos por hierbas y arbustos. Además, este tipo de vegetación es la primera que se desarrolla después de un incendio, siendo altamente susceptible al fuego (Martínez *et al.*, 1990).

*Zonas agrícolas.* Esta actividad es una de las causas importantes de incendio, debido principalmente a la proliferación de “coamiles” (pequeña superficie del bosque donde se quema la vegetación natural para poder establecer algún cultivo). Dichas quemas se realizan sin llevar a cabo las precauciones necesarias por lo que su práctica constituye un peligro potencial para el desarrollo de incendios. De acuerdo con lo que establece la Ley Forestal, en lo relativo al cambio de uso de suelo, estos “coamiles” son ilegales (Martínez *et al.*, 1990).

*Pastizales.* Al escasear el forraje verde durante la época de secas, algunos campesinos, para alimentar a su ganado, acostumbran a quemar los zacatones y pastos naturales viejos para obligar el brote del “pelillo” verde. En ocasiones dichas quemas salen fuera del control de los campesinos provocando incendios forestales (Martínez *et al.*, 1990).

### **1.6.8 Servicios**

*Vías de acceso.* La existencia de caminos dentro de los macizos forestales constituye un alto peligro, debido el gran número de personas que frecuentemente transitan y que por

descuido ó mala intención provocan la mayor parte de los fuegos (Martínez *et al.*, 1990).

*Zonas de recreación.* El punto anterior y éste guardan una estrecha relación, ya que al contar con una vasta red de caminos, los paseantes, turistas, cazadores furtivos y personas en general, logran internarse con gran facilidad a todas las áreas boscosas. Esto constituye una gran amenaza, ya que muchos de los incendios son ocasionados por esta circunstancia (Martínez *et al.*, 1990).

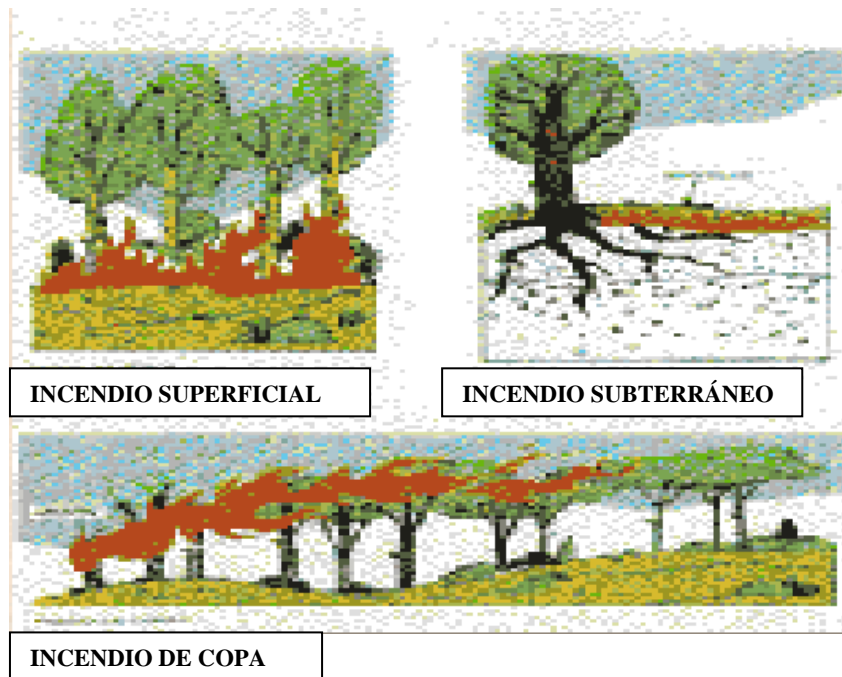
### **1.6.9 Variables meteorológicas**

*Las condiciones meteorológicas momentáneas.* Estas condiciones determinan el comportamiento del fuego y regulan en gran medida la humedad de los combustibles, esto es determinante debido a que todo tipo de material seco combustiona con mayor facilidad que el material que tiene alto porcentaje de humedad (Maass y Jaramillo, 1999).

### **1.6.10 Tipos de incendios forestales.**

Los tipos de incendios forestales de acuerdo con Rodríguez (1996), son tres: a) subterráneos, b) superficiales y c) de copa (Figura 1.4) y tres niveles de intensidad de un incendio forestal (bajo, moderado y alto). Dentro del primer tipo de incendio, se quema el mantillo y las raíces bajo la superficie del suelo no tienen llamas y pueden matar la mayor parte de las plantas por las raíces, regularmente adquieren una combustión lenta y generan altas temperaturas. Este tipo de incendio puede llegar a ser muy peligroso debido a que en la mayor parte de las ocasiones aparenta ser controlado, pero por medio de las raíces puede seguir avanzando y volver a rebrotar. Los incendios superficiales, son los más comunes en México, pues al ir avanzando consumen materiales combustibles, que se localizan en la parte superficial del suelo como el mantillo, herbáceas, troncos, arbustos y árboles jóvenes.

Los incendios de copa, consumen por completo los árboles, propagándose de copa en copa como por la superficie. Este tipo de incendios son tal vez los menos frecuentes pero son los más peligrosos y más difíciles de controlar (Cedeño, 1999).



*Figura 1.4. Tipos de incendios forestales. Fuente: Cedeño (1999).*

Niveles en la intensidad de los efectos de un incendio forestal, de acuerdo con Rodríguez (1996).

- a) Bajo. La materia orgánica es quemada por incendios superficiales que alcanzan temperaturas de hasta 250°C capaces de eliminar el tejido viviente a 2.5 cm de profundidad.
- b) Moderado. La materia orgánica se quema en el horizonte superficial y la estructura del suelo no se altera visiblemente.
- c) Alto. La materia orgánica es reducida a cenizas, el color y la estructura del suelo se ven afectadas notablemente, pueden alcanzar temperaturas de 700°C capaces de eliminar el tejido viviente a cinco cm de profundidad.

Las temperaturas desarrolladas durante un incendio forestal, se describen de acuerdo con Fassbender y Bornemisza (1994), quienes mencionan que son inconstantes y que si sobrepasan los límites biológicos pueden conducir a la esterilización parcial ó total del suelo. Las temperaturas superiores a 60°C son críticas, debido a que producen

desnaturalización de las proteínas. Entre 80 y 100°C el proceso de oxidación de la materia orgánica se acelera. Con temperaturas mayores de 300°C se desprenden nutrientes vitales del suelo como el nitrógeno, en forma de óxidos, y en casos extremos se pueden llegar a producir temperaturas de hasta 800°C, mismos que tienen el poder suficiente para matar por completo cualquier tipo de vegetación.

Por su parte Pritchett (1986), agrupó a los incendios forestales en a) naturales, b) planeados y c) prescritos:

a) Los incendios naturales, pueden ser destructivos en la cubierta forestal y el ambiente, debido a que arden lo suficiente para exterminar la mayor parte o en su totalidad, la vegetación que cubre la superficie del suelo. b) Los incendios planeados, son utilizados con el fin de generar un cambio de uso de suelo, principalmente para realizar actividades de tipo agrícola y ganadera. c) Los incendios prescritos, son necesarios debido a que son empleados para el manejo de los ecosistemas naturales con el propósito de reducir el volumen del material combustible que podría provocar incendios de gran energía; estimular la obtención de semillas para aumentar su producción; reducir enfermedades y plagas que puedan afectar directa ó indirectamente la vegetación; controlar la existencia de otro tipo de especies no deseables y estimular el hábitat de la vida silvestre.

Ahora bien, los incendios forestales tienen frecuencia, intensidad y patrón de quemado heterogéneo, para la propagación de un incendio, parte fundamental en su desarrollo son: las condiciones meteorológicas, los combustibles y la configuración del terreno (Aguado y Camia, 1998). Por lo que el comportamiento del fuego dependerá de las características antes mencionadas, mismas que deben de conocerse en la elección de una estrategia cuando se trabaja para la extinción de un incendio forestal, que de acuerdo a su comportamiento, ritmo de propagación e intensidad sirvan para desarrollar el plan adecuado de extinción (Cedeño, 1999).



## CAPÍTULO 2

### METODOLOGÍA

#### 2.1 Modelación del índice de peligro de incendios.

Aún cuando en el título del presente trabajo se hace referencia a la evaluación del peligro por incendios forestales, es importante aclarar que para la creación del índice de peligro de incendios, se tomó en cuenta el total de la superficie de la delegación Milpa Alta y no solo la superficie forestal, sin embargo se considera a esta cubierta vegetal como la más susceptible a padecer los mayores daños.

Para este índice de peligro de incendios, se tomaron en cuenta cinco factores con sus respectivas variables, siendo dos variables meteorológicas (temperatura y precipitación), tres variables de relieve (pendiente, exposición y altitud), cinco variables de uso de suelo y vegetación (coníferas, latifoliadas, herbáceas y arbustivas, zonas agrícolas y pastizales), tres variables de combustibles (profundidad de mantillo, ligeros y pesados) y dos variables de servicios (vías de acceso y zonas de recreación).

Considerando los factores y variables propuestos para obtener el Índice de peligrosidad por incendio, se procedió a realizar la siguiente metodología.

Inicialmente se hizo una revisión bibliográfica de los daños que han ocasionado los incendios forestales en el mundo y en México, una vez que se identificaron las características particulares del fenómeno como son las causas y efectos del mismo, se procedió a hacer una revisión de todos los datos relacionados con incendios que se obtuvieron del área de estudio, como son: temporalidad del fenómeno, frecuencia, causas que lo originan, superficie y vegetación afectada anualmente. Se hace una compilación de los reportes sobre incendios ocurridos de 1994 a 2006, de la Comisión de Recursos Naturales (CORENA) del Gobierno de Distrito Federal.

CORENA, proporcionó los siguientes archivos electrónicos: los resultados finales de incendios forestales de la delegación Milpa Alta de 1995-2006, estos archivos contienen información que fue recopilada por las brigadas de campo durante un incendio e incluye:

cuadrante, delegación, núcleo agrario, paraje, número de incendios, superficie afectada por tipo de vegetación, hora, fecha, quién reportó, quién combatió, oficiales, acciones del personal, salida de base, llegada al incendio, control, extinción, duración del incendio, jefe de incendio, estado del tiempo y causas del incendio. También se proporcionaron archivos cartográficos de la delegación Milpa Alta en formato *shape* como: brechas cortafuego, caminos de incendio, curvas de nivel elevaciones, traza urbana y un mapa de frecuencia de incendios de 1995-2006.

Los datos referentes a temperatura y precipitación, se obtuvieron de la Comisión Nacional de Agua (CNA), que es una de las la instituciones, que recaba la información meteorológica de las estaciones que se encuentran en la zona de estudio. Una vez que se obtuvo este inventario de los fenómenos ocurridos dentro del área de estudio, se revisaron los índices de peligro de incendio que se han elaborado a nivel mundial y para México, entre los cuales están, el sistema canadiense FWI (*Fire Weather Index*), el sistema estadounidense NFDRS, (*National, Fire Danger Rating System*), el índice italiano IREPI (*Indice di Riduzione Evapotranspirazionale del Pericolo di Incendio*), el índice mexicano llamado IPIF (Índice de Peligro de Incendio Forestal) de Martínez *et al.* (1990) aplicado en la Sierra de Tapalpa en el Estado de Jalisco.

De acuerdo con la revisión que se hizo de los diversos métodos y parámetros que se toman en cuenta para la creación del *IPIF* (Índice de Peligro de Incendio Forestal), se consideró que de acuerdo con la información disponible, este índice era el más apropiado para la delegación Milpa Alta, ya que es un índice que ya se ha probado en México y está adaptado para zonas inter-tropicales. Este a su vez toma como base los parámetros empleados en los programas de protección y control de incendios del Servicio Forestal de Estados Unidos (Tabla 2.1).

Es importante mencionar que el *IPIF* de Martínez *et al.* (1990), relaciona variables de ignición (exposición, altitud, temperatura, vías de acceso y recreación) con variable de propagación (pendiente, combustibles y vegetación).

**Tabla 2.1: Factores físico-geográficos que influyen en el peligro de incendio.**

FACTOR	VARIABLE
TOPOGRAFÍA	PENDIENTE
	EXPOSICIÓN
	ALTITUD
COMBUSTIBLES	PROFUNDIDAD DE MANTILLO
	LIGEROS
	PESADOS
VEGETACIÓN Y USO DE SUELO	CONÍFERAS
	LATIFOLIADAS
	HERBÁCEA Y ARBUSTIVA
	ZONAS AGRÍCOLAS
	PASTIZALES
SERVICIOS	VÍAS DE ACCESO
	ZONAS DE RECREACIÓN
VARIABLES METEOROLÓGICAS	PRECIPITACIÓN PLUVIAL
	TEMPERATURA

Para la elección de este índice de peligro se realizó un análisis preliminar del fenómeno fuego (estacionalidad, distribución, características). Esta revisión previa permitió elegir entre los diversos índices existentes y adapta un índice para el área de estudio, ya que desde un punto de vista práctico el índice debe correlacionarse con variables de interés como el número de incendios o la superficie quemada (Van Wagner, 1974). Posteriormente los datos sobre sitios incendiados se localizaron por coordenadas UTM en un mapa a escala 1:50,000 utilizando cuadrantes de 1 km<sup>2</sup>, considerando la misma disposición y nomenclatura de los cuadrantes establecidos por la CORENA, es decir del cuadrante en dirección sur a norte que abarca del 00 (2,105,000 UTM) al 21 (2,126,000 UTM) y de oeste a este del 125 (482,000 UTM) al 147 (505,000 UTM).

Considerando la metodología del trabajo elaborado por Martínez *et al.* (1990), se decidió utilizar los mismos niveles de peligro, alto, medio y bajo.

Se procedió a adaptar, algunas de las condiciones acorde al área de estudio que definirían las variables y los indicadores específicos para cada uno de los tres niveles de peligro de

incendio. En las siguientes Tablas 2.2, 2.3 y 2.4, se resumen los rangos y condiciones que se modificaron para cada nivel de peligro.

Los rangos que se señalan, así como las opciones para cada uno, fueron definidos principalmente con base en el trabajo que se está tomando como referencia y en las particularidades del área de estudio. Esto restringe necesariamente su aplicación a esta área. No obstante, la metodología utilizada puede aplicarse en otras áreas, aunque la definición de los niveles a usar deberá establecerse de acuerdo con las condiciones de sus bosques.

**Tabla 2.2 Indicadores físico-geográficos para áreas con peligro de incendio bajo.**

FACTOR	VARIABLE	INDICADORES ESPECÍFICOS (BAJO)
TOPOGRAFÍA	PENDIENTE	0 a 15%
	EXPOSICIÓN	Este y noroeste *
COMBUSTIBLES	PROFUNDIDAD DE MANTILLO	Ausencia, con una profundidad de 0 a 2 cm. ó áreas de pastizales.
	LIGEROS	Gran escasez ó ausencia, de 0 a 2 cm. de espesor y distribución aislada (0 a 20 combustibles clase 1).*
	PESADOS	Cantidad mínima con distribución aislada (0)*.
VEGETACIÓN Y USO DE SUELO	CONÍFERAS	Codominancia con hojosas ó ligera dominancia en hojosas, espesura muy clara y distribución irregular.
	LATIFOLIADAS	Dominancia ó leve dominancia sobre las coníferas, espesura media ó semicerrada con distribución uniforme ó en grupos.
	HERBÁCEA Y ARBUSTIVA	Con cobertura muy aclarada y distribución aislada.
	ZONAS AGRÍCOLAS	No existen
	PASTIZALES	Poco en el bosque ó alejadas del bosque.
SERVICIOS	VÍAS DE ACCESO	Proximidad a caminos, carreteras y brechas poco transitables. (0 a 3 cruces carreteros)*
	ZONAS DE RECREACIÓN	No hay
VARIABLES METEOROLÓGICAS	PRECIPITACIÓN PLUVIAL	Valores máximos de precipitación dentro del área de estudio.*
	TEMPERATURA	Registros mínimos de temperatura dentro del área de estudio*

Tomado de: Martínez *et al.* (1990). \*Modificado por el autor.

**Tabla 2.3 Indicadores físico-geográficos para áreas con peligro de incendio medio.**

<b>FACTOR</b>	<b>VARIABLE</b>	<b>INDICADORES ESPECÍFICOS (MEDIO)</b>
TOPOGRAFÍA	PENDIENTE	De 15 a 25% sin muchas variaciones.
	EXPOSICIÓN	Norte, oeste y noreste.*
COMBUSTIBLES	PROFUNDIDAD DE MANTILLO	No se cubre regularmente el piso y tiene una profundidad de 2 a 5 cm.
	LIGEROS	No se cubre regularmente la superficie, tiene un espesor de 2 a 10 cm. Poca presencia de combustibles clase 2 (0.6 a 2.5 cm) (menor a 20)*
	PESADOS	No hay presencia de combustibles clase 3 y 4 (superior a 2.5 cm de espesor).
VEGETACIÓN Y USO DE SUELO	CONÍFERAS	Codominancia con hojosas, o ligera dominancia en hojosas, con una espesura media y distribución regular.
	LATIFOLIADAS	Codominancia (40-60%), con espesura media y distribución uniforme.
	HERBÁCEA Y ARBUSTIVA	Moderada con distribución uniforme.
	ZONAS AGRÍCOLAS	Cerca del bosque y con quema de residuos.
	PASTIZALES	Dentro ó cerca del bosque.
SERVICIOS	VÍAS DE ACCESO	Cercanía a cruce de caminos, carreteras y brechas, transitables la mayor parte del año. De 3 a 5 cruces carreteros. *
	ZONAS DE RECREACIÓN	En los alrededores ó lejos de la zona Una zona de recreación dentro del área.*
VARIABLES METEOROLÓGICAS	PRECIPITACIÓN PLUVIAL	Valores medios de precipitación dentro del área de estudio.*
	TEMPERATURA	Valores medios de temperatura dentro del área de estudio.*

Tomado de: Martínez *et al.* (1990). \*Modificado por el autor.

