

Incendios Forestales en el Estado de México y sus Emisiones a la Atmósfera



SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE

DIRECCIÓN GENERAL DE PREVENCIÓN Y
CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA



**GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO**

Directorio

Lic. Enrique Peña Nieto

Gobernador Constitucional del Estado de México

Mtro. Guillermo Velasco Rodríguez

Secretario del Medio Ambiente

Lic. Roberto Cervantes Martínez

Director General de Prevención y
Control de la Contaminación Atmosférica

Incendios Forestales en el Estado de México y sus Emisiones a la Atmósfera

Gobierno del Estado de México

Secretaría del Medio Ambiente

Vía Gustavo Baz Prada, 2160, 2do. piso

Viveros del Río, Tlalnepantla de Baz

Estado de México C. P. 54060

Elaboración: marzo de 2009

Hecho en México

www.edomex.gob.mx



Incendios Forestales en el Estado de México y sus Emisiones a la Atmósfera

Contenido

INTRODUCCIÓN	4
I. ASPECTOS GENERALES	6
I.1. ¿Qué es un Incendio Forestal?	6
I.2. Tipos de Incendio Forestal	6
I.3. Factores que Intervienen en los Incendios Forestales	7
I.4. Importancia Ecológica	8
I.5. Impacto Ambiental y Económico	9
I.5.1. Impacto en el Medioambiente	9
I.5.2. Impacto Económico	10
I.6. Causas de los Incendios Forestales	10
I.7. Situación en México	11
2. INCENDIOS FORESTALES EN EL ESTADO DE MÉXICO	13
2.1. Combate de Incendios Forestales	13
2.2. Número y Afectación (Recuento Histórico)	15
2.3. Emisiones a la Atmósfera	17
2.3.1. Emisiones a Escala Estatal	19
2.3.2. Emisiones por Región Hidrográfica	20
CONCLUSIONES	25
BIBLIOGRAFÍA	26
SIGLAS, ACRÓNIMOS Y SÍMBOLOS	28



Introducción

Las causas que explican la pérdida de los recursos forestales conforman una larga lista que incluye: la pobreza, el crecimiento de la mancha urbana, la tenencia colectiva de la tierra, la tala clandestina, la sobreexplotación forestal, la agricultura de subsistencia, la ganadería sin control y los incendios forestales.

Se conoce como incendio forestal a la propagación libre y no programada del fuego sobre la vegetación silvestre y es un fenómeno que posee una condición dual. Por una parte, los incendios constituyen un factor importante para la dinámica de los ecosistemas, sobre todo, en los bosques templados; contribuyen a la mineralización de la materia orgánica; abaten el combustible ligero disminuyendo la presencia de incendios de grandes magnitudes; e inician los procesos de sucesión ecológica que ayudan al mantenimiento de la biodiversidad. Por otra parte, afectan el hábitat de la fauna silvestre; propician la erosión del suelo, alteran el régimen hidrológico y contribuyen con la contaminación del aire y la emisión de gases de efecto invernadero, además de afectar la belleza escénica y dañar, en ocasiones, determinadas construcciones.

Los incendios forestales pueden ocurrir de forma natural, accidental o intencional. En México, el principal motivo consiste en el empleo del fuego para la habilitación de terrenos cultivables, así como las fogatas y la quema de basura. El fuego utilizado de manera irresponsable o negligente puede convertirse en un evento de consecuencias devastadoras para el medioambiente, que incluso, puede originar la alteración del sistema natural y la pérdida de la biodiversidad.

Actualmente, las actividades humanas, aunado a la alteración del sistema climático global, han modificado los patrones naturales de ocurrencia de los incendios, volviéndolos más frecuentes e intensos. Hoy en día, muchos incendios ocurren en zonas donde anteriormente eran inusitados, mientras que en zonas que tenían regímenes periódicos de fuego, éstos se han suprimido. Ante tal situación, los incendios forestales representan una amenaza constante sobre los recursos naturales y los asentamiento humanos, la cual puede convertirse en catástrofe, por ejemplo, la ocurrida en 1998, en la cual tan sólo en México se quemaron cuatrocientas mil hectáreas y se declararon contingencias ambientales en distas partes del país debido a los altos índices de partículas suspendidas, tal fue la magnitud de la contaminación que afectó el oeste de los Estados Unidos de América.

Durante los últimos años el Estado de México ha ocupado el primer lugar nacional en cuanto a número de incendios y el doceavo lugar en superficie total afectada. El Gobierno Estatal, por conducto de la Protectora de Bosques (PROBOSQUE), vigila y protege contra incendios forestales 894 mil hectáreas, es decir, 39.7 % del territorio estatal. Durante el periodo 1980-2007 han ocurrido casi 52 mil incendios, los que han afectado 10 % del territorio estatal. En el periodo 2000-2007 hubo, en promedio, 1 419 incendios, 5 564 hectáreas quemadas y una aportación de 54 643 toneladas de contaminantes. En la entidad, más de 79 % de tales siniestros esta relacionado con la quema de esquilmos agrícolas y de pastos, fogatas de excursionistas y actividades silvícolas.

La Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM), por conducto de la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica (DGPCCA), se ha propuesto establecer el seguimiento de los incendios forestales que ocurren en la entidad para estimar la carga contaminante que aportan a la atmósfera, complementando de esta forma el Diagnóstico Ambiental del Estado de México. Todo esto en el marco de las atribuciones otorgadas por el artículo 4.º, fracción XXX, del Reglamento del Libro Segundo del Código para la Biodiversidad del Estado de México, así como el artículo 9.o, fracción IX, del Reglamento Interior de la Secretaría del Medio Ambiente.



El presente trabajo consta de los siguientes objetivos:

Objetivo General:

- ♦ Crear un banco de datos de los incendios forestales que ocurren en el Estado de México, a partir del cual se pueda calcular la carga de contaminantes que aportan a la atmósfera y conocer su variación anual.

Objetivos Específicos:

- ♦ Describir, de manera general, los aspectos más relevantes de los incendios forestales en cuanto a tipos de incendio, causas, importancia ecológica, ambiental y económica, así como las acciones para su control en el Estado de México.
- ♦ Elaborar un registro histórico estatal del número de incendios forestales, superficie afectada e índice de afectación.
- ♦ Determinar las emisiones de los incendios forestales para el periodo 1980-2007 a escala estatal.
- ♦ Obtener las emisiones de los incendios forestales para el periodo 1998-2006 por región hidrográfica.

Alcances y Beneficios:

- ♦ Ampliar la base de conocimiento técnico del Diagnóstico Ambiental del Estado de México respecto a incendios forestales.
- ♦ Sistematizar la información y desarrollar indicadores ambientales acerca de las actividades que deterioran los recursos forestales de la entidad.
- ♦ Contribuir al inventario estatal de emisiones contaminantes respecto a las fuentes de área.
- ♦ Generar información sobre contaminantes criterio y gases de efecto invernadero provenientes de esta fuente de emisión.

El documento *Incendios Forestales en el Estado de México y sus Emisiones a la Atmósfera*, está integrado por dos secciones. La primera, “Aspectos generales”, describe los tipos de incendio, sus causas, importancia ecológica, así como su situación en México. En la segunda, “Incendios forestales en el Estado de México”, se exponen las acciones gubernamentales para su combate, se muestra el seguimiento de los incendios durante un periodo de 28 años y se exponen los resultados del computo de las emisiones de monóxido y bióxido de carbono, partículas $PM_{2.5}$ y PM_{10} , metano y gases orgánicos totales, generadas por esta fuente a escala estatal y regional.



I. Aspectos Generales

I.1. ¿Qué es un Incendio Forestal?

Un incendio forestal se puede definir de distintas maneras según el enfoque de que se trate:

- Dentro de la normatividad forestal, la NOM-015-SEMARNAP/SAGAR-1997 se refiere a éste como la “quema sin control de la vegetación forestal” (SEMARNAP y SAGAR, 1999).
- En el ámbito del manejo forestal, consiste en la “propagación libre y no programada del fuego sobre la vegetación en los bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas” (CONAFOR, 2006).
- En términos de inventario de emisiones, es un proceso natural de combustión a gran escala que consume diferentes tipos de vegetación silvestre en un área determinada (véase EPA, 1996).

Llama la atención que ni la Ley General para el Desarrollo Forestal, su reglamento, ni el Código para la Biodiversidad del Estado de México contengan una definición de incendio forestal a pesar de su uso frecuente, y sea a nivel de norma oficial mexicana donde aparezca.

I.2. Tipos de Incendio Forestal

Se conocen tres tipos de incendios determinados básicamente por la naturaleza de los combustibles:

Incendio superficial.

Se propaga en forma horizontal sobre la superficie del terreno. Daña principalmente pastizales y vegetación herbácea encontrada desde la superficie del suelo hasta 1.5 metros de altura. Deteriora la regeneración natural y la reforestación. En México es el más frecuente, pues alrededor de 90 % de los incendios corresponden a este tipo.

Incendio de copa o aéreo.

Se inicia en forma superficial propagándose hacia las copas de los árboles. Se presenta con fuertes vientos y en lugares con pendiente muy pronunciada. Afecta seriamente a los ecosistemas pues destruye la totalidad de la vegetación y daña a la fauna silvestre en diversos grados. Aproximadamente, 8 % de los incendios en el país es de este tipo.

Incendio subterráneo.

El fuego se inicia en forma superficial y se propaga bajo la superficie del terreno; afecta las raíces y la materia orgánica acumulada en los afloramientos de roca. Por lo general no produce llama y emite poco humo. En México no es muy común (menos de 2 % de los incendios), pero cuando se presenta es peligroso y difícil de controlar.



I.3. Factores que Intervienen en los Incendios Forestales

La ocurrencia, tamaño, intensidad y comportamiento de los incendios forestales están influidos primordialmente por tres factores: la carga de combustible, la topografía del lugar y las condiciones meteorológicas.

Combustibles forestales.

Se considera como combustible todo material vegetal que potencialmente puede arder al ser expuesto a una fuente de calor. Por su condición, los combustibles pueden clasificarse en vivos y muertos. Los primeros consisten en hierbas, arbustos y árboles; los segundos, en troncos, ramas y hojarasca que normalmente se encuentran sobre el suelo.

Los principales atributos de los combustibles forestales comprenden cantidad, tamaño y forma, así como su distribución o arreglo horizontal y vertical sobre la superficie, su contenido de sustancias químicas, la densidad de la madera y su contenido de humedad (Wong y Villers, 2007).

Se denomina *carga de combustible* al peso seco total de la biomasa por unidad de superficie y determina la cantidad de combustible que alimenta al fuego. Cuanto mayor sea la acumulación de combustible en una zona, mayor cantidad de calor podrá desprenderse y en consecuencia, el incendio será más intenso. En general, la vegetación en zonas lluviosas, la vegetación herbácea y arbustiva tienen alta carga de combustible.

Los combustibles de diámetro pequeño como hojarasca, hierba seca y ramilla seca, representan una alta cantidad del combustible disponible, por ello, también se les conoce como combustibles rápidos. Los de mayor diámetro conservan más tiempo la humedad y su contribución al combustible disponible es más retardada, por lo que son llamados combustibles lentos. De esta forma, diferentes tipos de combustibles pueden alcanzar distintos contenidos de humedad bajo las mismas condiciones ambientales.

El tamaño y volumen de los combustibles se relaciona con el hecho de que puedan arder menos o más fácilmente, o que tan rápido pueda avanzar la flama. Por otra parte, cuando los combustibles están dispuestos en forma continua y horizontalmente, el fuego se propaga mejor que cuando existen espacios vacíos sin vegetación.

Para originar un incendio forestal siempre se requiere de una fuente de incandescencia externa mayor de 200 °C, por lo que no existe la combustión espontánea.

Topografía.

Las variaciones en la inclinación de la ladera, la orientación, la elevación y la microtopografía, pueden causar cambios significativos en el desarrollo del incendio.

La propagación de un incendio se acelera en los sitios con una pendiente pronunciada, como en el caso de barrancos y laderas muy próximas, ya que los combustibles están más cerca de las llamas, además, la inclinación favorece el rodamiento de pavesas (brazas) lo que provoca incendios secundarios.



La orientación o cara de exposición de la ladera afecta el comportamiento del fuego por medio de las variaciones en la cantidad de radiación solar y viento que recibe. En general, la orientación sur-suroeste en el hemisferio norte favorece el comienzo y propagación de un incendio; esto se debe a que recibe más insolación, reduciendo a su vez, el contenido de humedad. Por otro lado, la intensidad de la radiación solar es más alta cuando la ladera es perpendicular al ángulo de incidencia del sol.

La altitud o elevación de una montaña, u otra elevación, define tres zonas en las cuales el fuego muestra características distintas. En la parte baja, generalmente hay más cantidad de combustible, por lo que el incendio es más intenso; en la parte media, es común una disminución del combustible, pero en esa región se forma un cinturón térmico que representa un índice de peligro más alto; en el tercio superior, la propagación de fuego se reduce al haber menos combustible, además de suceder cambios bruscos del viento (CENAPRED, 1999).

Condiciones meteorológicas.

Las variables meteorológicas más importantes que determinan el comportamiento del fuego y la inflamabilidad de los combustibles son la temperatura, la humedad relativa y el viento.

Conforme el día avanza, el sol calienta los combustibles y las capas de aire inmediatas al suelo; el viento caliente extrae humedad de los combustibles; la temperatura se eleva hasta el punto en que puede predisponer fácilmente a la ignición. En ambientes secos, la humedad relativa llega a ser de 20 % o menos; una humedad relativa de 40 % es comúnmente el valor que representa el punto de peligro de incendio (Wong y Viller, 2007).

Tanto la temperatura como la dirección y velocidad del viento modulan el inicio y la propagación del incendio. Si se incrementa el viento, aumenta también la disponibilidad de oxígeno, por lo que aumenta la combustión y con ello la transferencia de calor hacia lugares y combustible no quemados. Además, el viento propicia el desprendimiento de pavesas las cuales pueden originar conatos de incendio.

I.4. Importancia Ecológica

El fuego es un elemento necesario en los ciclos de vida del planeta. Contribuye a renovar y conservar muchos ecosistemas de diferentes maneras, por ejemplo, estimula tanto la apertura de los conos en ciertas especies de pino como el crecimiento de brotes en encinos arbustivos; elimina el exceso de maleza; limita la propagación de enfermedades entre las plantas; y facilita la liberación de nutrientes hacia el suelo. Sin embargo, para todo tipo de ecosistema, aún para aquellos que requieren del fuego, la presencia de incendios de manera reiterada y en grandes dimensiones (incendios catastróficos, relacionados con muchos años de acumulación de combustible), trae como consecuencia la degradación, o incluso, la pérdida de los recursos forestales (CONAFOR, 2008).

El Estado de México cuenta con variados tipos de ecosistemas, entre los que destacan muchos dependientes del fuego, pero también los hay sensibles. Entre los primeros están pinares, pastizales y encinares; entre los segundos, los bosques de oyamel y las selvas bajas (Tchikoué, 2003).

Sin el fuego los ecosistemas dependientes de él son desplazados por la siguiente etapa sucesional. Así mismo, la alta acumulación de combustible que la exclusión del fuego implica, aumenta el peligro de incendios de mayor magnitud, que resultan más difíciles, costosos y peligrosos de combatir y, además, habrá más mortalidad de arbolado, erosión y contaminación. En los ecosistemas sensibles al fuego, como



los bosques de oyamel (*Abies religiosa*) y las selvas bajas, no se requiere la presencia del fuego para mantenerlos (cuadro I.I).

Características de los ecosistemas dependientes y sensibles al fuego		Cuadro I.I
<i>Dependientes del fuego</i>	<i>Sensibles al fuego</i>	
- Se distribuyen en la parte central y noroeste de México. - Incluyen géneros como <i>Arctostaphylos</i>, <i>Ceanothus</i>, <i>Quercus</i>, y <i>Garrya</i>, entre otros. En México central destacan las especies de encinos arbustivos <i>Q. frutex</i>, <i>Q. microphylla</i>, y <i>Q. repanda</i>. - Ocurren incendios superficiales cada dos a diez años. - Las especies arbóreas se regeneran bien sobre sitios quemados, donde el fuego ha removido la barrera de zacate y materia orgánica acumulada para que la semilla pueda hacer contacto con el suelo mineral. - Ciertas especies tienen corteza gruesa y aislante que las protegen de las temperaturas letales del fuego. - Muchas especies recuperan follaje cuando parte de su copa ha sido afectada por el incendio.	- Comprenden selvas perennifolias, subperennifolias y selva baja caducifolia, bosques de oyamel y ciertos bosques de encino. - El fuego no es requerido para mantener el tipo de vegetación. - Incendios eventuales que ocurren cada varios siglos cuando hay sequía extrema, pero resultan ser catastróficos. - Para la recuperación de la vegetación original, ha de transcurrir la sucesión ecológica durante siglos.	

Fuente: CONAFOR (2008)

I.5. Impacto Ambiental y Económico

I.5.1. Impacto en el Medioambiente

Un incendio forestal trae consigo más afectaciones de las que se perciben a simple vista pues hay otros daños difíciles de cuantificar. Por ejemplo, desaparece el hábitat de la fauna silvestre; las plantas y árboles quedan desprotegidos ante plagas y enfermedades, además, se daña su capacidad de crecimiento; se reducen los recursos genéticos; los suelos quemados pierden propiedades físicas, químicas y biológicas volviéndose propensos a la erosión, aunado a ello, se desequilibran las cadenas alimenticias y muchos procesos biológicos se ven truncados.