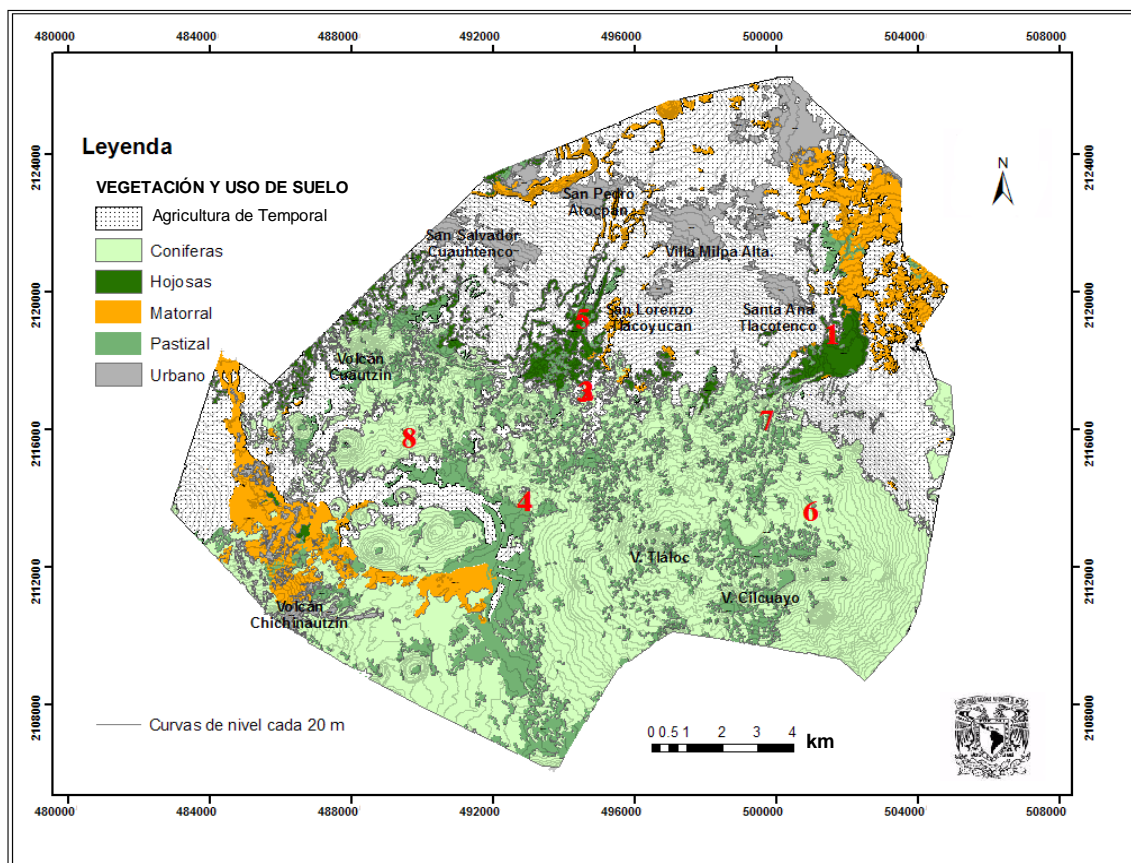
**Tabla 2.4 Indicadores físico-geográficos para áreas con peligro de incendio alto.**

FACTOR	VARIABLE	INDICADORES ESPECÍFICOS (ALTO)
TOPOGRAFÍA	PENDIENTE	más de 25% y muy irregular.
	EXPOSICIÓN	sur, sureste, suroeste y zenital *
COMBUSTIBLES	PROFUNDIDAD DE MANTILLO	Desde 6 y hasta más de 10 cm.
	LIGEROS	Se cubre totalmente la superficie, y tienen un espesor desde 11 y hasta 15 cm. Más de 20 combustibles clase 2 (> 2.5 cm espesor)*
	PESADOS	Abundantes desperdicios (árboles caídos, copas, etc.); Hay una distribución uniforme en el área, ó están distribuidos en el área por grupos. Presencias de combustibles clase 3 y 4 (> 7.5 cm de espesor)*
VEGETACIÓN Y USO DE SUELO	CONÍFERAS	Tienen una dominancia de mas del 80%, tienen una espesura cerrada y una distribución homogénea.
	LATIFOLIADAS	Son escasas menor al 20%, espesura muy aclarada y distribución aislada.
	HERBÁCEA Y ARBUSTIVA	Es abundante, con cobertura semicerrada y distribución homogénea.
	ZONAS AGRÍCOLAS	Dentro ó cerca del bosque y quema de residuos.
	PASTIZALES	Dentro ó cerca del bosque y quema de pastos.
SERVICIOS	VÍAS DE ACCESO	Cruce de carreteras, caminos de terracería y abundancia de brechas; Transitables en toda la época del año y nulas labores de protección, limpieza ó quemas controladas. Más de 5 cruces carreteros.*
	ZONAS DE RECREACIÓN	Dentro del área y muy cercanas entre si Más de una zona de recreación dentro del área.*
VARIABLES METEOROLÓGICAS	PRECIPITACIÓN PLUVIAL	Valores mínimos de precipitación dentro del área de estudio *
	TEMPERATURA	Registros máximos de temperatura dentro del área de estudio.*

Tomado de: Martínez *et al.* (1990). \*Modificado por el autor.

## 2.2 Recolección de muestras de combustibles en campo

Se hizo un recorrido de campo por el área de estudio con base en los puntos que se tenían previamente seleccionados (Anexo I)(Figura 2.1), como ya se mencionó, la intención de esta visita, fue la extracción de muestras de combustible y mantillo de los tipos de vegetación más representativos de la región para la integración del Índice de Peligro de Incendio.



*Figura 2.1 Mapa de puntos de muestreo seleccionados en gabinete.*

La técnica, consistió en localizar el punto que se había seleccionado en gabinete, las causas por las cuales no se podría llegar exactamente al punto fueron diversas, entre otras eran: el difícil acceso, el tiempo que llevaría trasladarse hasta el lugar más cercano, etc. Una vez que el equipo de trabajo se encontraba cerca de alguno de los sitios, se seleccionaba nuevamente un punto de muestreo, que cumpliera con las condiciones previamente seleccionadas, básicamente que fuera el mismo tipo de vegetación con respecto al punto

que se había seleccionado en gabinete (Figura 2.4). Se tomaba su ubicación en coordenadas UTM, con dos GPS para mayor seguridad, se tomaba la altitud, la pendiente y se hacían algunas observaciones del sitio. Posterior a esto se comenzaban a hacer las mediciones, a partir de nuestro punto de referencia se trazaba una línea de 25 m hacia el norte, y se medía la profundidad del mantillo cada cinco metros y al llegar a la quinta medición que correspondía a los veinticinco metros, con un cuadro metálico de 10 cm por 10 cm, se separaba el suelo del mantillo y se tomaba la muestra (Figura 2.2).



*Figura 2.2 Medición de profundidad de mantillo.*

A lo largo de la línea de veinticinco metros a partir del punto de referencia, se mide el grosor de todos los combustibles que se encuentran a lo largo de ella, estos eran clasificados en cuatro clases. A la primera clase correspondían todos aquellos combustibles que midieran de 0 a  $\frac{1}{4}$  de pulgada (combustible ligero), a la segunda clase correspondían aquellos que midieran de  $\frac{1}{4}$  de pulgada a 1 pulgada (combustible ligero), la tercera correspondía a aquellos que midieran de 1 a 3 pulgadas (combustible ligero) y la cuarta clase y la última le correspondía a todos aquellos que midieran más de 3 pulgadas (combustible pesado)(Figura 2.3).

Es importante mencionar que el número de muestreos de combustibles que se realizaron en este trabajo no pretendieron ser para un muestreo de tipo intensivo y sistemático, sino para caracterizar de manera general las condiciones de combustibles para los diferentes tipos de cobertura vegetal dominantes, con el fin de integrarlos en el índice de peligro de incendios.



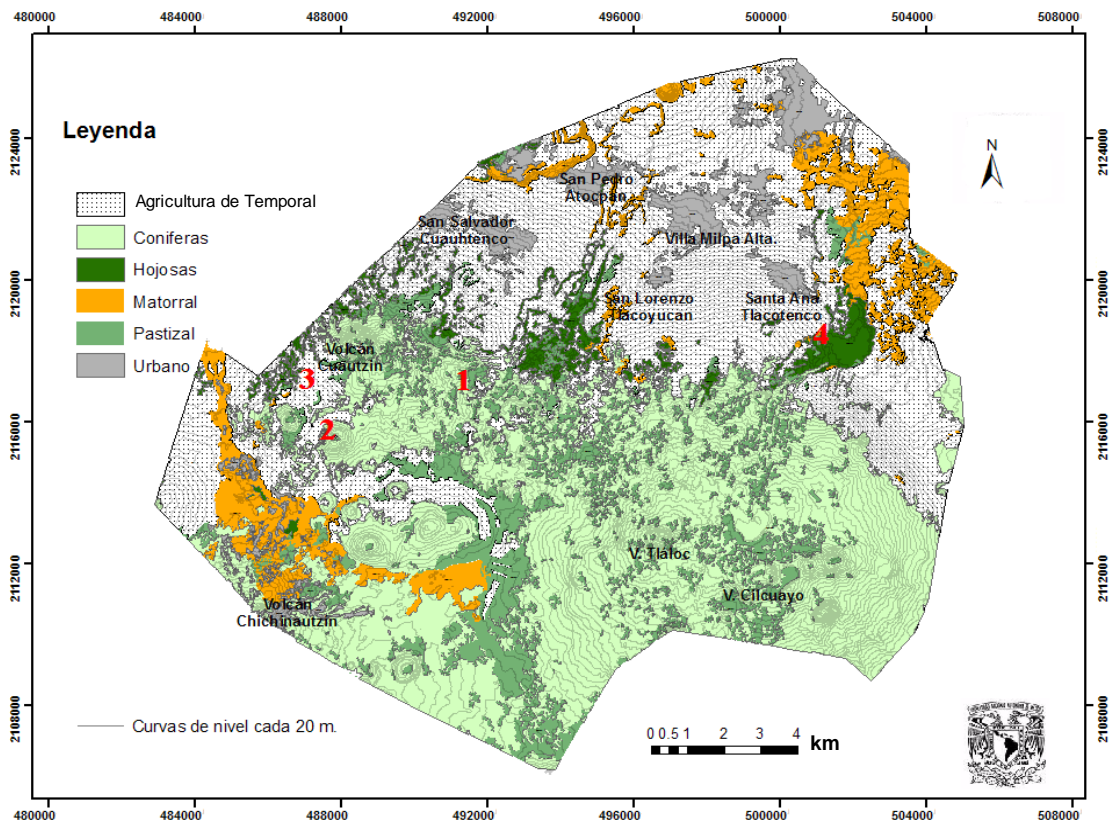


Figura 2.3 Medición de combustibles.

Tabla 2.5 Muestras de combustibles tomadas en campo.

NOMBRE DEL SITIO	COORDENADAS UTM	TPO DE VEGETACIÓN	PENDIENTE	ALTITUD	COMBUSTIBLES EN CLASES				PROFUNDIDAD DEL MANTILLO EN cm					PROMEDIO DE LA PROF. DE MANTILLO	OBSERVACIONES
					1	2	3	4	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m		
1.- Volcán Acuzacayo, camino a San Pablo	X 491 326	Predomina Aile, y han reforestado con Pino y Oyamel	22°	3,115 m.	23	21	3	1	3	1	1	2	3	2 cm	Es una zona recientemente reforestada, con presencia de brechas cortafuego
	Y 2117167														
2.- Volcán Tulmeac	X 487756	Bosque de Oyamel	24°	3,315 m	176	72	11	1	11	6	6	6	6	7 cm	
	Y 2115754														
3.-Paraje el Atascadero	X 487105	Pastizal	2°	3,191 m.	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1 cm	
	Y 2116781														
4.-Carretera Oaxtepec	X 501252	Bosque de Encino	12°	2,732 m.	65	2	0	0	2.5	5	2.5	1	0.5	2.3 cm	Este punto está ubicado sobre la colada Santa Ana, a un costado del mirador. Es una zona con alta frecuencia de incendio, en el suelo hay hojas y bellotas quemadas
	Y 2118431														

A continuación se presenta un mapa de los puntos de muestreo seleccionados en campo (Figura 2.4).



*Figura 2.4 Mapa de puntos de muestreo seleccionados en campo.*

### **2.3 Elaboración de los mapas de los factores considerados para obtener el Índice de Peligro de Incendios Forestales.**

Con la información de la revisión bibliográfica y los datos obtenidos en campo, se realizaron los siguientes mapas:

#### **2.3.1 Frecuencia de incendios**

Este mapa se elaboró a partir de la base de datos de la CORENA. Dicha institución es la encargada de reportar y atender los incendios forestales dentro de la Entidad Federativa.

Para la elaboración de este mapa únicamente se utilizaron los datos de número de incendios por cuadrante de febrero a mayo en el periodo de 1996 a 2006. La CORENA utiliza como cuadrante, la cuadrícula UTM, que en distancia real son cuadrantes de 1 km<sup>2</sup>. Por cuestiones prácticas y por la disposición de la información, este mapa está elaborado a nivel cuadrante, tomando como referencia la cuadrícula UTM, del mismo modo que lo hace

la CORENA.

### 2.3.2 Vegetación

Para la elaboración de este mapa se utilizó como base la carta de uso de suelo y tipos de vegetación de la delegación Milpa Alta (INEGI, 1984), para ajustarlo a la metodología se tuvo que simplificar el mapa y reducirlo a cinco clases: Bosque de coníferas, Bosque de hojosas, Matorral, Agricultura y Pastizales (Figura 2.5). Esto se hizo de la siguiente manera; todas las clases de bosque de *Abies* y bosque de *Pinus* se integraron al grupo de las coníferas, todos los tipos de agricultura de temporal se integraron a un solo grupo denominado área agrícolas, los bosques de *Quercus* se integraron al grupo de las hojosas, las zonas de matorrales se integraron al grupo de herbáceas y arbustivas; y por último todas las zonas de pastizales se integraron el grupo de áreas de pastoreo.

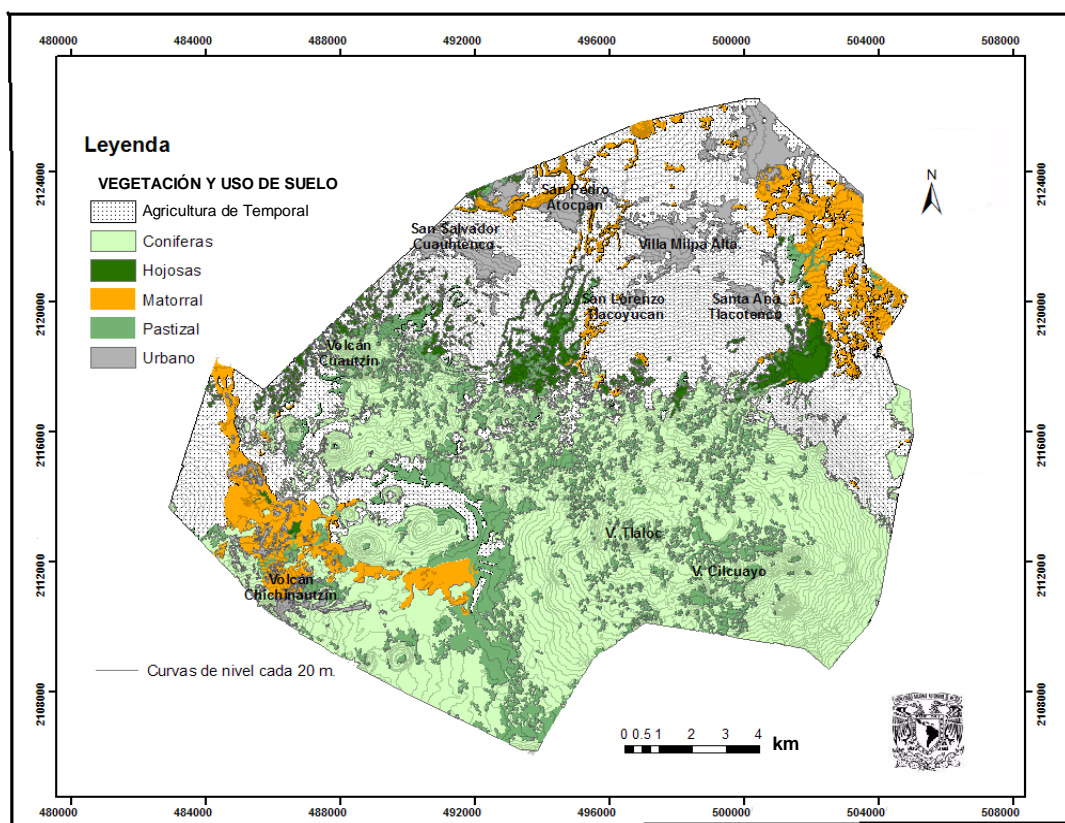


Figura 2.5: Mapa de vegetación y uso de suelo de la delegación Milpa Alta.