Al eliminar la cubierta vegetal, no hay retención de agua que se filtre al subsuelo y abastezca mantos freáticos. Además, el sedimento proveniente de la erosión llega a los embalses y provoca el aumento del contenido de nitrógeno, fósforo, magnesio, calcio, potasio y algunos metales pesados que resultan ser tóxicos para ciertas especies animales (véase Llamas, 2008).

El hecho de modificar arbitrariamente los ciclos preestablecidos del fuego, atrae consecuencias no sólo en la esfera local, sino también a escala regional y global, con daños a la naturaleza que repercuten en la salud y en la seguridad de las personas. De esta manera, los incendios se integran a un círculo en el que



diversos fenómenos influyen como causa-efecto, unos de otros; entre estos están: la pérdida de la biodiversidad, la contaminación del agua y aire, la erosión del suelo, la desertificación, incluso, los cambios en el clima.

El impacto en la salud de las personas expuestas a las emisiones de los incendios forestales puede llegar a ser de gravedad si las condiciones meteorológicas son adversas, así como la afectación de la visibilidad regional (Contreras, Rodríguez, Retama, et al. 2003). Las emisiones de partículas de los incendios forestales de gran extensión pueden transportarse a grandes distancias a nivel continental. Las altas concentraciones de partículas en el oeste de los Estados Unidos de América durante el verano de 1998 fueron causadas por los incendios forestales ocurridos en México (Bravo, Sosa, Sánchez, et al. 2004).

1.5.2. Impacto Económico

En términos económicos, la pérdida de productos forestales merma el potencial comercial. La valuación de daños incluye las pérdidas materiales en infraestructura, productos y servicios, es decir, los valores monetarios y no monetarios que proporcionan los bosques: madera afectada, costos de reforestación, costos de rehabilitación, incluidos suelos, ríos, etcétera; valores ecológicos, históricos, escénico, recreativo y los costos del combate de incendios, que incluyen al personal, junto con los recursos materiales y financieros.

En el caso particular del Estado de México, Tchikoué (2003) calculó una pérdida de 66.2 millones de pesos que incluyó, tanto productos primarios, secundarios, y celulósicos, además de 1.4 millones de pesos por leña. La reforestación de las áreas afectadas ascendió a 5.9 millones de pesos. El total de pérdidas por todos estos rubros fue de 73.5 millones pesos. Es importante señalar que las actividades de prevención y control evitaron la pérdida de 621.2 millones de pesos en madera y leña, así como el ahorro de 202.9 millones de pesos para reforestación.

1.6. Causas de los Incendios Forestales

Se calcula que las actividades humanas ocasiona 99 % de los incendios forestales y el restante 1 % tiene como causa fenómenos naturales. El cuadro 1.2 resume las principales causas de los incendios forestales. El fuego utilizado de manera irresponsable o negligente puede convertirse en un evento de consecuencias devastadoras para el medioambiente, debido a que origina la alteración del ecosistema natural y la pérdida de la biodiversidad a diferentes escalas.

Causas de los incendios forestales		Cuadro 1.2
● Accidentales	- Rupturas de líneas eléctricas - Accidentes automovilísticos, ferroviarios y aéreos	
● Negligencias	- Quemadas agropecuarias no controladas - Fogatas de excursionistas, fumadores, quema de basura - Limpieza de vías en carreteras - Uso del fuego en otras actividades productivas dentro de áreas forestales	
● Intencionales	- Quemadas por conflictos entre personas o comunidades - Tala ilegal o litigios	
● Naturales	- Caída de rayos o erupciones volcánicas	

Fuente: CONAFOR (2008)

Aún cuando los incendios forestales son destructivos, sólo ocasionan 2 % de la deforestación a nivel nacional. Es decir, la pérdida de bosques y selvas se da en gran medida por otras causas (CONAFOR 2008), sin embargo, debido a su espectacularidad, es la que más impacta a la opinión pública (CENAPRED, 1999).

I.7. Situación en México

En México se presentan dos temporadas de más incidencia: la primera, inicia en enero y concluye en junio, se manifiesta en las zonas centro, norte, noreste, sur y sureste del país; la segunda, comienza en mayo y termina en septiembre, y ocurre en el noroeste del país. Ambas coinciden con la época más seca en el territorio nacional.

Los incendios forestales dañan pastizales y arbustos en una proporción de 70-90 %. Los pastizales se recuperan en los primeros días de la temporada de lluvias, mientras que los arbustos tardan en hacerlo desde unas semanas hasta un par de años. En el caso de las zonas arboladas (10-30 % de afectación), tardan en recuperarse entre 15 y 50 años. En años recientes se ha observado que la superficie afectada por incendios en ecosistemas sensibles al fuego va en aumento (Llamas, 2008).

De acuerdo con la CONAFOR (2008) la media nacional del número de incendios forestales para el periodo 1970-2007 corresponde a 6 835, mientras que el promedio de superficie afectada, a 221 179 hectáreas. A pesar de estas cifras, México tiene menos incendios en promedio por año que Estados Unidos, Canadá, España e Italia (Ortiz, Vidal, Gómez y Álvarez, 2003).

Por entidad federativa, el Estado de México ocupa el primer lugar nacional en cuanto a número de incendios, con una media de 1 605 eventos durante el periodo de referencia; por su parte, Oaxaca y Chiapas son los estados con más superficie quemada (cuadro I.3).

Entidades federativas con mayor número de incendios forestales y mayor superficie quemada. Promedio para el periodo 1970-2007				Cuadro I.3
<i>Entidad</i>	<i>Número de incendios</i>	<i>Entidad</i>	<i>Superficie quemada (ha)</i>	
Edo. México	1 605	Oaxaca	46 127	
Distrito Federal	1 114	Chiapas	41 942	
Michoacán	942	Durango	21 508	
Chihuahua	832	Chihuahua	17 213	
Jalisco	548	Baja California	15 981	
Morelos	384	Guerrero	15 845	
Puebla	304	Jalisco	15 804	
Chiapas	289	Michoacán	11 136	
Durango	266	Quintana Roo	9 155	
Guerrero	222	Coahuila	7 262	
Otros	329	Otros	19 206	
Media nacional	6 835	Media nacional	221 179	

Fuente: CONAFOR (2008)

En el territorio mexicano, el cambio climático podría ocasionar un incremento en la temperatura y un déficit de humedad en el suelo, provocando a su vez, el avance de las zonas áridas y semiáridas sobre las zonas subhúmedas y un aumento en la frecuencia e intensidad de las sequías, sobre todo, en los estados del norte del país.



Debido a esto, el potencial de incendios forestales en todo el territorio tendría un crecimiento notable como resultado de este fenómeno. Tal situación ha quedado de manifiesto bajo condiciones de clima extremo, como las experimentadas durante el evento El Niño, en 1998, que llevaron a condiciones de sequía en México y un número récord de incendios forestales (INE, 2006).

Combate de incendios forestales.

El trabajo de combatiente o brigadista de incendios forestales es peligroso, arduo y poco reconocido por la sociedad. Las actividades que el combatiente realiza requieren de aptitud física, capacitación, experiencia y sentido común. Los errores pueden derivar en lesiones o fatalidades. Las fatalidades suceden por la aplicación de estrategias erróneas, por la falta de utilización del equipo de protección personal, o bien, por una inadecuada condición física. En México, durante la temporada 1998 murieron 71 personas, incluyendo algunos combatientes, y durante el 2003 hubo 10 muertos y 42 lesionados (Rodríguez, Santillán, Tchikoué, 2006).

Los estados con mayor cantidad de brigadas son Chihuahua, Jalisco, Michoacán, Puebla, Durango, Chiapas y Estado de México; y con el menor número son Baja California Sur, Guanajuato, Tabasco, Aguascalientes y Zacatecas. La edad promedio del combatiente es de 42 años con un rango de 26-68 años, en tanto que el peso promedio es de 79 kg, con un rango de 53-130 kg. En cuanto a lesiones, las más frecuente son las fracturas y torceduras (21 %), cortaduras (16 %), golpes (9 %), intoxicación por humo (7 %), quemaduras (7 %) y afección a las vías respiratorias (7 %) (Rodríguez, et al. 2006).



2. Incendios Forestales en el Estado de México

2.1. Combate de Incendios Forestales

Entre las prioridades del Gobierno del Estado de México está la protección y conservación de la cubierta forestal de la entidad. Para tal fin, la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, por conducto de la Protectora de Bosques (PROBOSQUE), ha puesto en marcha el Programa Estatal de Prevención, Control y Combate de Incendios Forestales (PROBOQUE, 2008) de conformidad con las atribuciones conferidas por el Libro III, título IV, capítulo V, del Código para la Biodiversidad del Estado de México.

Los objetivos de este programa contemplan:

- ♦ Reducir el número de incendios y el índice de afectación a través de acciones de prevención, detección, control y combate.
- ♦ Proteger y conservar los recursos forestales de la entidad con acciones que permitan contribuir al desarrollo y fomento forestal, evitando su degradación o pérdida por incendio.

Las estrategias a seguir determinan:

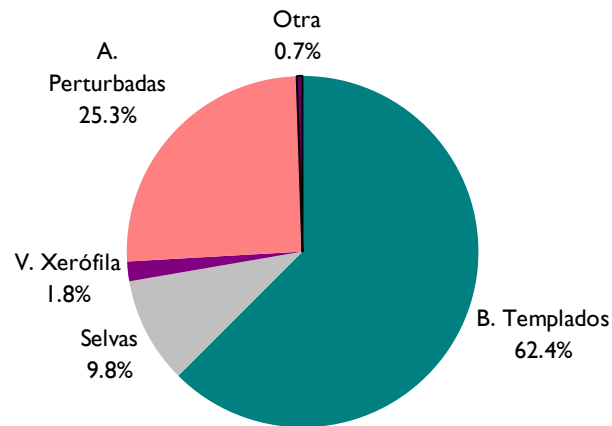
- ♦ Rehabilitar la infraestructura de detección para el control y extinción eficaces de los siniestros, para disminuir el índice de afectación por incendio.
- ♦ Incrementar el número de brigadas y combatientes con apoyo de los Ayuntamientos, organizaciones no gubernamentales y grupos voluntarios, todos ellos, debidamente capacitados.
- ♦ Implementar una campaña permanente de concientización sobre la importancia de evitar los incendios forestales y la aplicación de sanciones a los infractores con base en la legislación federal y estatal, a fin de disminuir los incendios derivados de las actividades humanas.
- ♦ Incrementar y mantener las brechas cortafuego, en las regiones de alta incidencia.

Para la prevención, control y combate de incendios forestales se cuenta con la siguiente Infraestructura:

- Un comando central
- Ochenta y cuatro brigadas (hasta 2008)
- Dieciséis torres de vigilancia
- Equipo de radiocomunicación
- Un helicóptero tipo Koala con un tanque de 1 200 litros de capacidad

La superficie a proteger contra incendios forestales es 894 mil hectáreas, lo cual representa 39.7 % del territorio estatal, y corresponde a 558 mil de bosques, 88 mil de selvas, 16 mil de vegetación xerófila, 6 mil de vegetación hidrófila y halófila y 226 mil de zonas perturbadas. Como se aprecia en la gráfica 2.1 el mayor porcentaje de superficie a proteger corresponde a bosques templados (62.4 %) y a áreas perturbadas (23.3 %).

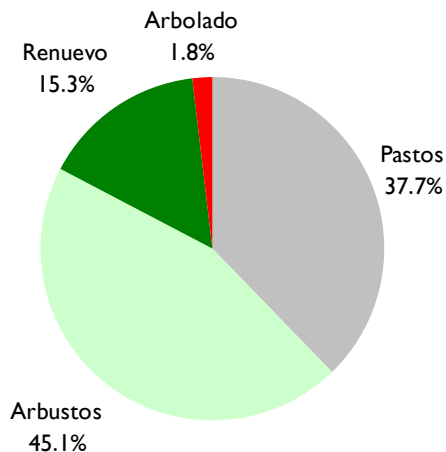
Gráfica 2.1 Porcentaje de la superficie de vegetación susceptible a incendios forestales



Fuente: Probosque (2008)

La gráfica 2.2 muestra que gran parte de los incendios en la entidad son de tipo superficial y que los estratos más afectados corresponden a arbustos y pastos (82.8 %), renuevo (15.3 %) y un mínima proporción a arbolado (1.8 %). En la entidad, la principal causa de estos siniestros se debe a la quema de pastizales y residuos agrícolas, así como a los provocados por paseantes (PROBOSQUE, 2006).

Gráfica 2.2. Porcentaje de estratos vegetales afectados por incendios forestales (periodo 1995-2006)



Fuente: DGPCCA, con información del INEGI.

De acuerdo con la estadística nacional, el Estado de México ocupa el primer lugar en número de incendios, el cuarto lugar en eficiencia al durar 3:36 horas en promedio en su control, cuarto en índice de afectación y doceavo lugar en superficie total afectada.

La participación gubernamental para la atención de los incendios se da a través de la Coordinación Interinstitucional conformado por: PROBOSQUE, CONAFOR, SEDENA, Ayuntamientos, Coordinación General de Conservación Ecológica, CEPANAF, Servicios Aéreos del GEM y la Dirección General de Protección Civil.

2.2. Número y Afectación (Recuento Histórico)

Los indicadores «incendios forestales» y «superficie afectada» sirven para detectar la presión que estos eventos tienen sobre los recursos forestales (véase a SEMARNAT, 2000). En el Estado de México, de 1980 al 2007, periodo de 28 años, han ocurrido 51 957 incendios forestales con una afectación de 241 047 hectáreas, lo que representa 10.9 % del territorio estatal. El promedio anual resulta de 1 856 incendios y de 8 608.86 ha por año. La media geométrica para el índice de afectación corresponde a 3.74 hectárea/incendio.

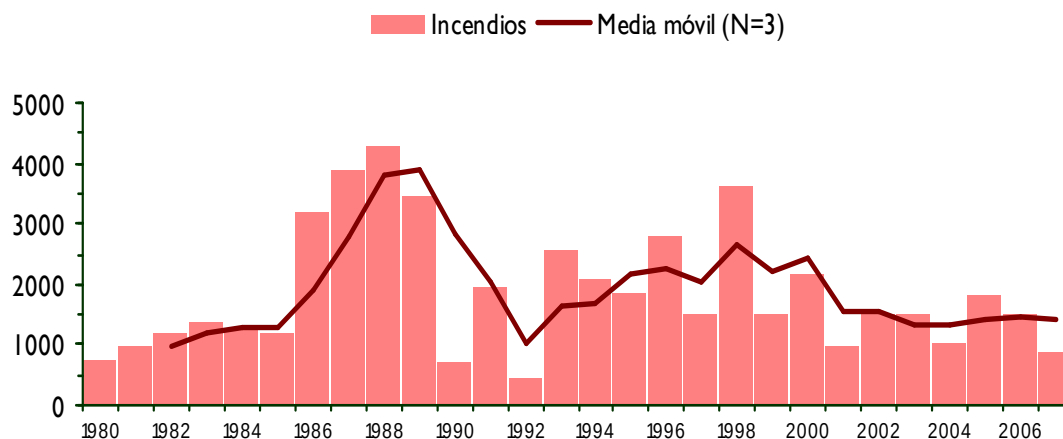
Del cuadro 2.1 destaca que el año con el número más alto de incendios corresponde a 1988, con 4 301 eventos, seguido de 1987, con 3 885 y 1998 con 3 649. Respecto a la superficie quemada, en el año 1998 hubo una afectación de 25 847 ha, seguido por 1988 con 21 187 ha y 1983 con 17 347 ha. Al obtener el índice de afectación, los tres años con el valor más alto (en orden de importancia) corresponden a 1983, 1995 y 1991.

Incendios forestales en el Estado de México, 1980-2007				Cuadro 2.1
Año	Número de incendios (i)	Área afectada (ha)	índice de afectación (hali)	(%) respecto a la superficie estatal
1980	746	2 528.00	3.39	0.11
1981	978	3 546.00	3.63	0.16
1982	1 174	6 879.00	5.86	0.31
1983	1 368	17 347.00	12.68	0.78
1984	1 249	2 379.00	1.90	0.11
1985	1 211	720.00	0.59	0.03
1986	3 203	2 878.00	0.90	0.13
1987	3 885	16 260.00	4.19	0.73
1988	4 301	21 187.00	4.93	0.95
1989	3 465	14 912.00	4.30	0.67
1990	710	1 983.00	2.79	0.09
1991	1 942	13 813.00	7.11	0.62
1992	450	1 143.00	2.54	0.05
1993	2 556	16 351.00	6.40	0.74
1994	2 061	11 240.00	5.45	0.51
1995	1 875	13 811.00	7.37	0.62
1996	2 771	15 008.00	5.42	0.68
1997	1 496	4 517.00	3.02	0.20
1998	3 649	25 847.00	7.08	1.17
1999	1 512	4 189.74	2.77	0.19
2000	2 152	6 836.20	3.18	0.31
2001	986	2 844.80	2.89	0.13
2002	1 493	7 601.59	5.09	0.34
2003	1 497	7 626.60	5.09	0.34
2004	1 010	2 399.55	2.38	0.11
2005	1 805	7 422.40	4.11	0.33
2006	1 510	7 027.76	4.65	0.32
2007	902	2 750.30	3.05	0.12

Fuente: SEGEM (1993); INEGI (2000); INEGI, Anuarios estadísticos varios años (1994-2007)

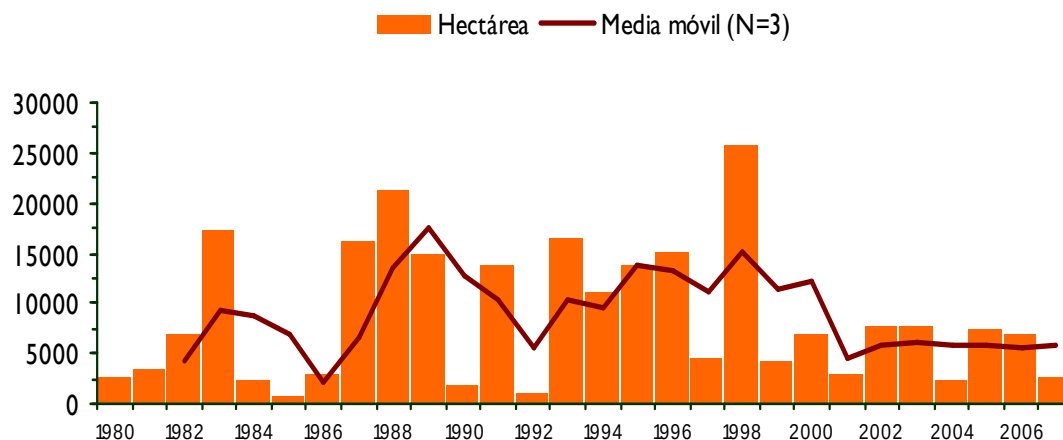
Tanto el comportamiento del número de incendios como la superficie afectada se muestran en las gráficas 2.3 y 2.4. Las dos series de tiempo muestran variación cíclica, siendo mucho más marcada en la superficie afectada. Asimismo, al calcular la media móvil, se puede hablar de una tendencia hacia la baja a partir de 1998 en ambos casos.