### 2.3.3 Temperatura y precipitación.

Para la elaboración de estos mapas fue necesario, solicitar los datos de las estaciones

meteorológicas, que tienen influencia en la delegación Milpa Alta, a la Comisión Nacional del Agua, ya que esta institución cuenta con los datos actualizados hasta 2006 de todas las estaciones meteorológicas del país.

Se solicitaron datos diarios de 1996 a 2006, periodo que se está tomando como referencia para el análisis. Una vez que se contó con los datos completos, se procedió a hacer promedios del periodo antes mencionado, tanto de temperatura máxima como de precipitación, pero solo de los meses de febrero, marzo, abril y mayo, ya que según la base de datos de la CORENA, es durante los 4 meses anteriores que ocurre más del 85% de los incendios.

Las estaciones que tienen influencia en el área de estudio y que fueron tomadas en cuenta para la construcción del mapa de temperatura máxima y precipitación son las que se presentan en la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6 Estaciones meteorológicas que tienen influencia en Milpa Alta.**

<b>Estación</b>	<b>Promedio de precipitación (mm) de Febrero a Mayo de 1996 a 2006.</b>	<b>Promedio de temperatura (°C) máxima de Febrero a Mayo de 1996 a 2006.</b>	<b>Coordenadas UTM</b>	
<b>Km. 39 a Cuernavaca</b>	18.41	13.09	<b>480719.29</b>	<b>2115464.1</b>
<b>Milpa Alta</b>	13.95	22.61	<b>498247.74</b>	<b>2120986.2</b>
<b>San Francisco Tlanepantla</b>	13.60	23.46	<b>487735.40</b>	<b>2122834.3</b>
<b>San Gregorio Atapulco</b>	12.97	25.10	<b>494745.34</b>	<b>2128363.2</b>
<b>Santa Ana Tlacotenco</b>	9.38	24.16	<b>500000.00</b>	<b>2119142.1</b>
<b>Juchitepec</b>	11.18	23.29	<b>514025.13</b>	<b>2111771.2</b>
<b>Cumbres</b>	14.67	18.29	<b>473697.57</b>	<b>2108096.5</b>
<b>Amatlán</b>	14.15	20.92	<b>496496.01</b>	<b>2104791.4</b>

A continuación se presenta un mapa de localización de las estaciones meteorológicas que tienen influencia en la delegación Milpa Alta (Figura 2.6).

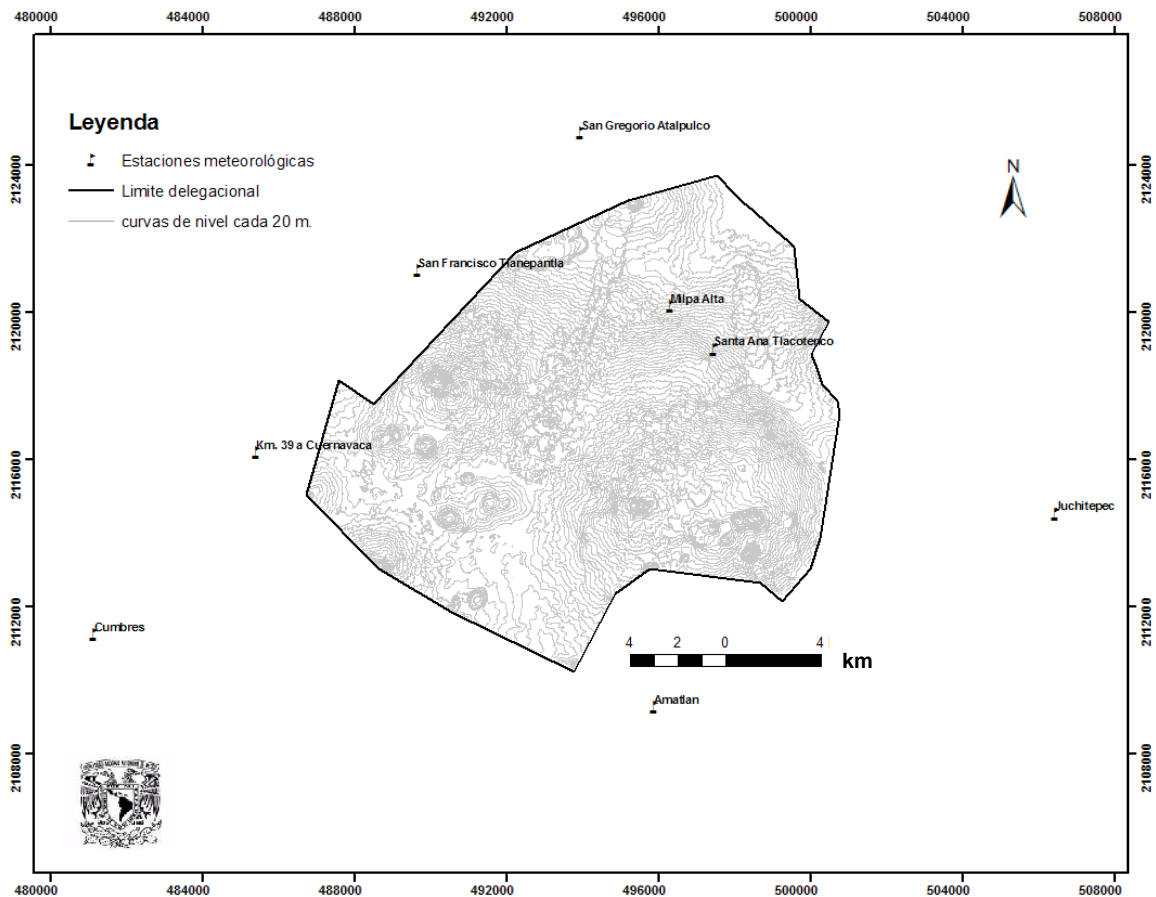


Figura 2.6 Mapa de estaciones meteorológicas con influencia en Milpa Alta.

Las estaciones meteorológicas se insertaron como puntos en el SIG, con tres variables “X”, “Y”, y “Z”, esta última fue la variable meteorológica que en un caso fueron los datos de temperatura máxima y en otro precipitación. Posteriormente a estos archivos “X”, “Y”, y “Z”, se les aplicó una interpolación en tres intervalos: alto medio y bajo.

Es importante aclarar que los cortes numéricos de los mapas en tres intervalos se hace mediante el método estadístico de cortes naturales, esto lo hace así: al máximo valor se le resta el mínimo, y ese resultado se divide entre el número de intervalos deseados.

El mapa de temperatura máxima se hizo en cuatro cortes naturales, que posteriormente se integraron en tres, poniendo los primeros dos en uno solo, esto debido a que si se hacía en tres cortes la ausencia de estaciones en los volcanes Tláloc y Cilcuayo se hacía más notoria gráficamente y prácticamente todo el mapa quedaba influenciado por la zona de Juchitepec, arrojando datos de temperaturas altas en las cimas de los volcanes.

### 2.3.4 Combustibles.

Para la elaboración de este mapa fueron necesarios los datos tomados en campo, como ya se mencionó en el Capítulo 2. Para poder cubrir toda la delegación con las mediciones hechas en campo, se utilizó como base el mapa de uso de suelo y vegetación.

Se utilizó una sola muestra para cada tipo de vegetación, y con está se generalizaba para toda el área, es decir la muestra que se tomo en los pastizales fue utilizada para cubrir toda el área de pastizal dentro de la delegación, y así con cada uno de los diferentes tipos de vegetación.

Posteriormente siguiendo la metodología del trabajo que se está tomando como referencia se hizo un análisis para asignar un nivel de peligro a cada tipo de vegetación, tomando en cuenta la cantidad y la distribución de los combustibles, contados y observados en campo por tipo de vegetación, además se elaboró la conversión de las muestras hechas en campo que estaban en cuatro clases de pulgadas a cm, esto con la finalidad de que fuera compatible con la metodología aplicada, esto se realizó utilizando la información que se presenta en la Tabla 2.7.

**Tabla 2.7 Clases de combustibles.**

CLASES DE COMBUSTIBLES	MEDIDA EN PULGADAS	EQUIVALENCIA EN cm	ADAPTACIÓN AL IPIF
PRIMERA (COMBUSTIBLE LIGERO)	0 a ¼	0 a 0.6	0 A 20 NIVEL DE PELIGRO BAJO, 20 A 60 MEDIO Y > 60 ALTO.
SEGUNDA (COMBUSTIBLE LIGERO)	¼ a 1	0.6 a 2.5	0 A 20 NIVEL DE PELIGRO MEDIO Y >20 NIVEL DE PELIGRO ALTO
TERCERA (COMBUSTIBLE LIGERO)	1 a 3	2.5 a 7.5	> 3 NIVEL DE PELIGRO ALTO
CUARTA (COMBUSTIBLE PESADO)	Mayor a 3	Mayor a 7.5	> 1 NIVEL DE PELIGRO ALTO

La tabla anterior se combino con la metodología de Martínez *et al.* (1990), para definir los

intervalos de peligro para cada tipo de uso de suelo y vegetación.

### **2.3.5 Profundidad del mantillo.**

Este mapa se elaboró utilizando los datos obtenidos en campo de los distintos tipos de vegetación, con las mediciones que se hicieron a cada cinco metros de la profundidad de mantillo, se obtuvo el promedio para cada uno de los tipos de vegetación, es decir que se obtuvo un promedio de profundidad de mantillo para las coníferas, otro para las hojosas, para las herbáceas y arbustivas, de igual forma para las áreas agrícolas y de pastoreo.

Una vez que se tenían definidos los datos de profundidad de mantillo por tipo de vegetación y uso de suelo, se utilizó el mapa de “uso de suelo y vegetación” para insertarle los promedios antes mencionados.

Siguiendo la metodología del trabajo se hizo la clasificación de nivel de peligro, según la profundidad del mantillo, como se muestra en la Tabla 2.8.

**Tabla 2.8 Metodología para la clasificación de nivel de peligro según la profundidad del mantillo.**

<b>NIVEL DE PELIGRO</b>	<b>PROFUNDIDAD DEL MANTILLO</b>
Alto	Desde 6 y hasta más de 10 cm.
Medio	No se cubre regularmente el piso y tiene una profundidad de 2 a 5 cm.
Bajo	Ausencia, con una profundidad de 0 a 2 cm. ó áreas de pastizales.

### **2.3.6 Exposición, pendiente y modelo digital del terreno.**

El mapa base para la creación del Modelo Digital del Terreno, el mapa de pendientes y el mapa de exposición de la pendiente, fue el archivo shp. (shape) de curvas de nivel que aportó la CORENA, ya que este archivo contiene digitalizadas y georeferenciadas, las curvas de nivel de toda la delegación a cada 20 m.

La primera tarea que se realizó con este archivo fue la verificación, que las curvas de nivel no tuvieran errores, que no se cruzaran unas con otras, que una línea estuviera trazada encima de otra, que las isolíneas no estuvieran trazadas en un solo proceso, que una línea no se interrumpiera por un espacio, y que todas las líneas estuvieran bien georeferenciadas.

Una vez hecha esta revisión, se procedió a hacer todas las correcciones necesarias. Primero se homogenizó toda la información que aportó la CORENA, dándole la misma referencia

espacial, NAD 27, Región 14 N, que cartográficamente es la que le corresponde a la delegación Milpa Alta. Para corregir todos los errores de digitalización, al archivo shp. de curvas de nivel, se le aplicó una corrección topológica (método de corrección de líneas y polígonos), en el Software ARC GIS 9.1.

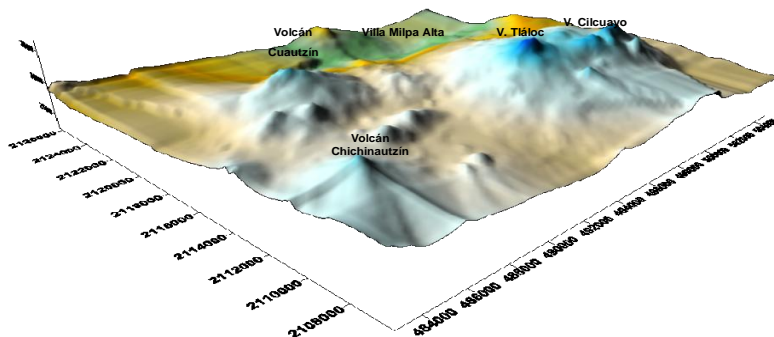
Dicha corrección, consistió, en aplicarle ciertas reglas al programa, como: que las líneas no se cruzaran, que no se encimaran, que no haya espacios en una misma línea y que cada una de las isolíneas estuviera trazada en un solo proceso, es decir que la línea de 2400 m. fuera una sola, a lo largo y ancho de todo el mapa.

La intención de que las isolíneas estuvieran trazadas en un solo proceso, es por varias razones: el archivo electrónico, ocupa menos memoria y de este modo los programas cartográficos, asimilan mejor los trazos, no es lo mismo que un programa represente 20 líneas de 2,400 m. de altitud, a que represente solo una.

Una vez hechas las correcciones topológicas, se abrió ese archivo en Autocad, esto para darle altitud, es decir la variable “Z” a cada una de las líneas, y se guardó como un archivo DXF 2000. Posteriormente con el programa “DXF2XYZ”, se convirtió a un archivo XYZ y se abrió en *Surfer* (programa de interpolación), se transformó este archivo, a un archivo nativo de *Surfer*, que es el *Golden Software Surfer* y después se abrió como un GRID, en el mismo *Surfer*.

Para elaborar el mapa de pendientes y el de exposición, se elaboró un MDT (Modelo Digital del Terreno) en *ARC GIS 9.1*, el MDT en este programa se llama TIN (*triangle irregular network*) es un método de interpolación mediante triángulos, para crear un archivo electrónico, visible en 3D que tenga atributos X (longitud), Y (latitud), y Z (altitud) (Figura 2.7).





*Figura 2.7 Modelo digital del terreno de la delegación Milpa Alta.*

Fue muy importante tener el archivo TIN, ya que de este se obtuvieron los mapas de orientación y pendiente. ARC GIS, tiene una función que es TIN *slope*, que permite elaborar mapas de pendientes en grados y porcentaje; se le insertó al programa los rangos de la metodología, para que elaborara un mapa de porcentaje de pendientes en tres niveles de peligro, alto, medio y bajo.

Otra función de ARC GIS es el TIN *aspect*, que permite elaborar mapas de exposición de la pendiente, del mismo modo que con el mapa anterior se le insertaron los datos de la metodología para que elaborara un mapa de exposición de la pendiente en tres niveles de peligro, alto, medio y bajo.

### **2.3.7 Servicios.**

Este mapa se elaboró a partir de un archivo *shape* que proporcionó la CORENA, denominado traza urbana, es importante aclarar que en la integración de este mapa existieron muchas dificultades ya que en la metodología era muy importante diferenciar de que tipo de camino se trataba, si era una autopista, una carretera, una brecha y que tan transitable era a lo largo del año. Sin embargo el archivo *shape* antes mencionado no hacía diferencia si se trataba de uno u otro tipo de camino, todos están denominados como traza urbana, por está razón hubieron criterios que no pudieron ser tomados en cuenta,

básicamente el mapa consistió en tomar como referencia el cruce de caminos y la presencia de zonas de recreación.

Para la variable de vías de acceso, el área urbana se considero dentro del nivel de peligro bajo. De 0 a 3 cruces carreteros también se considero como un nivel bajo de peligro, de 3 a 5 cruces nivel de peligro medio y más de 5 cruces le correspondía el nivel alto de peligro.

Para la variable de zonas de recreación, se considero donde no hubiera ni una sola le correspondía el nivel de peligro bajo, 1 zona de recreación nivel medio y más de 1 nivel alto de peligro

### **2.3.8 Índice de peligro de incendios forestales (IPIF).**

Este mapa es el resultado de la suma de todas las variables, sin embargo no todas pueden tener el mismo valor, ya que inciden en mayor ó menor medida para la generación, duración y propagación de un incendio. Para esto fue necesario hacer una ponderación de las variables que se consideraron, es decir, darles un nivel de importancia a cada una, tomando en cuenta los factores físicos y la influencia de las actividades económicas propias de la región, como son: la agricultura, la ganadería y el turismo aunque en menor medida.