Gráfica 2.3. Núm. Incendios forestales y tendencia (1980-2007)



Fuente: Cuadro 2.1

Gráfica 2.4. Superficie afectada y tendencia (1980-2007)



Fuente: Cuadro 2.1

En el cuadro 2.2 se muestran los datos históricos agrupados por periodo. Destaca que el periodo con el número más alto de incendios corresponde a 80-89, en el cual hubo 2 158 eventos, mientras que aquel con mayor área afectada e índice de afectación es 90-99, con una superficie de 10 790 hectáreas y 4.59 hectárea/incendio.



Incendios forestales en el Estado de México, datos promedio por periodo			Cuadro 2.2
Periodo	Núm. Incendio	Área afectada (ha)	Índice de afectación
De 1980-2007	1 856	8 608.86	3.74
De 1980-1989	2 158	8 863.60	3.10
De 1990-1999	1 902	10 790.27	4.59
De 2000-2007	1 419	5 563.65	3.67

Fuente: DGPCCA, cálculos propios.

2.3. Emisiones a la Atmósfera

Si bien es cierto que los incendios forestales tienen un papel relevante en la estructura, funcionamiento y dinámica de los ecosistemas terrestres, también contribuyen con la emisión de contaminantes atmosféricos como el monóxido de carbono (CO), partículas suspendidas (PM₁₀ y PM_{2.5}) y gases orgánicos totales (GOT), entre otros, así como con gases de efecto invernadero, entre estos, el metano (CH₄) y el bióxido de carbono (CO₂). Los humos de los incendios afectan la calidad del aire en localidades y ciudades cercanas a las zonas siniestradas y provocan malestares o enfermedades del sistema respiratorio, tanto en la población como en los brigadistas, al igual que los gastos por tratamiento médico (Contreras, *et al.* 2003). De aquí la importancia de considerar a los incendios forestales dentro de la evaluación y gestión de la calidad del aire (EPA, 1996; Bravo, *et al.* 2004).

Desde la década de los setenta, los estudios sobre los incendios forestales en México contemplan básicamente tres enfoques: los efectos del fuego en los ecosistemas forestales; las actividades de prevención y combate; y el uso del fuego como herramienta en actividades agrícolas y forestales (Villers, 2006). Sin número de trabajos destacan la cantidad de incendios y área afectada sin referirse a las emisiones contaminantes, véanse como muestra: los Anuarios Estadísticos del INEGI, las Estadísticas del Medio Ambiente de la SEMARNAT y los estudios de Rivas, Fragoso, García, *et al.* (1999) y Villers y Hernández (2007). Se observa que el año de 1998 se ha tomado como base para conocer el impacto en la calidad del aire mediante la evaluación de las emisiones contaminantes a diferentes escalas: nacional, estatal y regional.

En lo concerniente al Estado de México, Bravo, *et al.* (2004) calcularon las emisiones de incendios para la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) durante 1998. Obtuvieron una emisión de 51 611 toneladas (t) de contaminantes (sumando partículas suspendidas totales o PST, CO, HC y NO_x). Esta carga contaminante representó 82.7 % del total de dicha zona.

Los Inventarios de Emisiones a la Atmósfera de la ZMVM (GDF, s/a) presentan los siguientes resultados para 18 municipios conurbados del Estado de México: en el 2000 se emitieron 213 t (sumando PM₁₀, CO, NO_x y HC), representando 26.6 %; en el 2002, fueron 99 t (23.6 %); y en el 2004, 102 t (16.1 %). En cambio, en el Inventario 2006 se consideraron 59 municipios, lo que arrojó una emisión de 1 163 t (69.9 %).

Por su parte, el Inventario de Emisiones para la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (SEGEM, 2005) determinó una emisión de 89 t (sumado PM₁₀, CO y HC) para siete municipios durante el 2000. En el año 2004, el resultado para 22 municipios fue de 210 t (DGPCCA, 2007a). Por su parte, el Inventario de Emisiones para la Zona Metropolitana del Valle Cuautitlán-Texcoco consideró una emisión de 522.5 t a partir de 59 municipios (DGPCCA, 2007b).



Rodríguez, Tchikoué y Santillán (2007) calcularon las emisiones para cada una de las 32 entidades federativas de la República Mexicana durante la temporada 2003. Al considerar únicamente las emisiones de NO_x , CO, HC y PST, el aporte del Estado de México fue de 4 933 t, lo que representa una contribución de 1.6 % respecto al total nacional.

Metodología para el cálculo de emisiones.

Para la estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos generados por los incendios forestales se utilizó la siguiente ecuación general (Radian Internacional, 1997):

$$E_i = FE_i \cdot L \cdot C \cdot A$$

Donde:

E_i = Emisión total del contaminante «i» en toneladas por año

FE_i = Factor de emisión para el contaminante «i» expresado en g/kg

L = carga de combustible (kilogramos/hectárea)

C = Eficiencia de combustión (porcentaje)

A = Superficie quemada (hectáreas)

Debido a que la estadística disponible para el Estado de México consiste en superficie afectada por estrato vegetal y no por tipo de vegetación, a cada estrato se le asignó una carga de combustible y una eficiencia de combustión particulares (cuadro 2.3).

Valores asignados de carga de combustible (L) y eficiencia de combustión (C) para cada tipo de estrato vegetal				Cuadro 2.3
Variable	Pastizal	Matorral	Renuevo	Arbolado
Carga de combustible (L) en kg/ha	5 951	7 649	3 415	2 317
Eficiencia de combustión (C) en %	0.87	0.89	0.89	0.90

Se aplicaron los siguientes algoritmos para determinar los factores de emisión por tipo de contaminante (cuadro 2.4)

Algoritmos y factores de emisión (FE) para cada tipo de contaminante (g/kg)					Cuadro 2.4
Contaminante	Algoritmo	Pastizal	Matorral	Renuevo	Arbolado
Bióxido de carbono (CO ₂)	1 883 · C	1594.710	1631.370	1631.370	1649.700
Monóxido de carbono (CO)	961 - (C · 984)	104.920	85.240	85.240	75.400
Partículas PM _{2,5}	No aplica	9.450	8.260	8.140	6.950
Partículas PM ₁₀	1.18 · FE _{PM2,5}	11.151	9.747	9.605	8.201
Metano (CH ₄)	42.7 - (C · 43.2)	5.116	4.252	4.252	3.820
Hidrocarburos no metano (NMHC)	0.76 + (FE _{CH4} · 0.616)	3.911	3.379	3.379	3.113
Gases orgánicos totales (GOT)	FE _{CH4} + FE _{NMHC}	9.027	7.631	7.631	6.933

Fuente: Battye, W. y Battye, R. (2002), GDF (s/a), Radian Internacional (1997)

Mediante la ecuación general, se calcularon las cantidades de CO_2 , CO, partículas $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10} , CH_4 y GOT emitida durante los años 1993, 1995, 1998, 1999, 2001-2007 a escala estatal. Al no contar con la superficie desagregada por tipo de estrato vegetal para los años 1980 a 1997, se recurrió a ecuaciones de



regresión lineal para obtener sus emisiones. Para la obtención de la carga contaminante según región hidrográfica, se tomó en cuenta el periodo 1998-2006, pues sólo para esos años se tiene información desagregada de la superficie quemada por municipio, factor necesario para el análisis regional. Los resultados se muestran en los siguientes apartados.

2.3.1. Emisiones a Escala Estatal

El principal contaminante emitido por los incendios forestales corresponde al bióxido de carbono (CO_2), el cual contribuye con 93.6 % del total, le sigue en importancia el monóxido de carbono (CO) el cual aporta 5.3 %, el 1 % restante lo aportan las partículas PM_{10} y los gases orgánicos totales (GOT).

Los 51 957 incendios forestales ocurridos en el Estado de México de 1980 al 2007, han producido 2 millones 279 mil 674 toneladas de contaminantes. Destaca 1998, año con la mayor superficie quemada, en el cual se emitieron 250 792 t, lo que representa 11 % del total acumulado. El promedio anual de emisiones totales es igual a 81 416.93 toneladas por año (véase cuadro 2.5).

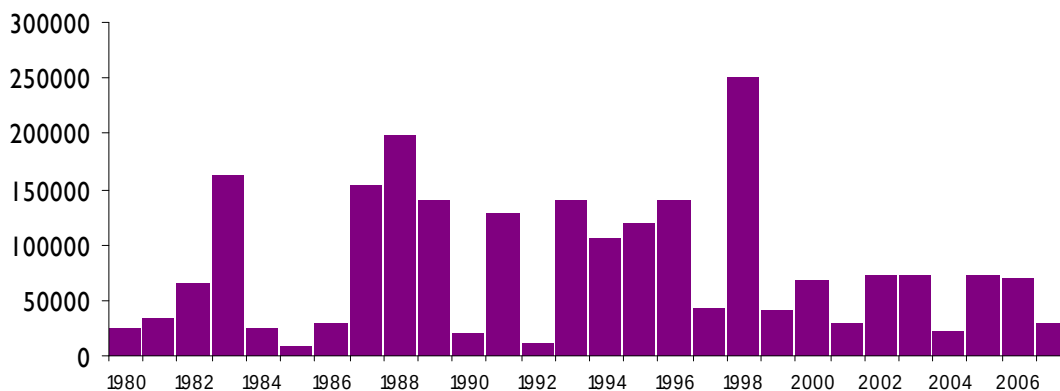
Toneladas por año							
Año	CO	$\text{PM}_{2.5}$	PM_{10}	GOT	CH_4	CO_2	Total ^{a/}
1980	1 326.53	125.18	147.74	117.10	65.63	23 508.86	25 100.22
1981	1 835.26	172.78	203.92	161.83	90.75	32 329.93	34 530.94
1982	3 500.89	328.62	387.84	308.30	172.99	61 210.71	65 407.74
1983	8 732.14	818.08	965.48	768.33	431.29	151 916.97	162 382.93
1984	1 252.07	118.21	139.52	110.55	61.96	22 217.76	23 719.89
1985	423.00	40.64	47.97	37.64	21.02	7 842.36	8 350.98
1986	1 501.44	141.55	167.06	132.48	74.27	26 541.64	28 342.61
1987	8 188.93	767.25	905.50	720.56	404.47	142 498.01	152 313.00
1988	10 651.14	997.63	1 177.38	937.08	526.04	185 190.95	197 956.55
1989	7 515.28	704.22	831.12	661.32	371.21	130 817.45	139 825.17
1990	1 054.17	99.70	117.67	93.15	52.19	18 786.38	20 051.36
1991	6 966.07	652.84	770.47	613.03	344.09	121 294.51	129 644.07
1992	634.39	60.42	71.32	56.23	31.46	11 507.70	12 269.63
1993	7 788.19	720.80	850.63	681.31	383.45	130 965.97	140 286.10
1994	5 680.24	532.53	628.49	499.95	280.60	98 999.21	105 807.89
1995	6 639.81	616.95	728.09	581.78	327.19	112 717.35	120 667.02
1996	7 563.26	708.71	836.41	665.54	373.58	131 649.30	140 714.51
1997	2 320.51	218.18	257.50	204.50	114.71	40 743.74	43 526.25
1998	13 329.05	1 254.32	1 480.36	1 175.36	659.12	234 807.30	250 792.07
1999	2 182.76	205.11	242.07	192.27	107.87	38 222.16	40 839.26
2000	3 628.73	340.17	401.47	319.18	179.19	63 009.13	67 358.52
2001	1 516.01	142.24	167.87	133.40	74.88	26 383.76	28 201.05
2002	3 850.78	363.28	428.76	340.03	190.56	68 373.38	72 992.95
2003	3 863.89	364.49	430.19	341.18	191.21	68 593.13	73 228.39
2004	1 257.92	118.26	139.57	110.84	62.18	22 060.48	23 568.81
2005	3 804.50	359.27	424.02	336.10	188.32	67 732.71	72 297.34
2006	3 722.11	352.08	415.55	329.05	184.31	66 521.67	70 988.38
2007	1 476.72	140.34	165.64	130.85	73.22	26 737.15	28 510.35

Nota: ^{a/} El total corresponde a la suma de CO, PM_{10} , GOT y CO_2 .

Fuente: DGPCCA, cálculos propios.

La gráfica 2.5 brinda una idea del total de las emisiones contaminantes desde 1980 hasta 2007. En ésta destacan tres picos de emisión durante los años 1983, 1988 y 1998; también se aprecia que a partir del año 2000 hay cierto grado de estabilidad, así como un patrón de altibajos.

Gráfica 2.5. Emisión total por incendios forestales en el Estado de México 1980-2007 (toneladas/año)



Fuente: Cuadro 2.5.

Al obtener el promedio de las emisiones por periodo, se tienen que en el 80-89 se emitieron cerca de ochenta y cuatro mil toneladas de contaminantes, para el siguiente periodo, 90-99, hubo un incremento de 19.9 %, el cual presentó, además, la contribución de carga contaminante más alta, por arriba de cien mil toneladas. En el siguiente periodo, 00-07, se produjeron casi cincuenta y cinco mil toneladas, lo que significó una disminución de 45.6 % (cuadro 2.6).

Emisiones a la atmósfera según contaminante y periodo determinado							Cuadro 2.6
Toneladas por año							
Periodo	CO	PM _{2.5}	PM ₁₀	GOT	CH ₄	CO ₂	Total ^{a/}
1980 a 2007	4 364.49	409.42	483.20	384.25	215.64	76 184.99	81 416.93
1980 a 1989	4 492.67	421.42	497.35	395.52	221.96	78 407.46	83 793.00
1990 a 1999	5 415.84	506.96	598.30	476.31	267.43	93 969.36	100 459.82
2000 a 2007	2 890.08	272.52	321.63	255.08	142.98	51 176.43	54 643.22

Nota: ^{a/} El total corresponde a la suma de CO, PM₁₀, GOT y CO₂.

Fuente: DGPCCA, cálculos propios.

2.3.2. Emisiones por Región Hidrográfica

Con la finalidad de conocer el comportamiento de las emisiones provenientes de los incendios forestales en distintas zonas del Estado de México, se seleccionó la regionalización por cuencas hidrográficas, ya que ésta enmarca tanto la influencia de las dos zonas metropolitanas, como las características y tipo de la vegetación presente en ellas. Las tres regiones que conforman al Estado de México son Pánuco, Lerma y Balsas.



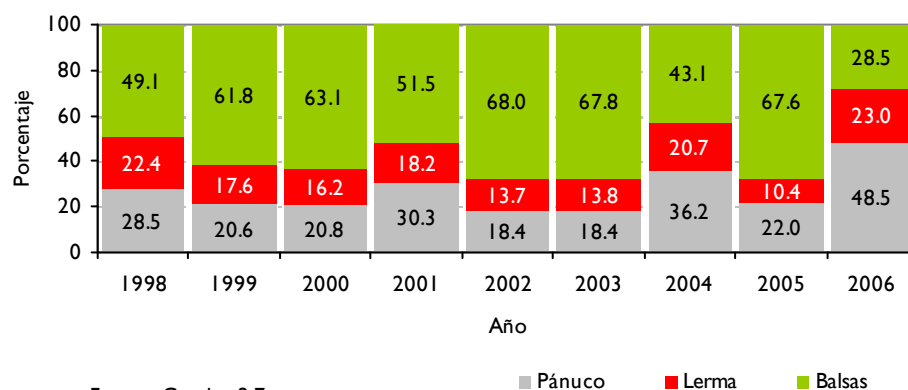
En el cuadro 2.7 se indican las toneladas de contaminantes por año provenientes de los incendios forestales según región hidrográfica para el periodo 1998-2006, en tanto que en la gráfica 2.6 se indica su contribución porcentual. Por una parte, la región Balsas aporta la mayor carga contaminante a la atmósfera, con valores comprendidos entre 43.1 % y 68 %, con excepción del 2006, la cual sólo aportó 28.5 %; en segundo lugar está la región Pánuco, con una contribución de 18.4 % a 36.2 %, salvo en el 2006, la cual fue 48.5%; y en tercer lugar está la región Lerma con una participación de 10.4 % a 23%.