Es importante mencionar que esta clasificación se hizo con base en otros trabajos consultados (Deeming, 1977, Magaña 1985, Verástegui *et al.*, 2005), en el conocimiento que hasta ahora se ha podido obtener de la región, con las estadísticas y características muy particulares de la zona. Es por ello que esta en particular se ha diseñado única y exclusivamente para este estudio.

El factor que se considero de mayor importancia es el de uso de suelo y vegetación, ya que como se mencionó en la descripción del área de estudio, alrededor del 98% de los incendios ocurren en áreas agrícolas y de pastizal (CORENADER, 2002), además de ser esta lo que constituye la biomasa que se quema en los incendios.

En segundo lugar está el factor precipitación, ya que la ignición ocurre justo cuando el material combustible está seco, la generación y propagación dependerá en gran medida del grado de humedad que contenga. De manera inmediata hay otro factor que se ubica en

tercer lugar de gran importancia, es la temperatura ya que el calor funciona como detonante del fuego.

En cuarto lugar está el factor de los combustibles, ya que estos en combinación con altas temperaturas y baja humedad se convierten en materiales sumamente inflamables. Se situaron en esta posición, por que van a depender de la vegetación.

En quinto lugar se sitúa la profundidad del mantillo, ya que este además de aportar gran cantidad de combustibles, la acumulación de hojarasca u ocochal, es un elemento importante que contribuye a la incidencia de un incendio, su presencia y espesor actúa como una mecha a través de la cual se va difundiendo el fuego. Al igual que el anterior también estará en función del tipo y cantidad de vegetación.

En sexto lugar está el factor de exposición, la orientación de los terrenos es fundamental para la insolación que reciben, aunque en México los terrenos que se orientan hacia el sur, son los que tienen mayor incidencia de los rayos solares, realmente en Milpa Alta estos terrenos no representan una gran superficie.

En penúltimo lugar se sitúa la pendiente, esto debido a que la topografía de la región es muy irregular y con los parámetros considerados prácticamente toda la región se encuentra en un nivel de peligro alto.

En octavo y último lugar esta el factor de accesibilidad, ya que según las estadísticas solo el 1% de los incendios son provocados por actos de vandalismo y fogatas. Como se mencionó en capítulos anteriores este factor se refiere específicamente a la presencia de zonas de recreación y vías de acceso, no obstante de que si hay cierta presencia de turistas esta no logra tener gran peso en la presencia de incendios.

Una vez jerarquizados en un nivel de importancia e influencia los ocho factores que inciden en la presencia de los incendios, se procedió a asignarle un valor numérico unitario a cada nivel de peligro es decir, el nivel bajo valdría uno, el medio dos y el alto tres. De este modo se homogenizaron los valores de nivel de peligro en una unidad numérica.

Una vez realizado lo anterior se procedió a ponderar numéricamente los ocho factores de incendio, esto se hizo con un método de ponderación exponencial en donde cada factor siempre va a valer el doble que su antecesor y la suma de los ocho tendría que dar la unidad.

La suma de los ocho factores tenía que dar como resultado forzosamente uno, por que el nivel de peligro se convirtió a un sistema unitario, esto con la finalidad de que no tuviéramos como resultado datos inferiores a cero ni superiores a tres, ya que de ser así los datos se saldrían de la escala numérica de nivel de peligro que va de cero a tres.

La tabla de ponderación exponencial que se utilizó para la creación de este mapa es la siguiente:

**Tabla 2.9 Ponderación de variables.**

VARIABLE	VALOR PONDERADO
VEGETACIÓN	0.501960754
PRECIPITACIÓN	0.250980377
TEMPERATURA	0.125490189
COMBUSTIBLES	0.062745094
PROFUNDIDAD DE MANTILLO	0.031372547
EXPOSICIÓN	0.015686274
PENDIENTE	0.007843137
ACCESIBILIDAD	0.003921568
SUMA	0.99999994

El paso siguiente fue multiplicar cada uno de estos valores por su respectivo nivel de peligro uno, dos y tres, es decir: dato ponderado que multiplica el nivel de peligro, como se observa en la Figura 2.8

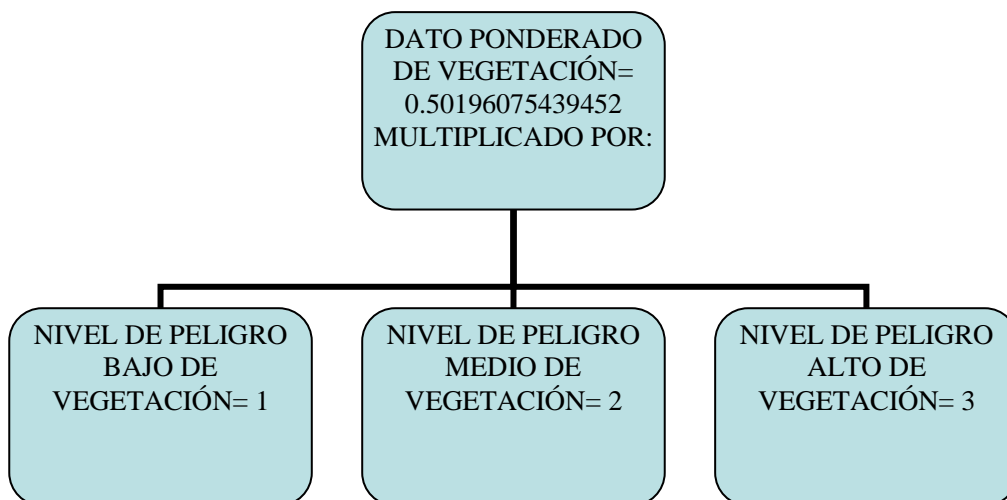


Figura 2.8 Dato ponderado que multiplica el nivel de peligro.

Y así con todos y cada uno de los factores. Esto con el fin de obtener el valor del nivel de peligro real de cada uno de los factores (Tabla 2.10).

**Tabla 2.10 Valores para el índice de peligro de incendio.**

VALOR DE NIVEL DE PELIGRO	DATO PONDERADO DE TEMPERATURA	VALOR REAL DE NIVEL DE PELIGRO PARA EL ÍNDICE DE PELIGRO DE INCENDIO
1	0.125490189	0.125490189
2	0.125490189	0.250980377
3	0.125490189	0.37647057

Este proceso de multiplicar el nivel de peligro por el dato ponderado se hizo para cada uno de los factores, agregándole una columna denominada “ponderación” después con la función de *Arc Gis 9.1* llamada “*union*” se le ordenó al programa sumar todos los campos denominados “ponderación” que contenía el nivel de peligro multiplicado por su valor ponderado. Esto dió como resultado una columna que contenía la información del Índice de Peligro de Incendios Forestales para la delegación Milpa Alta de todos los factores considerados para este trabajo.

## CAPÍTULO 3

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Después de aplicar y ajustar la metodología a las condiciones de la delegación Milpa Alta, elaborada por Martínez *et al.* (1990), los resultados cartográficos obtenidos son los siguientes:

#### 3.1 Mapa de nivel de peligro de incendio, según las frecuencias de incendios.

La temporalidad del mapa es de 1996-2006, ya que el propósito de este estudio, es hacer un análisis de los últimos 10 años. La aportación principal de este mapa es determinar cual es el cuadrante ó los cuadrantes en los cuales se presenta la mayor cantidad de incendios, en promedio, es decir, se hizo la suma de cuantos eventos ocurrieron por cuadrante y se dividió entre 10 años, dando como resultado un número promedio de incendios por cuadrante. La información se dispuso en intervalos, alto, medio y bajo, respetando la disposición de la información que se siguió para todos los factores y variables del IPIF (Figura 3.1).

#### 3.2 Mapa de nivel de peligro de incendio según tipo de vegetación.

El nivel de peligro bajo, se encuentra en las áreas urbanas donde la masa forestal es baja, ubicandose al Norte del área de estudio. El nivel de peligro medio corresponde principalmente a las zonas de agricultura de temporal y matorrales, que se localizan en la periferia de las áreas urbanas. Dentro de este tipo de vegetación se encuentran las herbáceas, arbustos, matorrales y breñales, formaciones que son altamente susceptibles al fuego (Martínez *et al.*, 1990).

Finalmente el nivel de peligro alto, corresponde a la parte central y sur de la delegación, donde el tipo de vegetación predominante son las coníferas y los pastizales.

Las coníferas representan el tipo de vegetación más susceptible al fuego, ya que tiene un aporte constante de hojarasca al suelo y una rápida deshidratación de sus hojas verdes

(Martínez *et al.*, 1990). Además la resina que produce ( el género *Pinus*), representa un peligro como combustible, acelerando la propagación del fuego. Mientras que los pastizales son un tipo de vegetación altamente vulnerable debido a la actividad ganadera que se práctica en la región, ya que durante la época de secas es frecuente que los campesinos quemem los pastos con el propósito de obtener renuevos para el consumo de los animales (Figura 3.2).

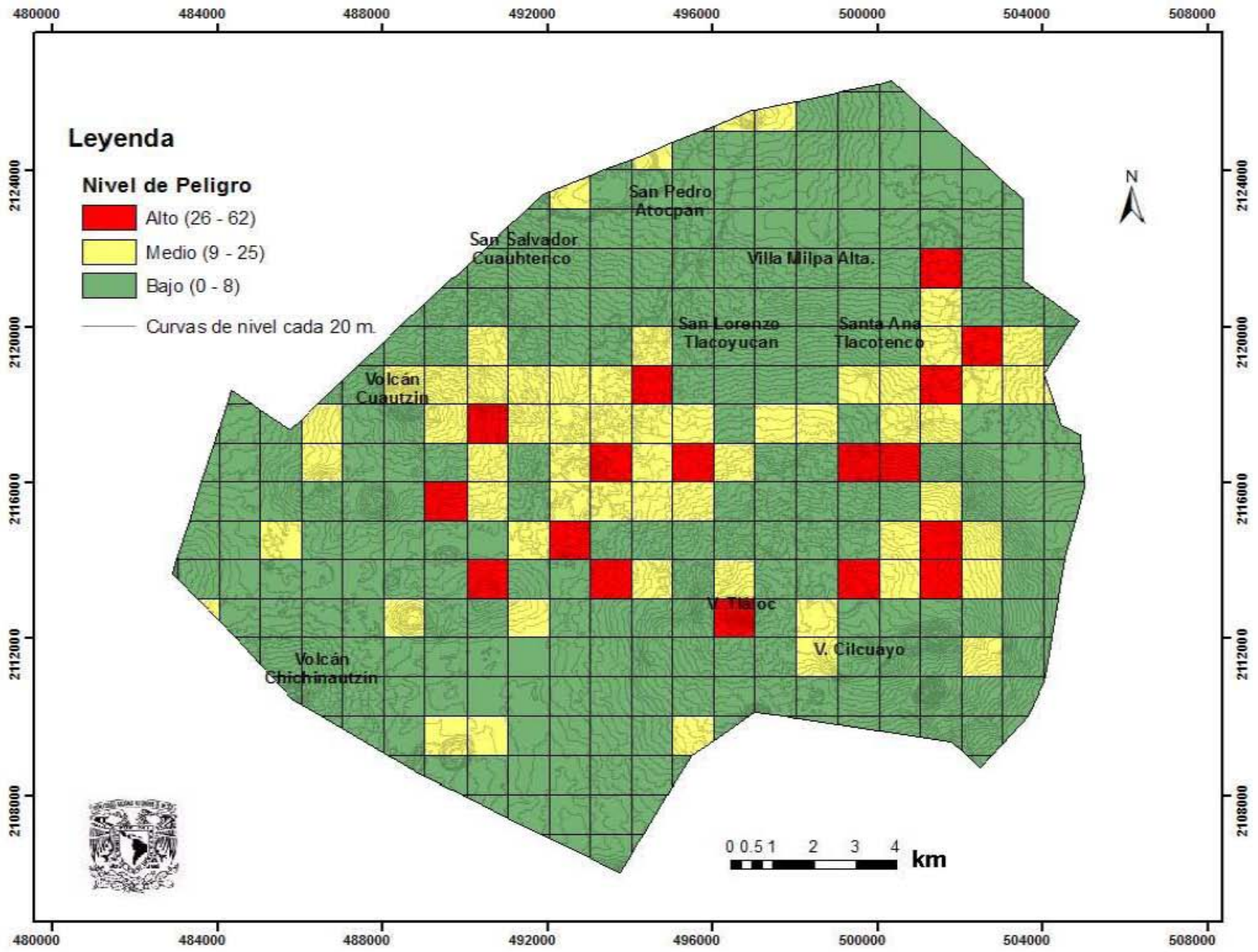
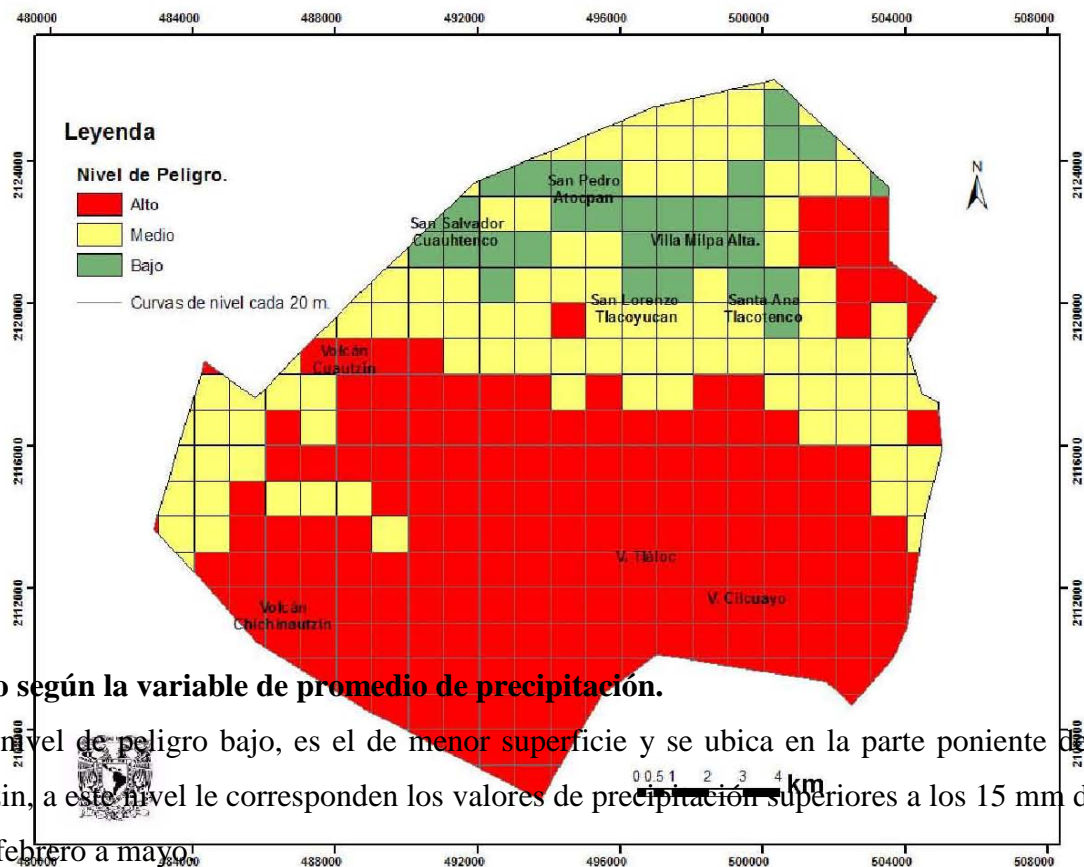


FIGURA 3.1 MAPA DE NIVEL DE PELIGRO DE INCENDIO, SEGÚN LAS FRECUENCIAS DE LOS INCENDIOS DE 1996 A 2006. <sup>47</sup> 49





**FIGURA 3.2 MAPA DE NIVEL DE PELIGRO DE INCENDIO, SEGÚN TIPO DE VEGETACIÓN Y USO DE SUELO.**

El nivel de peligro bajo, es el de menor superficie y se ubica en la parte poniente de la delegación, al Noroeste del Volcán Chichinautzin, a este nivel le corresponden los valores de precipitación superiores a los 15 mm de precipitación en promedio, durante los meses de febrero a mayo.

TIPOS DE VEGETACIÓN Y USO DE SUELO	NIVEL DE PELIGRO		
	Alto	Medio	Bajo
CONIFERAS	Tienen una dominancia de más del 80% tienen una espesura cerrada y una distribución homogénea.	Codominancia con hojosas o leve dominancia en hojosas, con una espesura media y distribución regular.	Codominancia con hojosas ó leve dominancia en hojosas, espesura muy clara y distribución irregular.
HERBACEA Y ARBUSTIVA	Son escasas menor al 20%, espesura muy aclarada y distribución aislada.	Codominancia (40-60%), con espesura media y distribución uniforme.	Dominancia ó leve dominancia sobre las coníferas, espesura media ó semicerrada con distribución uniforme ó en grupos.
ZONAS AGRÍCOLAS	Dentro ó cerca del bosque y quema de residuos.	Cerca del bosque y con quema de residuos.	No existen
ÁREAS DE PASTOREO	Dentro ó cerca del bosque y quema de pastos.	Dentro ó cerca del bosque.	Poco en el bosque ó alejadas del bosque.

### **3.3 Nivel de peligro de incendio según la variable de promedio de precipitación.**

Con respecto a esta variable el nivel de peligro bajo, es el de menor superficie y se ubica en la parte poniente de la delegación, al Noroeste del volcán Chichinautzin, a este nivel le corresponden los valores de precipitación superiores a los 15 mm de precipitación en promedio, durante los meses de febrero a mayo.

El nivel de peligro medio representa la mayor superficie en este mapa y corresponde a la zona norte, centro y sur de la delegación, abarca gran parte de la zonas urbanas y agrícolas. Se extiende hacia las cimas de los volcanes Tláloc y Cilcuayo, los registros de esta zona fueron determinadas con base en los datos de las siguientes estaciones meteorológicas: San Francisco Tlalnepantla, San Gregorio, Milpa Alta y Amatlán.

El nivel de peligro más alto corresponde a los promedios de precipitación más bajos durante el período de febrero a mayo, y se sitúa en la parte oriental de la delegación. Se extiende hacia la zona urbana y agrícola de Santa Ana Tlacotenco y en las laderas noreste de los volcanes Tláloc y Cilcuayo. Los registros de precipitación de esta zona se tomaron de las estaciones meteorológicas de Santa Ana Tlacotenco y Juchitepec.

Es importante mencionar que los resultados de éste mapa estuvieron en función de la ubicación de las estaciones meteorológicas, en toda el área del volcán Tláloc y Cilcuayo no hay estaciones, es por ello que esta zona se vio influenciada por los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas, aunque la mayoría se encontraba a menor altitud, en lugares donde las condiciones atmosféricas eran muy distintas a la de las zonas más altas, lo ideal para que este mapa fuera más preciso sería que se contará con un número mayor de estaciones que cubrieran toda el área de estudio (Figura 3.3).

### **3.4 Nivel de peligro de incendio según la variable de temperatura máxima.**

El nivel de peligro bajo es el que ocupa la menor superficie en y se ubica al poniente de la delegación en la zona del Volcán Chichinautzin entre los 3000 y 3200 m de altitud, aquí el promedio de temperatura máxima no rebasa los 19°C durante el período de febrero a mayo, es una zona con abundante vegetación y alta precipitación. La estación meteorológica más cercana es la km. 39 de la autopista México- Cuernavaca.

El nivel medio de peligro ocupa el segundo lugar en superficie, pasa por el Volcán Cuautzin y se amplía hacia el sur de la delegación sobre la ladera occidental del Volcán Tláloc.

La mayor superficie la ocupa el nivel de peligro alto. Esta zona en promedio rebasa los 22°C de temperatura, y se ubica al centro, Norte y Este de la delegación, cubriendo toda el área urbana, misma que se encuentra rodeada de la zona agrícola y vegetación de matorral. También abarca parte del Volcán Tláloc y el Volcán Cilcuayo en su totalidad donde el tipo de vegetación dominante son las coníferas y pastizales. Esta zona a pesar de tener mayor altitud, aparece en el mayor nivel de peligro por la influencia de la estación meteorológica de Juchitepec que se encuentra al este de Milpa Alta, en el Edo. de México en una zona agrícola a los 2,525 m de altitud, en donde las condiciones meteorológicas son muy distintas a la de las zonas altas de los volcanes donde la altitud supera los 3,000 m.

Los datos de temperaturas de esta zona fueron determinadas con base en los datos meteorológicos de las estaciones: San Gregorio, San Francisco Tlalnepantla, Milpa Alta, Santa Ana Tlacotenco, Juchitepec y Amatlán.

Es importante mencionar que los resultados de este mapa estuvieron en función de la ubicación de las estaciones meteorológicas. En toda el área del volcán Tláloc y Cilcuayo no hay estaciones, es por ello que esta zona se vio influenciada por los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas, aunque la mayoría se encontraba a menor altitud, en lugares donde las condiciones atmosféricas eran muy distintas a la de las zonas más altas, lo ideal para que este mapa fuera más preciso sería que se contará con un número mayor de estaciones meteorológicas que cubrieran toda el área de estudio (Figura 3.4).

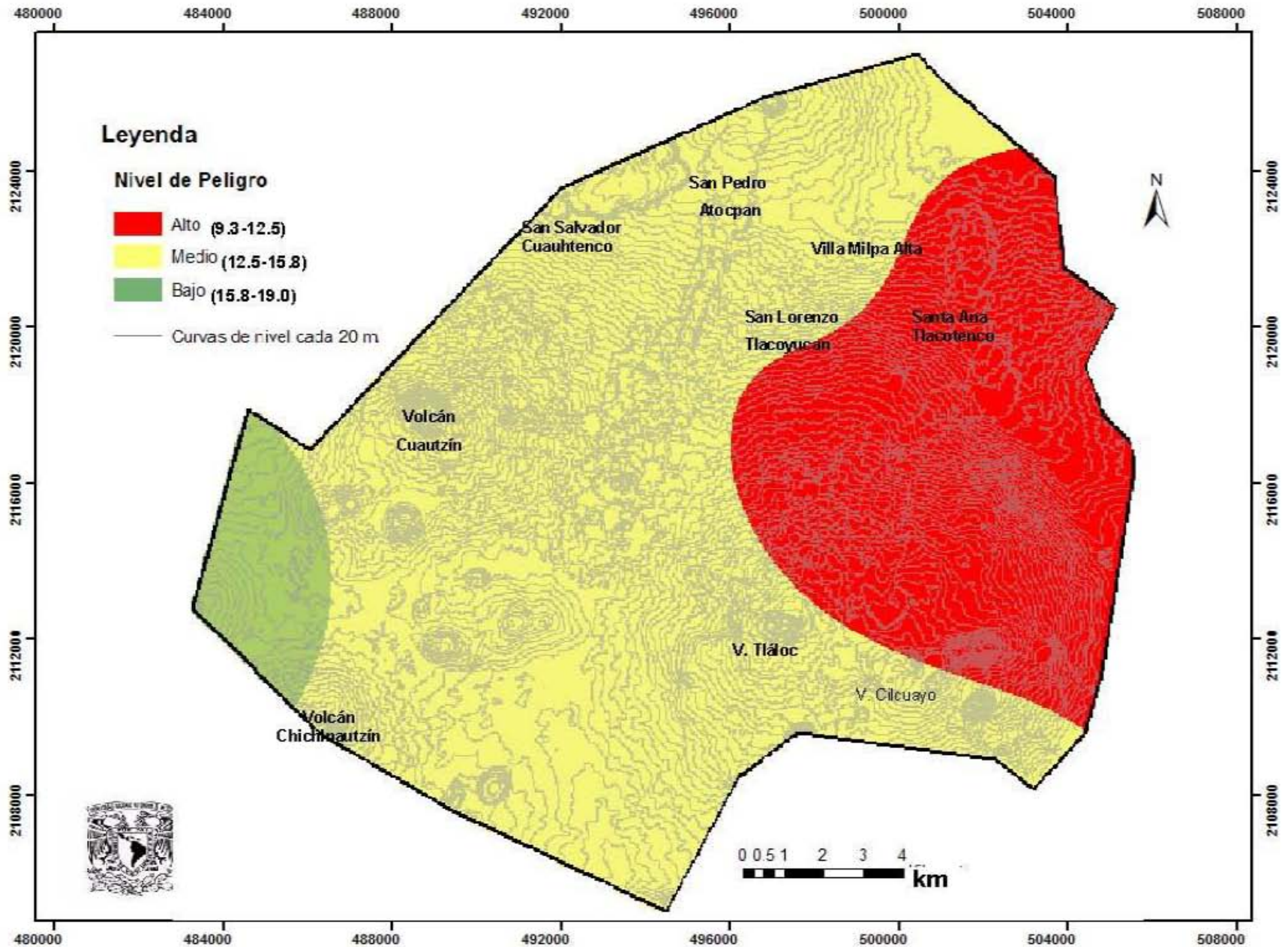


FIGURA 3.3 MAPA DE NIVEL DE PELIGRO DE INCENDIO, SEGÚN EL PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN EN mm DE FEBRERO A MAYO DE 1996 A 2006.

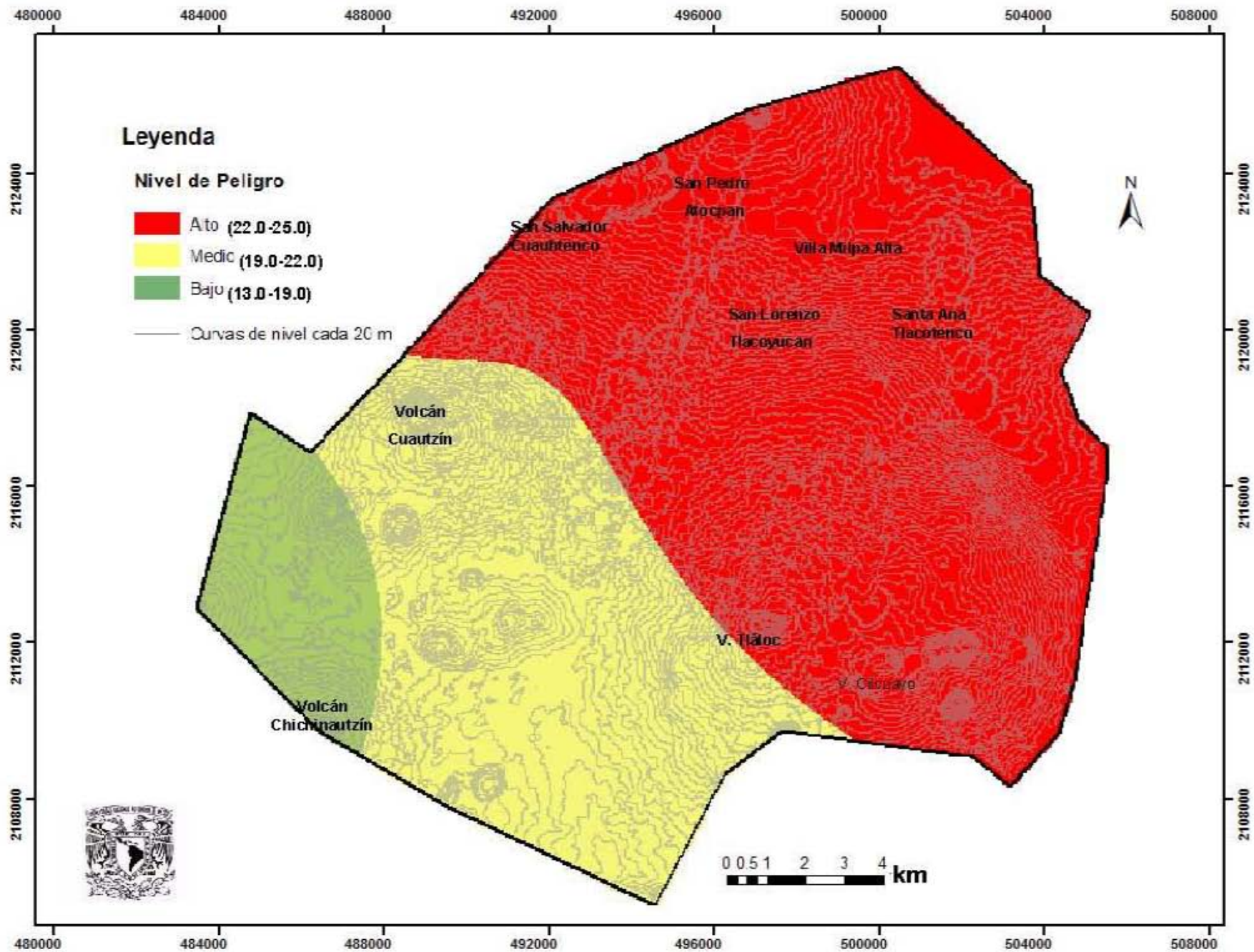


FIGURA 3.4 MAPA DE NIVEL DE PELIGRO DE INCENDIO, SEGÚN EL PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA EN °C DE FEBRERO A MAYO DE 1996 A 2006.

### **3.5 Nivel de peligro de incendio según la variable de combustibles.**

Este mapa es muy parecido al de nivel de peligro, según la profundidad del mantillo, ya que con las observaciones y mediciones hechas en campo se corroboró que existe una relación directa entre la profundidad de mantillo y la cantidad de combustibles.

El nivel de peligro bajo se localiza en las zonas agrícolas y de pastoreo, ya que en ambas existe gran escasez de combustible y se encontraban aislados.

El nivel medio de peligro se ubica en la zona con tipo de vegetación de las latifoliadas y de matorral, ya que aquí se pudieron observar mayor cantidad de combustibles (pequeñas ramas) con un espesor superior a los dos centímetros.

El nivel de peligro alto se encuentra en la zona de las coníferas, aquí se observó que los combustibles cubren gran parte de la superficie con un espesor considerable, que en muchos casos superaba los diez centímetros, son visibles algunos árboles caídos, tallos y troncos; materiales que en época de estiaje son altamente propensos a la incidencia de un incendio (Figura 3.5).

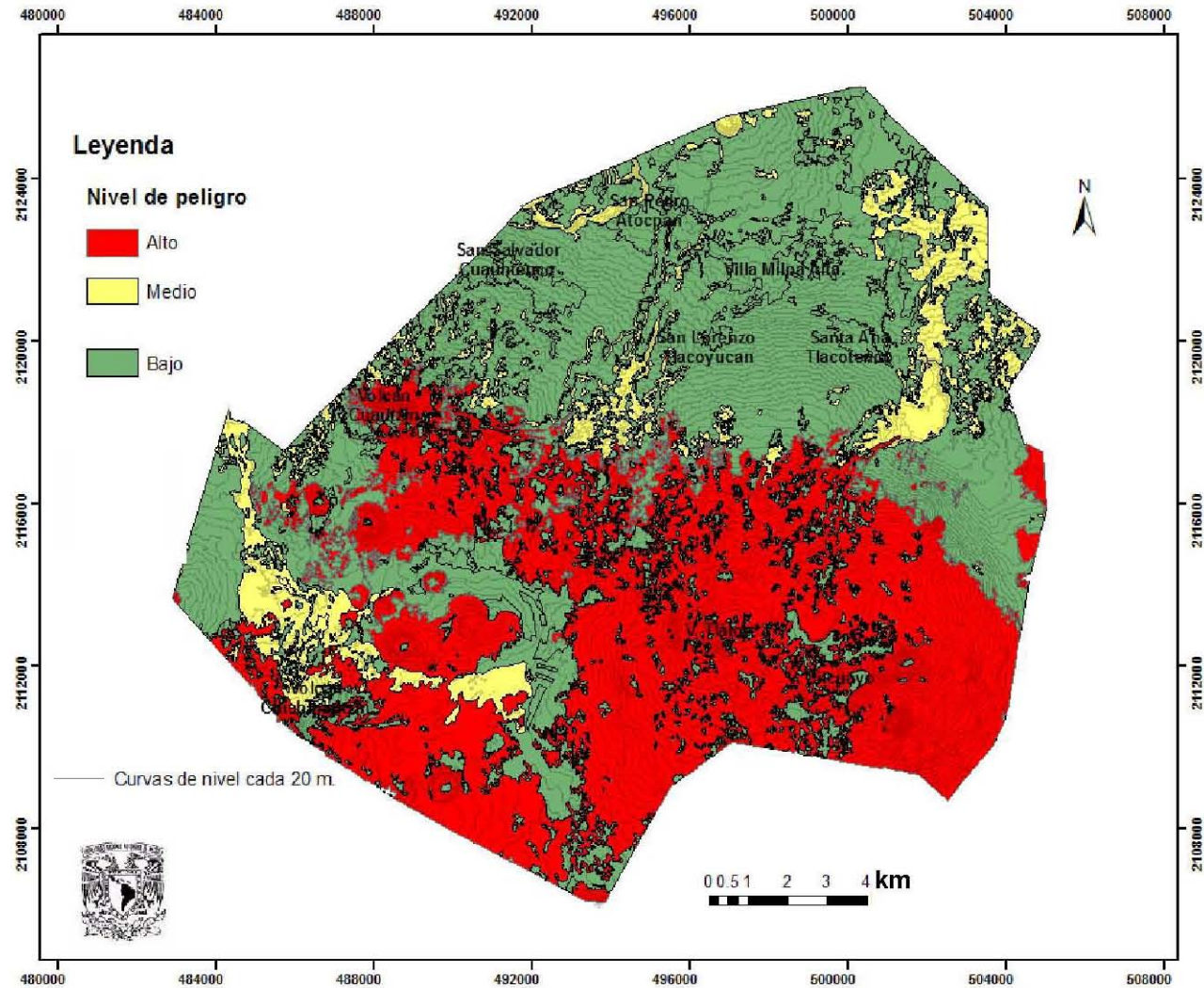
### **3.6 Nivel de peligro de incendio según la variable de profundidad del mantillo.**

El nivel de peligro bajo corresponde a las zonas urbanas, a las áreas de pastoreo y agricultura, ya que debido a la poca masa forestal que hay en estas áreas la acumulación de hojarasca sobre el suelo es muy pobre.

Con las mediciones hechas en campo en las zonas agrícolas y de pastoreo, se corroboró que en algunos puntos incluso había ausencia de mantillo y en otros la profundidad no rebasó los 2 cm, que fue el estándar mínimo planteado en el método aplicado.

El nivel de peligro medio se ubica en la zona con tipo de vegetación de las latifoliadas y el matorral, con las mediciones en campo, se obtuvo que en el bosque de *Quercus* (latifoliadas) en promedio había 2.3 cm de espesor de mantillo, lo suficiente para entrar en el nivel medio de peligro. Las mediciones en las áreas de matorral (herbáceas y arbustivas), en promedio también superaron los 2 cm de espesor de mantillo.

El nivel de peligro más alto se ubica en la zona de bosque de *Pinus* y *Abies* (coníferas), ya que fue en estos puntos que se obtuvieron las mediciones de mayor profundidad de mantillo, en promedio superior a los 7 cm de espesor (Figura 3.6).



**FIGURA 3.5 MAPA DE NIVEL DE PELIGRO DE INCENDIO, SEGÚN EL TIPO DE COMBUSTIBLES.**

TIPOS DE COMBUSTIBLES	NIVEL DE PELIGRO		
	ALTO	MEDIO	BAJO
LIGEROS	Se cubre totalmente la superficie, y tienen un espesor desde 11 y hasta 15 cm. Más de 20 combustibles clase 2	No se cubre regularmente la superficie, tiene un espesor de 2 a 10 cm. Poca presencia de combustibles clase 2 (0.6 a 2.5 cm) (menor a 20)	Gran escasez ó ausencia, de 0 a 2 cm. de espesor y distribución aislada (0 a 20 combustibles clase 1).
PESADOS	Abundantes desperdicios (árboles caídos, copas, etc.); Hay una distribución uniforme en el área, ó están distribuidos en el área por grupos. Presencia de combustibles clase 3 y 4 (> 7.5 cm de espesor)	No hay presencia de combustibles clase 3 y 4 (superior a 2.5 cm de espesor).	Cantidad mínima con distribución aislada (0).

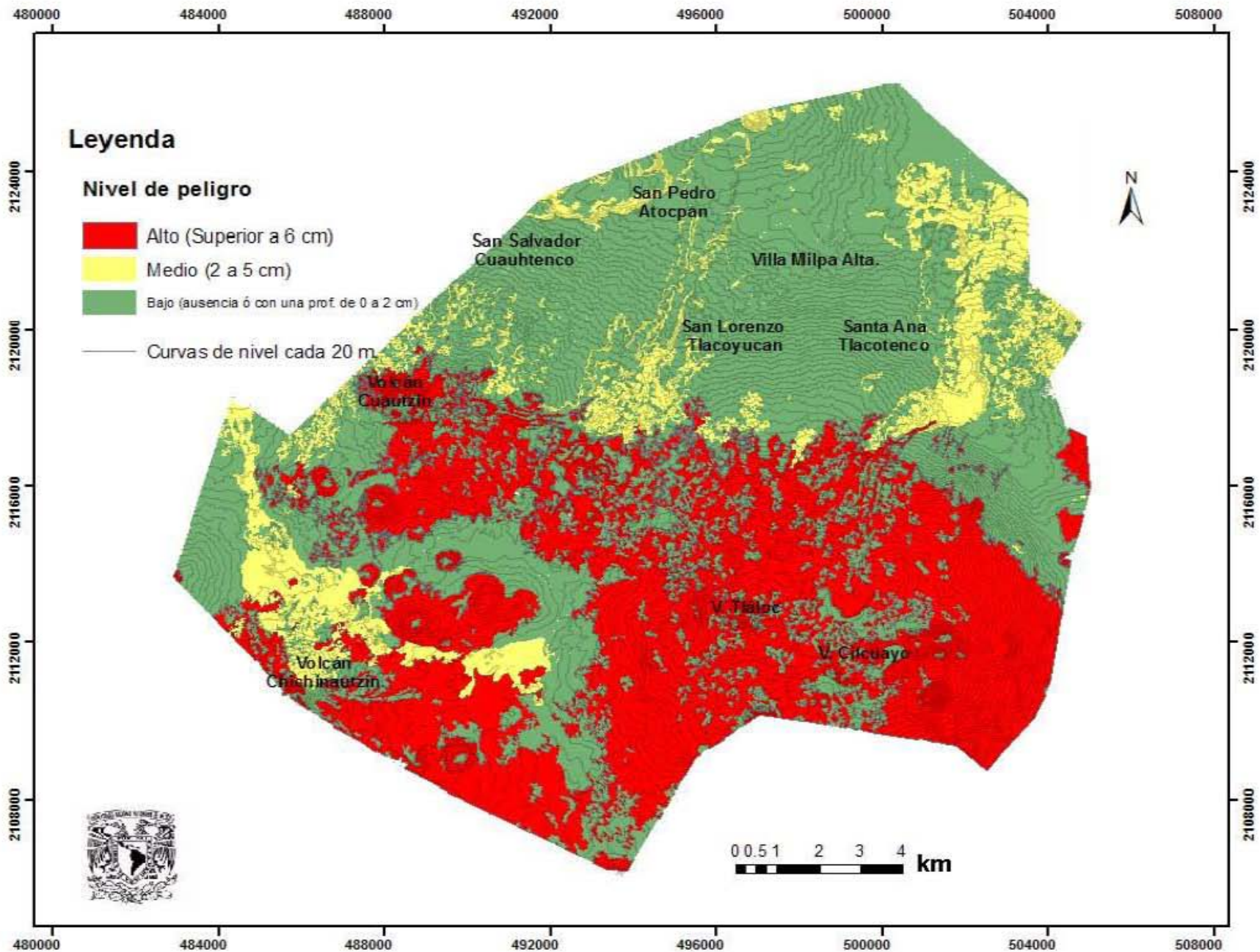


FIGURA 3.6 MAPA DE NIVEL DE PELIGRO DE INCENDIO, SEGÚN LA PROFUNDIDAD DEL MANTILLO.



### **3.7 Nivel de peligro de incendio según la variable de exposición.**

El propósito de este mapa, es conocer hacia que punto cardinal están expuestas las laderas de la superficie del terreno, ya que este factor es fundamental para la insolación potencial que reciben las plantas. El nivel de peligro bajo, corresponde a las porciones de las laderas que están orientadas hacia el Este y Noroeste.

Se consideró que las laderas que estuvieran expuestas hacia el Este, tuvieran un nivel de peligro bajo, debido a que estas zonas solo estarían expuestas durante las mañanas, y es en ese momento que hay un mayor porcentaje de humedad relativa y por ende pocas probabilidades de ocurrencia de incendio, del mismo modo se considero en este mismo nivel de peligro a las porciones que estuvieran orientadas hacia el Noroeste, esto debido a que la superficie total que está orientada en este sentido es muy poca, y realmente los rayos solares no logran tener gran incidencia sobre estas zonas.

El nivel de peligro bajo se encuentra disperso por todo el mapa, en forma de pequeños espacios que corresponden a las laderas Este y Noroeste de las diversas geoformas que están dentro de la delegación, solo en algunas partes logran formar áreas de mayor superficie, esto, al Este del volcán Cilcuayo, al Este del Chichinautzin, al Este del Volcán Teuhtli que se encuentra al Norte de la zona urbana de Milpa Alta y en la cara Noroeste del Volcán Tláloc.

El nivel de peligro medio, corresponde a las laderas que están orientadas hacia el Norte, Oeste y Noreste. Siguiendo la metodología del trabajo, se tomaron como referencia estos puntos cardinales para establecer este nivel de peligro.

Debido a la posición geográfica de la delegación Milpa Alta, la cara Norte de las laderas, recibe durante menor tiempo la incidencia de los rayos solares, a lo largo del año, con respecto a las laderas orientada hacia el Sur. Se consideró la ladera noreste dentro del nivel de peligro medio, debido a que la superficie de estas zonas en su conjunto, representan una gran área dentro de la delegación. También, dentro de este mismo nivel se encuentran las laderas que tienen una orientación hacia el Oeste, ya que cuando el sol tiene incidencia sobre estas, es cuando se alcanzan las mayores temperaturas a lo largo del día y se presenta el menor porcentaje de humedad relativa.

El color amarillo que corresponde al nivel de peligro medio, se ubica predominantemente en la parte central de la delegación y en las laderas del Volcán Cilcuayo.

El nivel de peligro alto, corresponde a las laderas que tienen una exposición hacia el Sur, ya que en México los terrenos que tienen esta orientación son los que reciben mayor incidencia de los rayos solares. De igual forma dentro de este mismo nivel de peligro están las zonas que tienen una orientación zenital (zonas planas), mismas que durante el mes de mayo reciben la incidencia de los rayos solares en forma perpendicular a la superficie provocando altas temperaturas.

El color rojo se localizó en todas las laderas que tienen orientación hacia el Sur, resaltando las de los volcanes Tláloc y Cilcuayo, en la parte meridional de la delegación. También en las zonas planas al Norte de la misma y en la zona inter-montana del Volcán Tláloc y Chichinautzín (Figura 3.7).

### **3.8 Nivel de peligro de incendio según la variable pendiente.**

Prácticamente toda la superficie aparece con un nivel de peligro alto, esto debido a que es una zona con una topografía muy irregular, y esto representa un factor de peligro para la propagación de un incendio. Salvo algunas regiones planas con una pendiente inferior a los 15°, al Norte de la delegación y en la zona intermontana del volcán Tlaloc y Chichinautzin, son las únicas áreas que tienen un nivel de peligro bajo. El nivel medio de peligro prácticamente es inexistente (Figura 3.8).

### **3.9 Nivel de peligro de incendio según el factor de servicios (vías de acceso y recreación).**

El nivel bajo de peligro se encuentra ubicado en las áreas urbanas, en caminos ó brechas poco transitables y en zonas donde no hay caminos. El nivel medio de peligro se encuentra en las laderas del Volcán Tláloc en un área donde la afluencia en los caminos aumenta y hay presencia de algunas zonas de recreación, aunque se encuentran aisladas entre si.

El mayor nivel de peligro se ubica a los alrededores del área urbana, ya que es donde se encuentran los caminos de mayor afluencia y una mayor concentración de zonas de recreación. El criterio que se utilizó para determinar que tan transitable es un camino fue comparándolo con la carta topográfica de INEGI, para saber si se trata de una carretera, una calle, un camino rural ó una brecha (Figura 3.9).

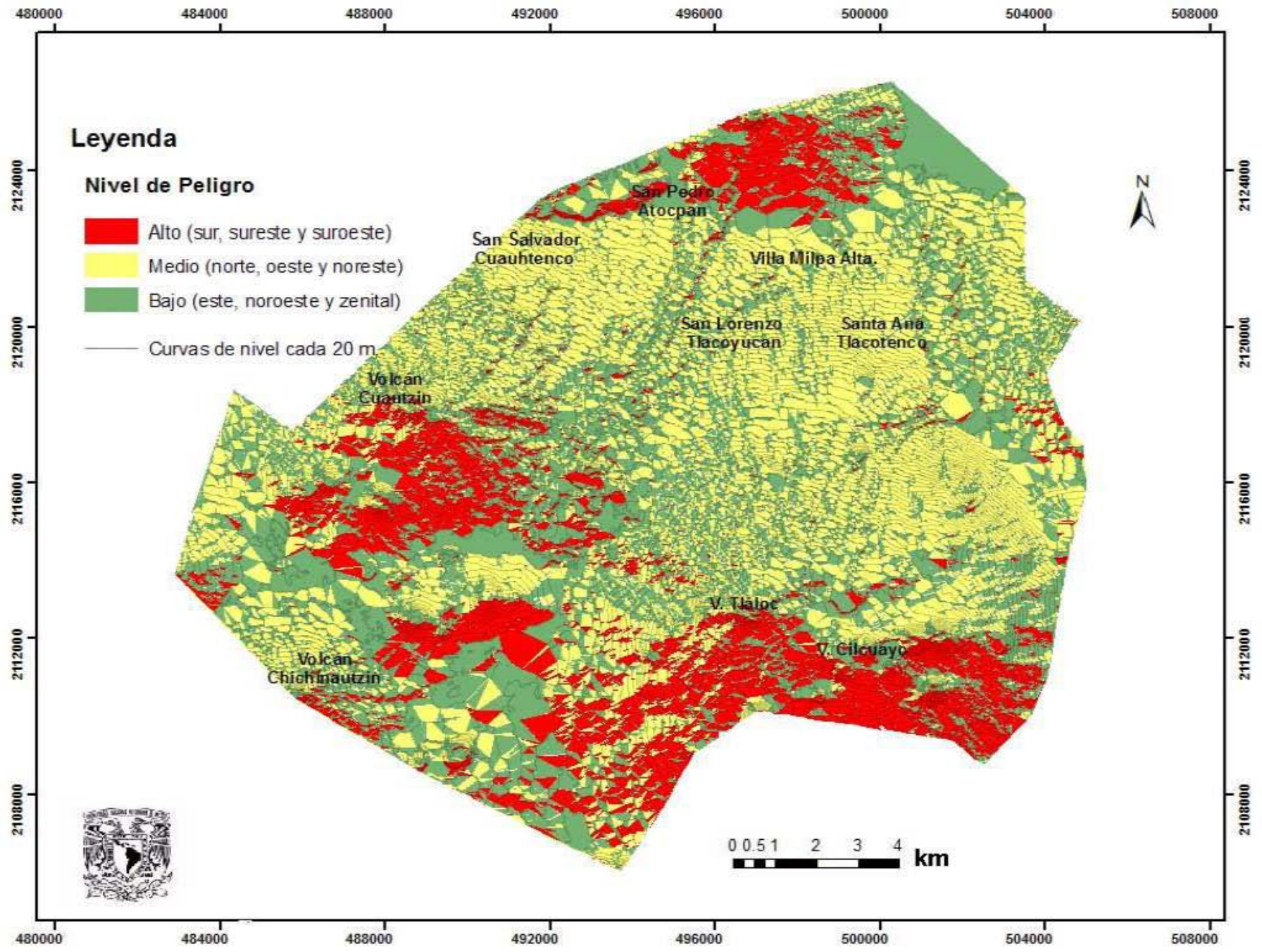


FIGURA 3.7 MAPA DE NIVEL DE PELIGRO DE INCENDIO, SEGÚN LA EXPOSICIÓN DE LA LADERA.

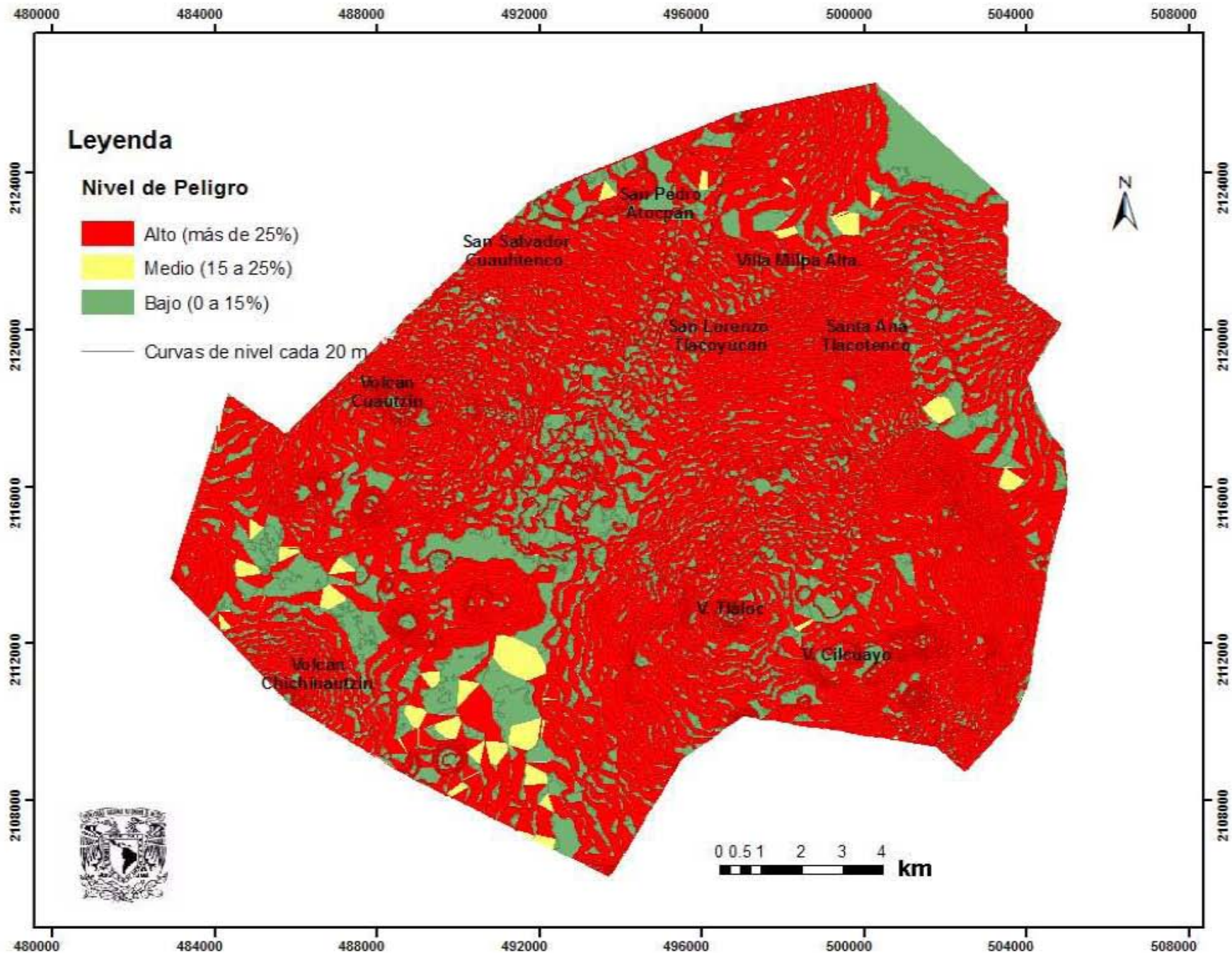
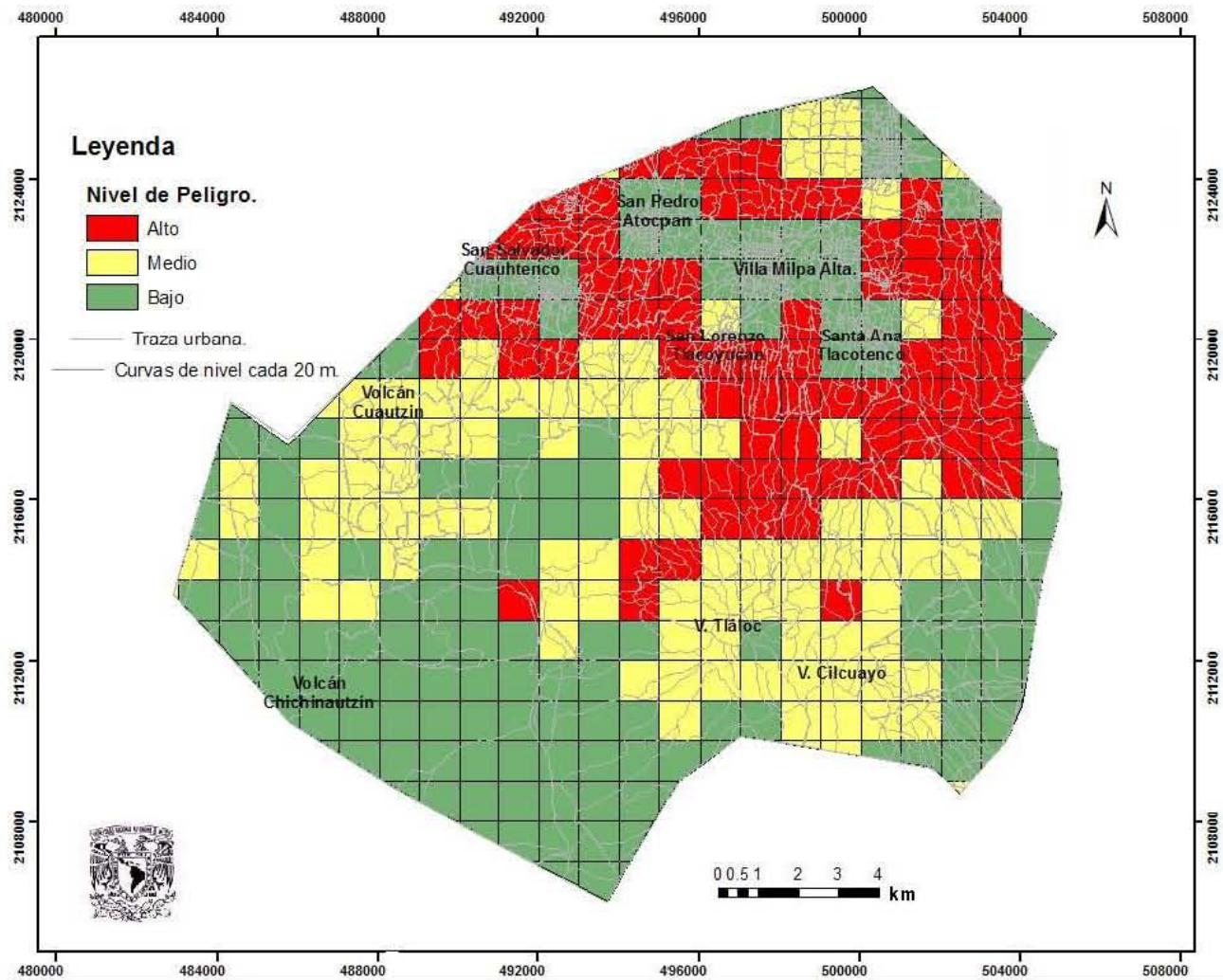


FIGURA 3.8 MAPA DE NIVEL DE PELIGRO DE INCENDIO, SEGÚN LA INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE EN PORCENTAJE.



VARIABLE	NIVEL DE PELIGRO		
	ALTO	MEDIO	BAJO
VÍAS DE ACCESO	Cruce de carreteras, caminos de terracería y abundancia de brechas; Transitables en toda la época del año y nulas labores de protección, limpieza ó quemas controladas. (> 5 cruces)	Cercanía a cruce de caminos, carreteras y brechas, transitables la mayor parte del año. (3 a 5 cruces carreteros)	Proximidad a caminos, carreteras y brechas poco transitables. (0 a 3 cruces carreteros)
ZONAS DE RECREACIÓN	Dentro del área y muy cercanas entre si (más de 1 zona de recreación).	En los alrededores ó lejos de la zona (1 zona de recreación en el área)	No hay

FIGURA 3.9 MAPA DE NIVEL DE PELIGRO DE INCENDIO SEGÚN LA VARIABLE DE SERVICIOS (VÍAS DE ACCESO Y RECREACIÓN).

### **3.10 Índice de peligro por incendios forestales en Milpa Alta.**

El nivel de peligro bajo quedó concentrado en las zonas urbanas, por obvias razones, en estas zonas no es factible que ocurra un incendio forestal, pero lo realmente importante de este resultado, es que si existe una pequeña región al occidente de la delegación que en forma real se puede clasificar como la única área con un nivel bajo de peligro, esto es en las laderas Noroeste del volcán Chichinautzín, un área que a pesar de tener una abundante masa forestal, que en el índice era el factor de mayor peso, arrojó un nivel bajo, esto debido a que es una zona de gran precipitación y bajas temperaturas, aquí tuvieron mayor peso las variables meteorológicas en su conjunto, que la vegetación. Es importante mencionar que aún cuando el análisis se hizo únicamente para la época de estiaje (febrero-mayo), aquí los niveles de precipitación superan en promedio los 15 mm. Es una zona que permanece húmeda incluso en la época más seca del año.

El nivel medio de peligro quedó concentrado en la zona agrícola, esto responde a que en estas zonas no se encuentra masa forestal susceptible de sufrir un incendio, prácticamente nulos combustible y mantillo. Resultó ligeramente influenciada por la exposición de la ladera y el factor de servicios.

Especialmente esta zona se desarrolla de oriente a occidente en forma de franja, rodeando los núcleos urbanos, solo interrumpida por una franja de niveles altos al oriente de la entidad, que corresponde a una colada lávica que actualmente se encuentra cubierta por un bosque de *Quercus*.

El mayor nivel de peligro se sitúa de la zona media de la delegación, hacía el sur ocupando cerca del 50% de la superficie de la entidad, sobre el área forestal y de pastizal. Cubre los conos completos de los volcanes Cuautzin, Tláloc, Cilcuayo, la ladera Este del Chichinautzin, de ahí se extiende por el valle formado entre el Chichinautzín y el Tláloc, hasta la parte más meridional de la delegación. En toda la zona Sur, se concentran algunos de los factores más importantes para la presencia de incendios, empezando por la abundante masa forestal y la zona de pastizales, aunado a esto la parte Sureste quedó como un nivel de peligro alto de las variables meteorológicas. Debido a la ausencia de estaciones en esa área, la estación Juchitepec tuvo más influencia para la definición de su alta temperatura.

Por ser una zona con abundante vegetación hay una mayor cantidad de combustibles y mayor profundidad de mantillo, las laderas tienen una orientación hacia el Sur que reciben

mayor incidencia de los rayos solares y tiene una pendiente superior a los 25°. Esta región que además de concentrar los factores de mayor peso, es la que reúne más en su conjunto, por ende es una zona altamente vulnerable para la generación y propagación de incendios. También hay una franja delgada de valores altos que se extiende hacia el Noreste, la cual es una colada de lava que actualmente se encuentra cubierto por un bosque de *Quercus*, vegetación altamente susceptible a incendios, debido a que concentra una gran cantidad de combustibles ligeros y se encuentra cerca de las zonas agrícolas donde frecuentemente provocan fuego para la limpia de los terrenos y el enriquecimiento del suelo. Esta franja resultó con un nivel alto de peligro por el tipo de vegetación, y por que se sitúa en la zona de mayor peligro según las variables meteorológicas, estos son los tres factores con mayor peso (Figura 3.10).

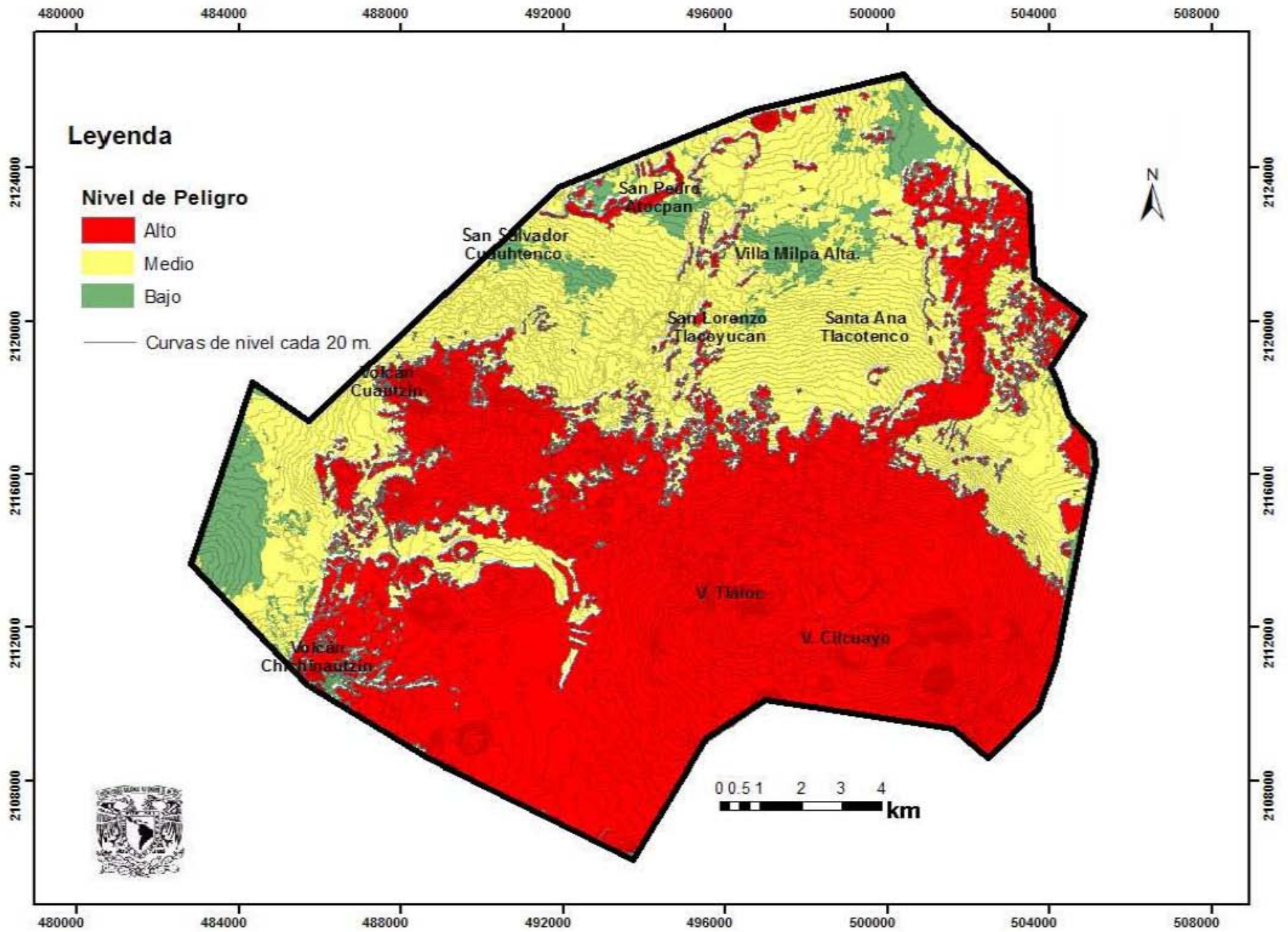


FIGURA 3.10 MAPA DE ÍNDICE DE PELIGRO POR INCENDIOS FORESTALES EN LA DELEGACIÓN MILPA ALTA, DISTRITO FEDERAL.



### 3.11 Discusión

Para la adaptación de este índice de peligro de incendio (IPIF), aplicado a la Delegación Milpa Alta, fue necesario tomar en cuenta varios factores que interactuaban en un lugar específico, aumentando en algunos casos ó disminuyendo en otros, las probabilidades de ignición de la masa forestal. Esto concuerda con lo mencionado por Deeming *et al.* (1977) que mencionan que los resultados de la combinación de variables se correlacionan, dando lugar a modelos de predicción de los que se derivan índices de peligro de un área determinada.

Los diversos factores tomados en cuenta, no podían ser considerados en igualdad de importancia ya que cada uno de ellos incide en mayor ó menor medida, según las condiciones de cada lugar para la generación de un incendio. Para hacer la jerarquización de estos factores, se consultaron diversos índices de peligro de incendio, en los cuales el nivel de importancia de los factores variaba, según el lugar, el enfoque del autor ó autores y la disponibilidad de información. Pero se encontraron algunas coincidencias, los factores de mayor importancia eran: la materia prima combustible y las variables meteorológicas. El orden en que se presentaban era variable, pero reiteradamente fueron estos los pilares para la construcción de los índices.

Se consideró como el factor de mayor importancia a la vegetación en primer lugar seguido de las dos variables meteorológicas principales, la precipitación (cantidad de lluvia entre febrero y mayo) en segundo la temperatura máxima. De acuerdo con el índice de peligro de incendio (IPIF) de Verástegui *et al.* (2005) la variable de mayor importancia es la vegetación, lo que ellos denominaron componente de combustibles forestales (CCF), ya que de este se desprendían la carga de combustibles y tendría relación directa con la profundidad del mantillo. En segundo lugar de importancia se consideraron las variables meteorológicas considerando primero la precipitación y a continuación la temperatura.

De igual forma para el índice adaptado a Milpa Alta, se consideró en cuarto y quinto lugar de importancia respectivamente a los combustibles y la profundidad del mantillo, por ser co-dependientes del tipo y cantidad de vegetación.

En este trabajo se decidió tomar como factor secundario a las variables topográficas (exposición y pendiente) tal como es considerado en el trabajo de Magaña (1985), en la estructura de un índice de peligro, ya que a pesar de ser factores constantes, funcionan más como agentes de propagación que de generación en el caso de la pendiente y la exposición a pesar de jugar un papel importante en la incidencia de los rayos solares, ésta por si sola no logra tener gran influencia, tiene que combinarse con las variables meteorológicas (temperatura y precipitación).

Para el mejor desarrollo de trabajos de esta naturaleza es indispensable contar con una red de estaciones meteorológicas bien distribuida, más amplia, más eficiente y mejor equipada que contribuya a tener información más detallada para poder determinar el nivel de peligro. Lo anterior concuerda con las conclusiones de Capó (1999), menciona como necesario el desarrollo de un sistema de estaciones meteorológicas en el bosque para contar con información *in situ* sobre las condiciones de peligro de incendio.

La propuesta del presente trabajo, es desarrollar un sistema predictivo de incendios forestales, que contribuya a llevar a cabo un mejor manejo forestal dentro de la delegación Milpa Alta, pero principalmente que sirva para la implementación de técnicas y políticas prácticas que permitan prevenir este fenómeno. De acuerdo con Capó (1999), un sistema de clasificación de peligro puede ser útil para ciertos propósitos pero no para todos, por lo tanto se requiere establecer con claridad el objetivo que se persigue y la utilidad del sistema a desarrollar, que tiene que servir principalmente para la prevención. Veléz (1968) define que el conocimiento derivado de un índice de peligro de incendio, es fundamental dentro de un plan de defensa de los bosques contra los incendios.

El uso de sistemas de información geográfica, resultaron ser herramientas potencialmente útiles para la elaboración del índice de peligro de incendios forestales aplicado a la delegación Milpa Alta. Un sistema de información geográfica (SIG) almacena, verifica, manipula, analiza y despliega datos espacialmente referenciados (Clarke, 1997). Los componentes básicos son: datos espaciales, atributos no espaciales, herramientas de software y herramientas de *hardware*. El uso de SIG en el área de incendios forestales ha

sido utilizado por diferentes autores (Kléber *et al.*, 1997). Por otra parte, con el desarrollo de medios de información como Internet se ha facilitado el intercambio de información sobre el tema de incendios a nivel interinstitucional (Swantek *et al.*, 1996).

## CONCLUSIONES

Con la metodología aplicada y el empleo de herramientas cartográficas fue posible identificar en tres niveles las áreas de mayor y menor peligro a la presencia de incendios forestales dentro de la delegación Milpa Alta, aún cuando el índice de peligro ha sido diseñado para áreas forestales exclusivamente, en donde la generación de incendios depende más de las condiciones físico-naturales del lugar y no a factores antropogénicos como es en este caso, arrojó resultados muy interesantes.

Por un lado indica que la zona occidental de la delegación es la de menor peligro debido a la alta precipitación y que es la de menor superficie, el nivel medio de peligro quedó limitado a las zonas agrícolas. Pero lo realmente preocupante es que la mayor parte de la entidad quedó definida con un nivel alto de peligro en toda la porción sur, donde la probabilidad de ocurrencia de incendio en la época de estiaje supera el 80%. Estos datos representan cifras muy altas que las autoridades tendrán que tomar en cuenta, ya que es justo en esta zona donde se concentran e interactúan la mayor cantidad de factores detonantes de incendio.

Mientras mayor número de factores se encuentran concentrados en un lugar el nivel de peligro se incrementa, a pesar de que con el método de ponderación se le dió un peso específico a cada variable, la concentración de los mismos determinó las áreas de mayor y menor peligro.

Para la mayor eficiencia de este tipo de trabajos es indispensable que las estaciones meteorológicas que se van a considerar para el área de estudio tengan una buena distribución. La red de estaciones meteorológicas del país es aún muy pobre y esto propicia que en algunas ocasiones los trabajos no tengan un mayor nivel de certidumbre.

En este trabajo se detectó ausencia de información climatológica ya que en las zonas altas de los volcanes Tláloc y Cilcuayo no existen estaciones meteorológicas, por lo cual esta zona se vio influenciada por estaciones que estaban a menor altitud donde las condiciones atmosféricas medias son distintas como es el caso de la estación meteorológica de

Juchitepec que es la más cercana a la zona de los volcanes y ella propició que los datos de las zonas altas quedarán con valores superiores a los que realmente son. Este fue un factor que influyó en los resultados finales. Para la solución de este tipo de problemas, es recomendable la utilización de sistemas de percepción remota que permitan que los datos se acerquen lo más posible a la realidad.

En Milpa Alta la zona de incendios se tiene muy bien localizada y en estas zonas reiteradamente cada año se presenta el problema, aquí en específico los factores son antrópicos, el 95% son causados por la quema de pastizales, es de suma importancia que las autoridades empiecen a tomar un papel más serio para que esto cada vez se haga de forma más controlada y esto no tenga repercusiones en la masa forestal como hasta ahora ha ocurrido.

El problema de los incendios no radica en la falta de infraestructura, equipos y personal, sino en la búsqueda de alternativas técnicas para los productores de ovino, que son los principales responsables de los incendios en la delegación, pues para la manutención del ganado ovino se necesita quemar el pasto seco para que surja el brote tierno. Asimismo, generar la motivación y participación responsable de la gente estableciendo medidas que permita cambiar una práctica tan arraigada, como es el uso del fuego en la ganadería; aplicación de normas legales y promoción de la cultura forestal.

## LITERATURA CITADA

-Aguado, I. y Camia, A. (1998). Fundamentos y utilización de índices meteorológicos de peligro de incendio. En: Serie Geográfica. Num. 7. 1997-1998. Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá, España. pp: 23-36.

-Aguirre, B.C. (1978) Efecto del fuego en algunas características y propiedades de suelos forestales. Tesis Profesional. Depto. de Bosques, ENA. Chapingo, México. 270 p.

Andrev, V., Imeson, A.C. and Rubio, J.L. (2001). *Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wildfire in a Mediterranean pine forest*. Catena 44:69-84 p.

-Bovio, G., Quaglino, A. y Nosenzo, A. (1984). *Individuazione di un indice di previsione per il pericolo di incendi boschivi*, Monti e Boschi 35: 39-44.

-Brown, A.A. and Davis, P.K. (1973). *Forest Fire: control and use*. 2a edition. Ed. Mc Graw Hill. U.S.A. 686 p.

-Capó, A.M. (1999). *La estimación de riesgo como ayuda a la prevención de incendios: Incendios forestales y agropecuarios. Prevención e impacto y restauración de los ecosistemas*. Programa Universitario de Medio Ambiente, pp. 53-63

-Cedeño, S.O. (1999). Incendios Forestales en México en 1998: magnitud, extensión, combate y control. En: Revista Ciencia Forestal en México Vol. 20 Núm. 77. México, D.F. Enero-Junio 1999. 228 p.

-Clarke, K.C. (1997). *Getting started with Geographic Information System*. Prentice, Hall, New Jersey.

-Cooper, C. (1961). *The ecology of fire*. In: *Ecology, Evolution and Population Biology*. Reading From Scientific American. W.H. Freeman and Co San Francisco. 249-302.

-CORENADER (2002). Programa Integral de Prevención y Combate de Incendios Forestales del Distrito Federal (2001-2002). Reporte final julio 2002. Gobierno del Distrito Federal, Secretaría de Medio Ambiente y Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. México. 30 p.

-DeBano, L.F., Neary, D.G. and Ffolliot, P. F. (1998) *Fire effects on ecosystems*. John Wiley and Sons (eds). 331 p.

-Deeming. E, Burgan, R.E, Cohen, J.D. (1977). *The national fire danger rating system* 1978. General Technical Rep. INT-39 USDA-INFRES. 63 p.

-Eaton P. and Radojevic M. (2001). *Forest fires and regional haze in southeast Asia*, Nova Science Publishers, Inc., Huntington, New York, 275 p.

-FAO, (2003). Los incendios devastan cada vez más los bosques de todo el mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO sala de prensa, 9 de septiembre de 2003. <http://www.fao.org/spanish/newsroom/news/2003/21962-es.html>

-FAO, (2005). Necesidades y oportunidades de cooperación internacional para afrontar los incendios forestales, Boletín de la CAMUFA, 17 periodo de sesiones, 03-11-05. México D.F., [www.imac.mexicorg](http://www.imac.mexicorg).

-Fassbender, H. W. y Bornemisza, E. (1994) *Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica. 420 p.

-FitzPatrick, E. A., (1984). *Suelos, su formación, clasificación y distribución*. CECSA, México.

-Flores Garnica, J. G. (1996). Aplicación de sensores remotos y sistemas de información geográfica para el Mapeo de Riesgos de Incendios Forestales. INIFAP. Folleto informativo No. 1. México 16 p.

-GAF (2006), Grupo de Acción Forestal de la Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales, Chile. <http://www.gaf.cl/faqs/index.php?action=view&topic=1142637511>

-García, E., (1988). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, 5ª ed., Instituto de Geografía, UNAM, México.

-García M.A. (1998). Los incendios forestales en 1998: Un verdadero desastre ecológico. [www.laneta.apc.org/eventos/chima.htm.p. 1-8](http://www.laneta.apc.org/eventos/chima.htm.p.1-8)

-Garrido Lozano, I. (1991). Propuesta de Metodología para Obtener un Sistema de Predicción de Peligro de Incendio Forestal para la República Mexicana. SARH. Subsecretaría Forestal. Dirección General de Protección Forestal, México. 43 p.

-Gobierno del Distrito Federal/Secretaría del Medio Ambiente, (2000). Plan de manejo integral de las microcuencas del suelo de conservación del Distrito Federal, Gobierno del Distrito Federal y Secretaría del Medio Ambiente (SMA), México.

-Hudson, J. y Salazar, M. (1981). Las quemas prescritas en los pinares de Honduras Serie miscelánea N°1. Escuela Nacional de Ciencias Forestales. Siguatepeque, Honduras.

-INEGI (1984) Carta topográfica Milpa Alta E14A49 y Amecameca, E14B41, a escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México.

-INEGI (1984) Carta geológica Ciudad de México E14-2, 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México.



-INEGI (1984) Carta de uso de suelo y vegetación Ciudad de México E14-2, 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México.

-IMTA (1996), Extractor rápido de información climatológica, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.

-Klever, J., Cléber, R. W. and Burgan, R. E. (1997). Using GIS to assess Forest.

-Naranjo, A. J. L., Jiménez, M. J. A., Ramírez, H. A., Tena, C. V., Robles, B. E., Montiel, P. R. y Molina, R. E. (2002). Programa de manejo forestal persistente para Pino (*Pinus hartweggi* y *Pinus montezumae*) y Oyamel (*Abies religiosa*) en 5000.00 Hectáreas de bosque comunal en Milpa Alta, México D.F. Servicios Forestales y Ambientales, México 5-90 pp.

-Maass, M. y Jaramillo, V. (1999) Impacto de los incendios en el suelo. Ciencias forestales en México Vol. 20 Num. 77. México D.F. Ene-Jun 1999. 228p.

-Magaña Torres, O. S. (1985). Índice de peligro de incendios forestales. Boletín divulgativo No. 70 SARH. México, pp: 5-15

-Martín, M. P., Chuvieco, E. y Aguado, I. (1998) La incidencia del fuego en España. En: Serie Geográfica. Num. 7. 1997-1998. Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá, España, pp: 23-36

-Martínez M. A., Flores G.G. y Benavides S. J. (1990) Índices de riesgo de incendio en La Sierra de Tapalpa Edo. de Jalisco. En: Revista Ciencias Forestales en México vol. 5 num.67, México D.F. enero-junio 1990. 114 p.

-Mckenzie, (2004). La historia del fuego y su relación con el clima. En: Incendios forestales en México: Métodos de evaluación. Villers, R. L. y López-Blanco, J., Eds. (2004). Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM 13-28 p.

-Mooser, F. (1963) Historia geológica de de la Cuenca del Valle de México. En: Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo. DDF, México.

-Paré, O. L. (1999). Causas Estructurales de los incendios. pp 19-30, En: Santiago Fragoso, H., Servin Massieu, M., Rodarte Ramón, H., Garfias y Ayala F. (eds). Incendios Forestales y Agropecuarios: prevención e impacto y restauración de los ecosistemas. UNAM, SEMARNAP, IPN. México.

-Pérez García C.A. (2005) Modificaciones en las propiedades físicas y químicas del suelo en dos áreas con incendios forestales recientes: La Malinche y El Pelado. Tesis de Licenciatura en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras., UNAM, México, D.F.

-Pritchett, W.L. (1986) Suelos forestales, propiedades conservación y mejoramiento. Limusa, México. 566 p.

-Rzedowski, J., (1981). Vegetación de México. Limusa, México.

-Rodríguez-Gamiño Ma. de Lourdes y López-Blanco Jorge (2003). Degradación ambiental por incendios forestales en Milpa Alta, Centro de México. In memoria del Congreso de las Américas sobre Geofísica Ambiental. Facultad de Ciencias, UNAM. México.

-Rodríguez, D.A. (1996) Incendios Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Mundi prensa. México. 630 p.

-Salazar, L. and Power, J. (1988) Geographic Information System , GIS aplicaciones in the urban/wildfire interface. Poster paper presented at the Fire Safe California Symposium, march 24-25, 1988. California, Politechnic State University, Pomona, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. U.S.D.A. Forest Service, Riverside Fire Laboratory.

-Santillán, P.J. (1993), Sistema para determinar indicadores de peligro de incendio forestal, Informa técnico No. 14, Acuerdo de cooperación en materia forestal entre México y Finlandia.

-SARH (1987) Jefatura del Programa Forestal en Jalisco. Resumen de la campaña de incendios forestales 1986-1987. Propuesta de infraestructura para 1988. Delegación de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en Jalisco. Guadalajara, Jalisco, México.

-SEMARNAP (2000). Programa Nacional de Protección contra incendios forestales. Resultados 1995-2000, Ed. Impresora para informática, México D.F., 263p.

SEMARNAT (2001), Estadísticas e indicadores de los recursos forestales, [http://semarnat.gob.mx/estadísticas\\_ambientales/estadísticas\\_am\\_98/forestales05.shtml](http://semarnat.gob.mx/estadísticas_ambientales/estadísticas_am_98/forestales05.shtml)

-Show, S. B. y Clarke, B. (1953). La lucha contra los incendios forestales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

-Sepúlveda, B.J., C. W. Zúñiga, E.M. Olguín y P. A. Gomero (1999). *Implementación de un sistema de información geográfica para la prevención de incendios forestales en Baja California*, Folleto Científico No. 1, INIFAP, SAGAR, México.

-Spurr, S. H. y Barnes, B. V. (1980) *Ecología forestal*. 690 p.

-Swantek, P. J. Halvorson W. H. and Shalbe C. R (1996). *The use of GIS and internet for Analyzing Fire History of Sonora Desert*. Documento electrónico Internet.

-Trápaga, D. Y., 2002. El bosque en llamas: México 1998. En Lugo, H.J. e Inbar. M (compiladores) 2002. *Los desastres en América Latina*. Capítulo XI. FCE.

-True, A. (2001). *Wildfire a reader*. Island Press. 246 p.

-Van Wagner, C. E. (1974). *Structure of the Canadian Forest FIRE Weather Index*. Ottawa, Canadian Department of Environment Canadian Forestry Service.

-Vélez, R. M. 1968. *El índice de peligro de incendios forestales*. Montes. 143: 419-447.

-Verástegui, C. J., Muñoz, R. C, Treviño, G. E. Jiménez, P. J. y Aguirre, C. O. (2005). *Desarrollo de un modelo espacial para la evaluación del peligro de incendios forestales: Investigaciones Geográficas Num. 56*. Abril. México D.F.

-Zapata, P.C, (1991), *Determinación de indicadores de peligro potencial de incendios forestales con base en la cuantificación del material combustible*, UACH, Chapingo, México.

## ANEXO I

Selección de puntos de muestreo en gabinete..

Para poder cubrir la variable de combustibles, era necesario una visita de campo, en el cual se pudiera clasificar el tipo de combustible y la profundidad del mantillo, según el tipo de vegetación.

Para la selección de los puntos se tomaron en cuenta tres parámetros principalmente:

- 1) Áreas con mayor frecuencia de incendios.
- 2) Accesibilidad al lugar.
- 3) Tipo de vegetación.

El objetivo fue obtener y medir muestras en los tipos de vegetación más representativos, como son: bosque de Pino y Abies, bosque de Quercus, pastizal y áreas agrícolas, dentro del área de estudio.

En esta pre-selección se eligieron ocho puntos que no necesariamente serían los definitivos, ya que estos podrían variar en campo.

**Tabla A.1. Puntos de muestreo de combustibles seleccionados en campo.**

PUNTO	COORDENADAS
El punto 1 se encuentra al NE de la delegación, en una de las zonas donde se presenta la mayor frecuencia de incendios, el tipo de vegetación es bosque de Quercus y agricultura de temporal	X=501,556.37 Y=2,118,735.28
El punto 2 , se localizo en la parte central de la delegación, que es una zona muy extensa, que también presenta un número muy elevado de frecuencia de incendios. El tipo de vegetación es bosque de pino y oyamel, con agricultura de temporal semipermanente	X=494, 656.09 Y=2,117,023.18
El punto 3 se encuentra localizado hacia el W de la delegación, se encuentra en uno de los cuadrantes con mayor número de eventos, la vegetación es de bosque de pino y oyamel, también hay pastizal y áreas de agricultura de temporal.	X=494, 656.09 Y=2,117,049.12
El punto 4 está en la parte central de la delegación, sobre un tipo de vegetación de pastizal inducido, y también en una de las zonas con mayor frecuencia de incendios.	X=492,892.11 Y=2,113,391.45
El punto 5 se encuentra en la zona N de la delegación, este sitio se eligió debido a dos factores, el primero que se encuentra en una zona con muchos eventos registrados y el segundo por que el tipo de vegetación es bosque de enano, y es importante tener una muestra de este tipo de vegetación	X=494,526.39 Y=2,119,176.27
El punto 6 se encuentra al SE de la delegación, en la ladera sur del Volcán Cilcuayo, este punto aparece en el mapa de frecuencia con un valor	X=500,959.73 Y=2,113,598.98

<p>elevado, y aunque es una zona de difícil acceso, la ruta que siguen los caminos de incendio permiten un acceso a la zona. Pero es muy importante tener un muestreo de este lugar, ya que es un área muy grande de bosque de Pino</p>	
<p>7.- Este punto se encuentra ligeramente orientado al Este, hay un gran número de eventos en la zona, la accesibilidad es complicada ya que ningún camino nos acerca, la vegetación es bosque de pino y pastizal natural principalmente</p>	<p>X=499,729.39 Y=2,116,270.89</p>
<p>8.- Este último punto se encuentra ubicado al centro oeste de la delegación tiene una pendiente con rumbo norte-sur, también es una zona con valores de frecuencia de incendios muy altos y la vegetación de bosque de pino, rodeado por áreas de agricultura de temporal.</p>	<p>X=489,675.44 Y=2,115,700.19</p>