Emisión total de contaminantes según región hidrográfica, 1998-2006				Cuadro 2.7
Toneladas por año				
Año	Región			Total estatal ^{a/}
	Pánuco	Lerma	Balsas	
1998	71 410.57	56 144.95	123 236.55	250 792.07
1999	8 420.66	7 198.12	25 220.48	40 839.26
2000	13 977.51	10 878.32	42 502.69	67 358.52
2001	8 542.52	5 134.09	14 524.44	28 201.05
2002	13 394.31	9 994.51	49 604.12	72 992.95
2003	13 502.59	10 104.06	49 621.74	73 228.39
2004	8 528.62	4 882.34	10 157.85	23 568.81
2005	15 921.24	7 506.25	48 869.85	72 297.34
2006	34 454.58	16 320.20	20 213.60	70 988.38

Nota: ^{a/} El total estatal no coincide con la suma de las regiones debido al redondeo las cifras significativas.

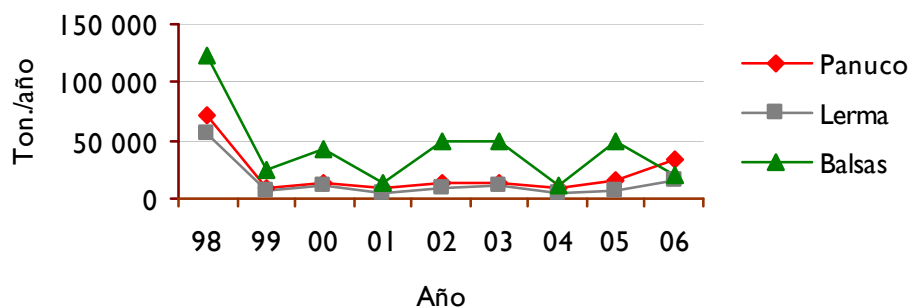
Fuente: DGPCCA, cálculos propios.

Gráfica 2.6. Contribución porcentual de la emisión de contaminantes según región hidrográfica, 1998-2006



Por otra parte, en este mismo periodo, las emisiones en la región Balsas muestran un comportamiento variable, incluso, cíclico, en tanto que en las regiones Pánuco y Lerma éste es más estable (gráfica 2.7).

Gráfica 2.7. Emisión total según región hidrográfica (1998-2006)



Fuente: Cuadro 2.7

En los siguientes cuadros se presenta el desglose de las emisiones totales por contaminante.

Emisión de monóxido de carbono (CO).

Emisiones de CO por año según región hidrográfica, 1998-2006				Cuadro 2.8
Toneladas por año				
Año	Región			Total estatal ^{a/}
	Pánuco	Lerma	Balsas	
1998	3 900.25	3 018.94	6 409.86	13 328.74
1999	465.52	397.33	1 319.91	2 182.76
2000	790.82	611.59	2 226.33	3 628.73
2001	466.36	275.49	774.17	1 516.01
2002	726.25	540.59	2 583.93	3 850.78
2003	732.25	546.72	2 584.93	3 863.89
2004	466.65	259.64	531.63	1 257.92
2005	855.66	400.02	2 548.81	3 804.50
2006	1 814.12	859.09	1 048.90	3 722.11

Nota: El total estatal no coincide con la suma de las regiones debido al redondeo de las cifras decimales.

Fuente: DGPCCA, cálculos propios.

Emisión de partículas PM_{2.5}.

Emisiones de partículas PM _{2.5} por año según región hidrográfica, 1998-2006				Cuadro 2.9
Toneladas por año				
Año	Región			Total estatal ^{a/}
	Pánuco	Lerma	Balsas	
1998	363.45	282.90	607.97	1 254.29
1999	43.23	36.96	124.93	205.11
2000	72.93	56.53	210.71	340.17
2001	43.53	25.87	72.84	142.24
2002	67.94	50.61	244.73	363.28
2003	68.50	51.18	244.82	364.49
2004	43.52	24.44	50.30	118.26
2005	80.25	37.65	241.37	359.27
2006	171.38	81.11	99.59	352.08

Nota: El total estatal no coincide con la suma de las regiones debido al redondeo de las cifras decimales.

Fuente: DGPCCA, cálculos propios.

Emisión de partículas PM_{10} .

Emisiones de partículas PM_{10} por año según región hidrográfica, 1998-2006				Cuadro 2.10
Toneladas por año				
Año	Región			Total estatal ^{a/}
	Pánuco	Lerma	Balsas	
1998	428.93	333.87	717.57	1 480.33
1999	51.01	43.61	147.45	242.07
2000	86.06	66.72	248.69	401.47
2001	51.37	30.53	85.97	167.87
2002	80.18	59.73	288.85	428.76
2003	80.84	60.40	288.95	430.19
2004	51.35	28.85	59.37	139.57
2005	94.71	44.43	284.88	424.02
2006	202.27	95.73	117.55	415.55

Nota: El total estatal no coincide con la suma de las regiones debido al redondeo de las cifras decimales.

Fuente: DGPCCA, cálculos propios.

Emisión de metano (CH_4).

Emisiones de CH_4 por año según región hidrográfica, 1998-2006				Cuadro 2.11
Toneladas por año				
Año	Región			Total estatal ^{a/}
	Pánuco	Lerma	Balsas	
1998	192.34	149.11	317.67	659.11
1999	22.93	19.57	65.37	107.87
2000	38.86	30.07	110.26	179.19
2001	23.00	13.61	38.27	74.88
2002	35.84	26.68	128.04	190.56
2003	36.14	26.99	128.09	191.21
2004	23.01	12.84	26.33	62.18
2005	42.26	19.78	126.28	188.32
2006	89.79	42.52	52.00	184.31

Nota: El total estatal no coincide con la suma de las regiones debido al redondeo de las cifras decimales.

Fuente: DGPCCA, cálculos propios.

Emisión de gases orgánicos totales (GOT).

Emisiones de GOT por año según región hidrográfica, 1998-2006				Cuadro 2.12
Toneladas por año				
Año	Región			Total estatal ^{a/}
	Pánuco	Lerma	Balsas	
1998	342.20	265.64	567.52	1 175.33
1999	40.75	34.79	116.73	192.27
2000	68.95	53.38	196.85	319.18
2001	40.92	24.25	68.23	133.40
2002	63.81	47.52	228.71	340.03
2003	64.33	48.05	228.80	341.18
2004	40.93	22.89	47.01	110.84
2005	75.30	35.26	225.55	336.10
2006	160.25	75.89	92.91	329.05

Nota: El total estatal no coincide con la suma de las regiones debido al redondeo de las cifras decimales.

Fuente: DGPCCA, cálculos propios.

Emisión de bióxido de carbono (CO₂)

Emisiones de CO ₂ por año según región hidrográfica, 1998-2006				Cuadro 2.13
Toneladas por año				
Año	Región			Total estatal ^{a/}
	Pánuco	Lerma	Balsas	
1998	66 739.19	52 526.50	115 541.61	234 802.50
1999	7 863.37	6 722.38	23 636.40	38 222.16
2000	13 031.68	10 146.63	39 830.82	63 009.13
2001	7 983.88	4 803.82	13 596.07	26 383.76
2002	12 524.07	9 346.67	46 502.63	68 373.38
2003	12 625.18	9 448.89	46 519.06	68 593.13
2004	7 969.69	4 570.96	9 519.83	22 060.48
2005	14 895.56	7 026.54	45 810.61	67 732.71
2006	32 277.94	15 289.50	18 954.24	66 521.67

Nota: El total estatal no coincide con la suma de las regiones debido al redondeo de las cifras decimales.

Fuente: DGPCCA, cálculos propios.

A partir de los cuadros anteriores, se observó lo siguiente: de 1998 a 2005, la región Balsas fue la que más contribuyó a la contaminación atmosférica, seguida por la región Pánuco y Lerma. En el 2006 la región Pánuco revirtió esta situación y se posicionó como la primera más contaminante. Esto se puede explicar por la diferencia de la superficie quemada de pastizales y matorrales en ambas regiones respecto a la media anual para el periodo 1998-2005. Por una parte, en la región Pánuco hubo un incremento de 13.7 % en el área quemada de pastizales y de 154.3 % en matorrales, es decir 2.54 veces más. Por otra parte, en la región Balsas se presentó una reducción de 60.1 % (en pastizal) y 52.4 % (en matorral). Cabe recordar que estos dos estratos vegetales son los que tienen los valores más altos en cuanto a carga de combustible, por lo que cualquier variación en el área quemada se refleja notablemente en un aumento o disminución de emisión, según sea el caso.



Conclusiones

El presente informe tuvo como propósito describir sucintamente algunas características de los incendios forestales, su situación en el país y en el Estado de México, así como calcular las emisiones de los contaminantes más representativos generados por esta fuente, tanto a escala estatal como regional.

En el Estado de México, durante el periodo 1980-2007 se emitieron anualmente en promedio 76 185 t de bióxido de carbono, 4 364.5 t de monóxido de carbono, 483.2 t de partículas PM_{10} , 409.4 t de partículas $PM_{2.5}$, 384.2 t de gases orgánicos totales y 215.6 t de metano.

La estimación de las emisiones por región hidrográfica para el periodo 1998-2006 señala que la región Balsas es la que más contribuye con la carga contaminante, hasta con 54.8 %, le sigue en importancia la región Pánuco con 26.9 %, y Lerma con 18.3 %.

Aunque los incendios forestales aportan menos de 1% respecto al resto de las fuentes de emisión (móviles, puntuales y de área), eventos catastróficos como los sucedidos en 1998 pueden incrementar su participación hasta en tres puntos porcentuales.

Con relación al registro histórico estatal, tanto el número de incendios forestales como la superficie afectada queda integrada en una hoja de cálculo en Excel, a partir de la cual se podrá obtener, para los años subsecuentes, el índice de afectación y la superficie quemada respecto al territorio estatal, además de la estadística básica (medidas de tendencia central y de dispersión) y la emisión de CO, $PM_{2.5}$, PM_{10} , GOT, CH_4 y CO_2 .

Hasta el momento, el trabajo realizado enriquece la base de conocimiento del diagnóstico ambiental del Estado de México, proporciona indicadores ambientales respecto a este fenómeno, además de complementar el inventario estatal de emisiones de contaminantes criterio y el de gases efecto invernadero.

Entre los aspectos que podrían mejorar la estimación de las emisiones contaminantes, está el poder contar con información respecto a la superficie quemada por tipo de vegetación, aplicando los factores de emisión correspondientes, en lugar de ajustarlos al estrato vegetal afectado. Aunque existe la información, solo está disponible para un año determinado, por lo que la información carece de continuidad.

Los incendios forestales tienen tanto efectos positivos como negativos, en el ser humano queda saber utilizar el fuego con responsabilidad para potenciar sus beneficios, al mismo tiempo de cuidar los recursos naturales.

Bibliografía

- ♦ Batty, W. and Batty, R. (2002). *Development of emissions inventory methods for wildland fire. Final Report*. Prepared for Environmental Protection Agency by EC/R Incorporated. USA.
- ♦ Bravo, H.; Sosa, R.; Sánchez, P.; Jaimes, M. (2004). *El impacto de los incendios forestales en la calidad del aire*. En: Villers, L. y Blanco J. (Comp.) *Los incendios forestales en México*. Centro de Ciencias de la Atmósfera-UNAM, México. pp. 79-97
- ♦ CONAFOR (2006). *Incendios forestales: guía práctica para comunicadores*. SEMARNAT, México.
- ♦ CONAFOR (2008). *Incendios forestales: guía práctica para comunicadores*. 2.a edición SEMARNAT, México.
- ♦ Contreras, J.; Rodríguez, D. A.; Retama, A.; Sánchez J. J. M. (2003). Gases del humo de incendios en bosques de *Pinus hartwegii*. *Agrociencia*, (37), 309-316
- ♦ DGPCCA (2007a). *Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle Cuautitlán-Texcoco, 2004*. Secretaría del Medio Ambiente del GEM. Informe Técnico. México.
- ♦ DGPCCA (2007b). *Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, 2004*. Secretaría del Medio Ambiente del GEM. Informe Técnico. México.
- ♦ DGPCCA (2008). *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del Estado de México*. Secretaría del Medio Ambiente del GEM. Informe Técnico. México.
- ♦ EPA (1996). *Compilation of air pollutant emission factor (AP-42). 13.1 Miscellaneous Sources – Wildfires and prescribed burning*. Environmental Protection Agency. USA.
- ♦ GDF (s/a). *Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2000*. Secretaría del Medio Ambiente del GDF. México, DF.
- ♦ GDF (s/a). *Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002*. Secretaría del Medio Ambiente del GDF. México, DF.
- ♦ GDF (s/a). *Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2004*. Secretaría del Medio Ambiente del GDF. México, DF.
- ♦ GDF (s/a). *Inventario de emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México 2006*. Secretaría del Medio Ambiente del GDF. México, DF.
- ♦ INE (2006). *Tercera comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas ante el cambio climático*. INE-SEMARNAT, México.
- ♦ Llamas, P. (2008) *Efecto de los incendios forestales en los suelos, la calidad del agua y el hábitat*. Universidad de Guadalajara, Ingeniería en Recursos Naturales y Agropecuarios. Obtenido en: <http://ssl.webkreator.com.mx/4_2/000/000/00b/202/Efecto%20de%20los%20Incendios%20Forestales.pdf> (25 de noviembre de 2008)
- ♦ Ortiz, M. I.; Vidal, R.; Gómez, G.; Álvarez, R. (2003) Evaluación de las plumas de humo de los incendios forestales de 1998 en México y la utilidad de las imágenes NOAA-AVHRR. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, (23), 103-114



- ♦ PROBOSQUE (2006) *Programa de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de México 2005-2025*. Secretaría de Desarrollo Agropecuario. México.
- ♦ PROBOQUE (2008) *Programa de Prevención y Combate de Incendios Forestales*. Probosque <<http://www.edomex.gob.mx/portal/page/portal/probosque/proteccion/incendios>> (2 de diciembre de 2008)
- ♦ Radian International (1997). *Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final*. Preparado por Radian Internacional LLC para la Asociación de Gobernadores del Oeste y el Comité Asesor Binacional. Sacramento, California, EUA.
- ♦ Rivas, I.; Fragoso, N.; García, J.; Rivas E.; Díaz, E.; Sánchez, J. (1999). Incendios forestales en el Estado de México en el periodo de diciembre de 1997 a junio de 1998 [Versión electrónica] *Ciencia Ergo Sum*, 6(3), <<http://ergosum.uaemex.mx/noviembre99/ppnov99.html>>
- ♦ Rickard, J.; Piguérón, C. (2003) *Financiamiento de programas para conservación de ecosistemas templados de montaña*. En: Sánchez, O.; Vega, E.; Peters, E. (Eds.) *Ecosistemas templados de montaña*. INE-Semarnat, México, D. F. pp. 301-215
- ♦ Rodríguez, D. A.; Santillán, J.; Tchikoué, H. (2006). El perfil actual del combatiente oficial de incendios forestales en México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 12(1), 79-86
- ♦ Rodríguez, D. A.; Tchikoué, H.; Santillán, J. (2007). Emisiones contaminantes durante la temporada 2003 de incendios en México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 13(1), 33-39
- ♦ SEGEM (2005). *Inventario de emisiones a la atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, 2000*. Autor. México.
- ♦ SEMARNAP, SAGAR (1999, 2 de marzo). Norma Oficial Mexicana NOM-015-SEMARNAP/SAGR-1997, que regula el uso del fuego en terrenos forestales y agropecuarios, y que establece las especificaciones, criterios y procedimientos para ordenar la participación social y de gobierno en la detección y el combate de los incendios forestales. *Diario Oficial de la Federación*.
- ♦ SEMARNAT (2000). *Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental- Reporte 2000*. Autor. México DF.
- ♦ Tchikoué, H. (2003). *Evaluación del Programa Nacional de Prevención y Combate de Incendios Forestales, ejercicio fiscal 2003, informe final*. Universidad Autónoma de Chapingo, SEMANT-CONAFOR. México.
- ♦ Villers, M. L. (2006). Incendios forestales. *Ciencias*, (81), 61-66. UNAM.
- ♦ Villers, M. L.; Hernández, J. (2007). Incendios forestales y el fenómeno de El Niño en México. *Wilfire*, Sevilla-España.
- ♦ Wong, J. C. y Villers, M. L. (2007). Evaluación de combustibles y su disponibilidad en incendios forestales: un estudio en el Parque Nacional La Malinche. *Investigaciones Geográficas*, (62), pp. 87-103



Siglas, acrónimos y símbolos

CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
DGPCCA	Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica
EPA	Environmental Protection Agency
GEM	Gobierno del Estado de México
GDF	Gobierno del Distrito Federal
INE	Instituto Nacional de Ecología
PROBOSQUE	Protección de Bosques
SAGAR	Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural
SEGEM	ex Secretaría de Ecología del Estado de México
SEMARNAP	ex Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SMAGDF	Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal
SMAGEM	Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México

Símbolos, unidades y otros

CO	monóxido de carbono
CO ₂	dióxido de carbono
CH ₄	metano
HCNM	hidrocarburos no metano
GOT	gases orgánicos totales
PST	partículas suspendidas totales
PM ₁₀	partículas menores de 10 micras
PM _{2.5}	partículas menores de 2.5 micras
ha	hectárea
t	tonelada métrica
°C	grado centígrado
s/a	sin año de publicación

Créditos técnicos

Lic. Francisco Pablo Escamilla Báez
Encargado del Departamento de Diagnóstico

Elaboración e integración:

Lic. Gabriel Zavaleta Mondragón
Diagnóstico Ambiental

Para más información acudir a:

Secretaría del Medio Ambiente
Dirección General de Prevención y
Control de la Contaminación Atmosférica
Departamento de Diagnóstico
Vía Gustavo Baz Prada 2160, 2do. piso
Viveros del Río, Tlalnepantla de Baz
Estado de México. C. P. 54060
Tels. (55) 53 66 82 70 y (55) 53 66 82 64

Visita nuestra página en:

<http://www.edomex.gob.mx/portal/page/portal/medioambiente>



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO