

## **Incendios forestales y degradación de los ecosistemas terrestres: Impactos locales y emisiones globales. Exploración de la situación en el Estado de México**

María Estela Orozco Hernández<sup>1</sup>, Patricia Mireles Lezama<sup>1</sup>, María Eugenia Valdez Pérez<sup>2</sup>,  
Vicente Peña Manjarrez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Planeación Urbana y Regional, <sup>2</sup>Facultad de Ciencias, <sup>3</sup>Facultad de Geografía,  
Universidad Autónoma del Estado de México

e-mail : [eorozcoh61@hotmail.com](mailto:eorozcoh61@hotmail.com), [mireleslezamap@gmail.com](mailto:mireleslezamap@gmail.com), [mevaldezp@uaemex.mx](mailto:mevaldezp@uaemex.mx),  
[vpenam62@hotmail.com](mailto:vpenam62@hotmail.com)

### **Resumen**

En el Estado de México la degradación de los ecosistemas terrestres, tiene profundas raíces históricas y sociales. La agrarización de las tierras forestales, las políticas de fomento a las actividades agropecuarias, la marginación social y la pobreza de la mayor parte de los poseedores del bosque, el agua y la tierra, cuyas prácticas de aprovechamiento perpetúan el deterioro de los recursos naturales y de sus condiciones de vida. Entre las prácticas agrarias ancestrales que desencadenan la degradación de los ecosistemas terrestres destaca la quema de la vegetación natural para incrementar la superficie de cultivo y ganadera. A partir de 1998 se hizo más estricto el calendario de quemas controladas y ha tenido mayor difusión el uso de prácticas seguras para realizar quemas, sin embargo, todavía el causal de incendio más importante sigue siendo el escape y falta de control de incendios agropecuarios. La superficie afectada por los incendios incluye la superficie quemada y aquella que ha sufrido alguna alteración, el daño reduce rápidamente la superficie de vegetación natural, acelera la degradación de los suelos y atenta contra los bienes y servicios ecológicos que proveen, también ocasiona la eliminación de sumideros de carbono atmosférico fundamentales para regular los cambios de clima y contribuye de manera directa en el incremento de la emisión de gases de efecto invernadero por la combustión de la biomasa asociada.

### **Objetivo**

Identificar los efectos que los incendios forestales ocasionan en los ecosistemas terrestres de la zona en estudio y su contribución al cambio climático.

## Metodología

Se utilizará un procedimiento de primer orden para procesar datos de actividad a escala espacial gruesa, estimaciones de tasas de deforestación, estadísticas de producción agrícola, mapas de la cubierta terrestre, número de incendios y superficie total afectada por municipio, número de incendios y superficie afectada por tipo de vegetación, unidades de producción rural y uso del suelo, y el análisis de estudios disponibles.

Palabras clave: Incendios forestales, ecosistemas terrestres y gases de efecto invernadero.

## Contribución

Distribución regional de la degradación de los ecosistemas terrestres causada por los incendios forestales y contribución en la emisión de gases de efecto invernadero.

Agradecimientos: Proyecto CONACYT-SEMARNAT.107956.

Eje temático: GEOGRAFÍA FÍSICA, RIESGOS SOCIOAMBIENTALES Y CAMBIO CLIMÁTICO.

## **Introducción**

La degradación de los ecosistemas terrestres es un proceso multifactorial cuyas causas -*Actividades agropecuarias, tala ilegal, quemas periódicas e incendios forestales* - generan transformaciones persistentes de largo plazo, los impactos regionales se expresan en la deforestación, la perturbación, la fragmentación de las cubiertas del suelo, los cambios de uso del suelo y en la pérdida de reservorios de carbono fundamentales para regular las condiciones del clima. Los efectos locales y micro-locales exhiben la alteración del hábitat, la pérdida de biodiversidad, la erosión y cambios en los regímenes de humedad de la vegetación y el suelo. En este contexto se ubica el interés por explorar los incendios forestales como causa de la degradación de los ecosistemas terrestres del Estado de México, sus impactos locales e importancia en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), este es un punto de partida para abordar un tema poco trabajado, la emisión de GEI producida por la combustión de biomasa aérea y superficial, aspectos que adquieren relevancia ante la carencia de mediciones directas y frente al compromiso de reducir las emisiones de gases de traza,

y el diseño de estrategias de adaptación ante el cambio climático. En virtud de que se trata de una investigación exploratoria, analizamos la información oficial disponible en escala espacial gruesa -número de incendios, superficie afectada total y por tipo de vegetación- cartografía de la cubierta terrestre 1976 y 2000, trabajos específicos y lineamientos que regulan el uso del fuego.

### **Antecedentes**

El compromiso adquirido por México en el Protocolo de Kyoto para mitigar 51 Mt CO<sub>2</sub> en el año 2012<sup>1</sup>, la prioridad de frenar la deforestación, la degradación y controlar la tala ilegal de los bosques, ha llevado a la aplicación de medidas ambientales que refuerzan la regulación, la restricción, la prohibición y las sanciones, en otro sentido se promueven estrategias técnicas e incentivos económicos para conservar y preservar las cubiertas del suelo- Planeación, ordenamiento ecológico, beneficios fiscales, subvenciones, pago por servicios ambientales y prácticas de conservación- (DOF, 1988), sin embargo las acciones avanzan lento y en contrasentido de la política agrícola que fomenta actividades agropecuarias en áreas de vocación forestal (CONAFOR, 2003).

Los impactos acumulados, las inercias socioculturales y el contexto sociopolítico, indican que el deterioro de los ecosistemas terrestres está en su punto más álgido. La tasa de deforestación establece un escenario crítico en un rango que fluctúa en 350 mil y 960 mil hectáreas por año, su agravamiento en las selvas y el incremento de la degradación de los bosques en zonas de montaña y en las regiones áridas y semiáridas (INE, 2000). La problemática ha guiado los estudios que tienen por objetivo estimar las tasas de cambio, cuantificar los intercambios y las pérdidas y ganancias de las distintas categorías de ocupación del suelo asociadas a la deforestación y a los procesos de degradación-recuperación de las coberturas vegetales (Bocco *et al*, 2001, Mendoza *et al.*, 2002, Alonso *et al*, 2003, Ramírez y Zubieta, 2005, Velásquez, Mas y Palacio, 2002 y Pineda, 2009), y aquellos estudios que buscan potenciar la capacidad de almacenamiento de carbono en los bosques naturales y en los bosques manejados (Franco *et al.*, 2006, Rodríguez *et al*, 2009, Acosta *et al*, 2002, Aguirre-Salado *et al*, 2009, Escandon *et al*, 1999). Una tercera vía en ciernes, está abocada a dilucidar la

---

<sup>1</sup>México contribuye con el 1.6% de las emisiones de gases de efecto invernadero, ocupa la posición décimo tercera de los países emisores y las emisiones per cápita fueron de 6.2 t CO<sub>2</sub> en el año 2006 (SEMARNAT-INE 2009).

contribución de las fuentes de área (combustión de biomasa aérea<sup>2</sup>, tierras deforestadas y degradadas) en la emisión de gases de efecto invernadero (Estrada et al, 2009, Peter G.H. Frost, 1998).

### **Degradación de los ecosistemas terrestres en el Estado de México**

El Estado de México tiene una superficie de 2,235, 680 hectáreas, los ecosistemas principales son los bosques que se desarrollan en el ambiente templado-frío de las tierras altas de origen volcánico de la porción norte, la selva baja caducifolia distribuida en las tierras bajas de composición calcárea de la porción sur y ambientes semicálido y cálido subhúmedo, y el matorral xerófito de ambiente semi seco en la frontera con la cuenca de México (Tabla 1).

Tabla 1. Participación de las cubiertas vegetales, Estado de México

Superficie Cobertura suelo Has.	Total del	Bosque templado	Selva baja caducifolia	Matorral desértico	Vegetación hidrófila y halófila	Áreas perturbadas
894613		558,069	87789	16747	6034	225974
% Porcentaje		62.4	9.8	1.9	0.7	25.3

Fuente: Ceballos *et al*, 2008

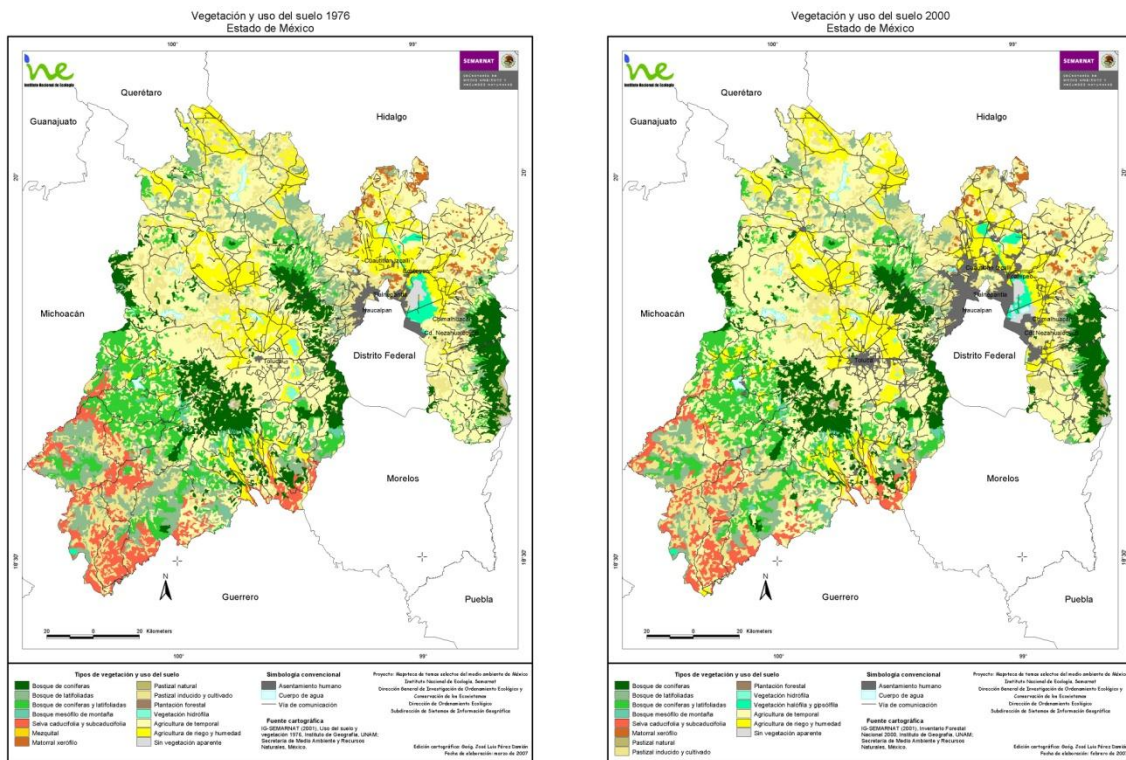
Las presiones humanas resaltan la superficie agropecuaria (46%) y la superficie de pastizal inducido (15%) (INEGI, 2005) a tal punto que, el 25% de la superficie originalmente cubierta por vegetación natural está deforestada, el 7% de la superficie de bosque se encuentra fragmentada, los árboles tienen una distribución irregular y están combinado con cultivos agrícolas o pastizales, el 5% de la superficie ocupada por la selva baja caducifolia está en las mismas condiciones y el 0.5% tiene erosión severa (GEM, 2006). Los cambios en los patrones de ocupación del bosque en el período 1993-2000, evidencian la conversión de bosque primario a bosque secundario, bosque primario a pastizal y menos de bosque primario a cultivos (Pineda, 2009), la dirección

<sup>2</sup>Estimaciones recientes señalan que la combustión de biomasa, ingresa a la atmósfera una cantidad equiparable a la mitad del CO<sub>2</sub> generado por el uso de combustibles fósiles. En los incendios sin llama (de combustión incompleta) que se producen principalmente en las zonas pantanosas o en los bosques de coníferas, además se desprenden cantidades importantes de monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>) y otros hidrocarburos, junto con hidrógeno y ácidos orgánicos (Ute Hänsler, 2010:2)

del cambio destaca la degradación del bosque templado, el incremento de la vegetación secundaria y la expansión de la superficie de uso pecuario en la selva baja caducifolia y matorrales. El estado de salud de los ecosistemas tiene una relación intrínseca con factores históricos, políticos y socio culturales. Al inicio del siglo XX el Estado de México disponía de 1, 180,000 hectáreas de bosque templado, en 2001 decrece a 558, 000 hectáreas (Ceballos et al, 2008), la pérdida de más del 50% de la superficie forestal se atribuye al desmonte de tierras que fueron repartidas a los núcleos ejidales al inicio y mediados del siglo XX, al aprovechamiento de los bosques maderables y la conversión de tierras de vocación forestal a tierras de uso agrícola de bajo potencial productivo, y en general al cambio de uso del suelo (Figura 1).

La pérdida de la superficie forestal motivo en la segunda mitad del siglo XX, la implementación de medidas de control a través de dos vedas sucesivas (1947-1970 y 1990-1995), aprovechamientos regulados y la instauración de áreas naturales protegidas nacionales y estatales. Los factores socioculturales conjugan la propiedad de la tierra, las necesidades e intereses de variados actores sociales – *El 72% de la superficie forestal y el 50% de la superficie agropecuaria están bajo el régimen de propiedad social*—.

Figura 1. Cubiertas del suelo en el Estado de México, 1976-2000



Estos factores definen las características de los sistemas y las prácticas de uso de la tierra: Quemas periódicas, agricultura de subsistencia, pastoreo extensivo y aprovechamientos legales e ilegales del bosque maderable, lo que determina una compleja problemática que induce la degradación de los ecosistemas, la alteración de los ciclos de renovación natural y la pérdida del patrimonio ambiental de múltiples comunidades rurales marginadas.

### Impactos locales

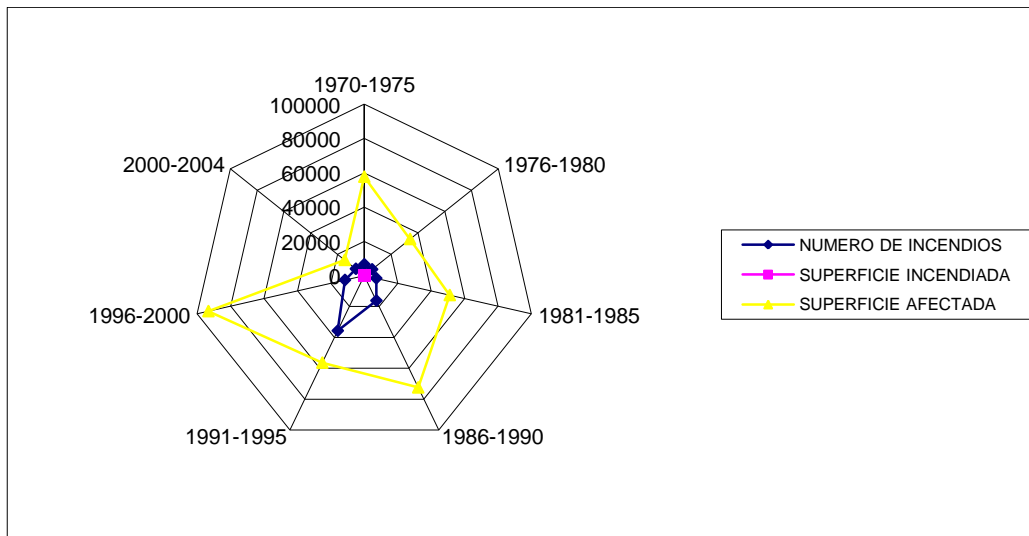
En el Estado de México las quemas se realizan en los meses de abril y mayo, principalmente<sup>3</sup>. Su práctica favorece el rebrote de pasto tierno para alimentar el ganado y la germinación de las semillas de algunas especies de árboles, los actores agrarios con frecuencia adolecen de la conciencia sobre los efectos de las quemas y la previsión del riesgo. Los siniestros tienen su origen en las prácticas tradicionales de uso inadecuado del fuego para la agricultura, quemas intencionales en zonas forestales y

<sup>3</sup>Las causas frecuentes de los incendios forestales son las actividades agropecuarias (48%); los incendios provocados (17%), las fogatas (16%), los fumadores (8%), la actividad silvícola (3%), los derechos de vía (1%), otras actividades productivas (1%) y otras causas (6%) (SEMARNAP, 2000).

problemas de litigio por la tenencia de la tierra, entre otras (CONAFOR, 2003), aunado a la negligencia y el descuido al hacer uso del fuego.

El perfil estatal de los incendios forestales muestra que al finalizar las vedas (1947-1970 y 1990-1995) el índice promedio de las tierras afectadas – Superficie quemada y aquella ha sufrido alguna alteración- aumentó 8 y más hectáreas, y en el lapso intersticial entre una veda y otra se produjo el 39.9% de los incendios y un índice de afectación de seis hectáreas (Figura 2). En la segunda veda se registro igual número de incendios (39.9%) y un índice promedio de afectación de 1.6 hectáreas, el índice de más alto fue de ocho hectáreas en el quinquenio 1996-2000.

Figura 2. Incendios forestales, superficie incendiada y afectada, 1970-2004



Fuente: CONAFOR. Coordinación General de Conservación y Restauración Forestal. Gerencia Nacional de Incendios Forestales. Estadístico Anual de Incendios Forestales 1970-2003

El comportamiento de las variables de los incendios en el período 1998-2001 (Tabla 2) indica que los arbustos y matorrales (47.0%), los pastos naturales (39.0%) ha sido los más afectados y menos el arbolado (14.0%).

Tabla 2. Comportamiento de las variables de los incendios forestales por tipo de vegetación, 1998-2001

	Incendios	Sup afectada	Pastos naturales	Arbustos y matorrales	Arbolado	ISA
1998	3649	25847	9616	12350	3881	7.1
1999	1512	4190	1666	1952	572	2.8
2000	2152	6835	3016	3125	694	3.2
2001	986	2845	1338	1229	278	2.9
Total	8299	39717	15636	18656	5425	4.8

Fuente: CONAFOR. Coordinación General de Conservación y Restauración Forestal. Gerencia Nacional de Incendios Forestales. Estadístico Anual de Incendios Forestales 1970-2001

El los años sucesivos el Estado de México ha ocupado el primer lugar nacional por la incidencia de los siniestros, presentando una tendencia inversamente proporcional a la superficie afectada (Tabla 3). En 2008 y 2009 el índice de afectación promedio se redujo del 3.4 a 3.3 hectáreas, el 54% y 62% de la superficie afectada correspondió a vegetación arbustiva, el 32% y 23% al pastizal, el 13% y 15% al renuevo de pino, 0.06% y 0.2% al arbolado adulto, respectivamente (GEM, 2011).

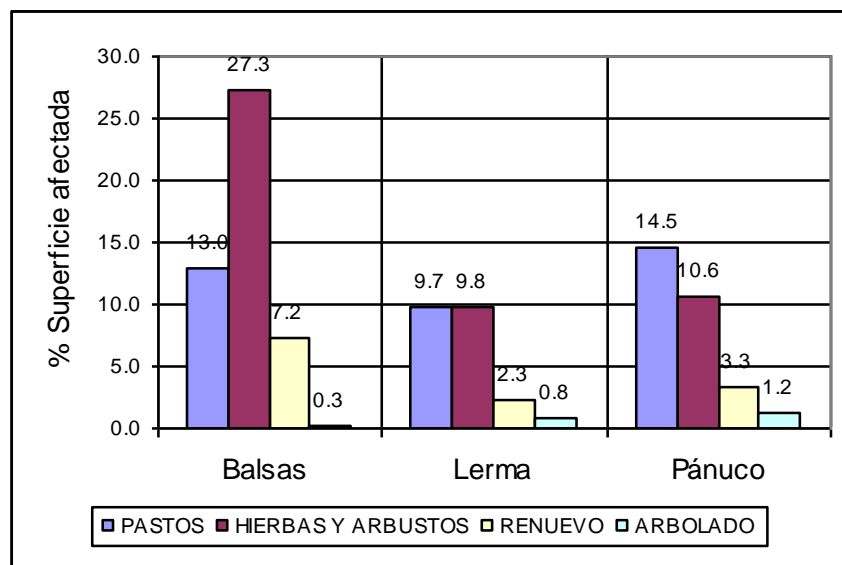
Tabla 3. Número de incendios, superficie afectada e Índice de superficie afectada (ISA) 2002-2009

Año	No. de Incendios	Superficie afectada has.	ISA
2002	1023	1812	1.8
2003	1495	7608	5.1
2004	995	7334	7.4
2005	1809	7401	4.1
2006	1347	Nd	Nd
2007	1346	Nd	Nd
2008	1647	5754.70	3.4
*2009	1,808	6,030.50	3.3



La mirada regional del año 1998, evidencia que la cuenca del río Balsas y la cuenca del río Panuco- Subcuenca del río Tula<sup>4</sup> presentaron la mayor tasa de afectación en la superficie de arbustos y pastizales, la simplificación encubre la fragilidad de la selva baja caducifolia y subcaducifolia y el matorral espinoso ante la propagación libre del fuego y la presión ejercida por la ganadería extensiva. Estos factores han acelerado el proceso de degradación de las cubiertas del suelo y contribuido al incremento de la vegetación secundaria y las áreas desprovistas de vegetación- La cuenca del Balsas concentra el 71% de la superficie estatal de vegetación secundaria y la Subcuenca del río Tula-Panuco concentra el 90% de la superficie desprovista de vegetación- (Figura 3). La atención en las áreas de bosque templado y los intereses económicos de la actividad pecuaria, explican la poca atención a las funciones ecológicas y productivas de los matorrales y plantas arbustivas: Aporte forrajero para ganado doméstico y fauna silvestre, retenedoras de suelo, fuente de materias primas y secuestradoras de carbono atmosférico, también tienen importancia en el incremento de la biomasa herbácea, reciclaje de nutrientes, la sucesión vegetal e infiltración del agua en sitios degradados (Flores *et al*, 207: 311-312).

Figura 3. Superficie afectada por los incendios y tipo de vegetación, 1998



<sup>4</sup> En el Estado de México la cuenca del río Lerma (RH-12) ocupa 27.3 % del territorio estatal; la cuenca del río Balsas (RH-18) el 37.2% y el río Panuco (RH-26) 35.5%.

	Balsas	Lerma	Panuco	Sumatoria
Pastos	13.0	9.7	14.5	37.2
Hierbas y arbustos	27.3	9.8	<b>10.6</b>	47.7
Renuevo	7.2	2.3	3.3	12.8
Arbolado	0.3	0.8	1.2	2.3
%Participación regional	47.8	22.6	29.6	100.0
No de incendios	1704	844	1101	3649
Superficie total afectada	12346.4	5845.1	7656.1	25847.6
Superficie total regional	874153	600699	760828	2235680

Fuente: INEGI-GEM (1999). Anuario Estadístico del Estado de México

La reducción del índice de tierras afectadas por los incendios es atribuible al despliegue de una actividad operativa estatal que consume cantidades significativas de recursos humanos y materiales para el control de los siniestros una vez que se presentan, las medidas preventivas se limitan a las brechas corta fuego en los bosques y poco se ocupan de dar seguimiento a las actividades de protección, mantenimiento e información necesarias para estimular el uso del fuego de una manera responsable, de modo que se reduzca las quemas, la incidencia de incendios y los subsecuentes costos ambientales y económicos.

### **Emisiones globales**

La magnitud de las quemas y los incendios de vegetación en las zonas tropicales, y el interés por saber si la combustión de biomasa contribuye al efecto invernadero global (Ute Hänslér, 2010:2) configura una línea de atención que se relaciona con la categoría de emisión de Uso de Suelo, Cambios de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS)<sup>5</sup>, en México esta categoría es la segunda fuente de emisión de GEI, aporta el 14% de las emisiones totales y el cambio de uso del suelo contribuye con el 10%<sup>6</sup>. La categoría en

<sup>5</sup>La atención a la categoría de emisión USCUSS, en varios de los países comprometidos con el Protocolo de Kyoto es reciente, oficialmente la reducción de GEI por fuente se basa en la Guía Metodológica de Buenas Prácticas de 1996, complementada con la guía del año 2000, hasta el año 2003 fue considerada la categoría USCUSS, las guías del 2006 modificaron, substancialmente las guías de 1996, fusionaron los sectores "Agricultura" y "Uso de los Suelos, Cambio de Uso de los Suelos y Silvicultura", siendo opcional para los países incorporar las buenas prácticas del 2003 y 2006 (IPCC, [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch), consulta 13-02-2011).

<sup>6</sup>El Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) 1990-2002 reporta que la contribución de las emisiones de GEI de las diferentes categorías en términos de CO<sub>2</sub> equivalente en 2002, es la siguiente: energía r 61%; le siguen las categorías de USCUSS 14%; desechos 10%; procesos industriales 8% y agricultura 7%.

términos de CO<sub>2</sub> equivalente emite un total de 86,877 Gg de GEI<sup>7</sup>, el 64.63% de las emisiones corresponde a la *combustión y descomposición* de biomasa aérea asociada a la conversión de bosques a otros usos (SEMARNAT/INE, 2006:33).

Ante la ausencia de datos y mediciones directas por fuente de área, las estimaciones se basan en la estandarización de la clasificación de vegetación y uso del suelo a nivel histórico en México y en promedios anuales de GEI para el periodo de 1993-2002, por este motivo la cantidad de combustible consumido por los incendios forestales y la descomposición de biomasa aérea asociada a los procesos de conversión de bosques a otros usos es prácticamente desconocida.

Tabla 4. Fuentes de emisión de GEI de la categoría USCUS

Fuente de emisión	CO2 equivalente 2002	%
A. Combustión y descomposición de biomasa aérea asociada a los procesos de conversión de bosques a otros usos	64,484 Gg	64.63%
B. Suelos minerales y áreas agrícolas	30,344 Gg Carbono orgánico en suelos	30.41%
C. Bosques manejados	4,932 Gg	4.94%
Total	99, 760	99.98
D. Captura de carbono en tierras abandonadas*	12,883 Gg	
Balance de las emisiones Total de la categoría menos captura de carbono*	86,877 Gg*	

Fuente: INEGI 1990-2002. El balance es resultado de A + B + C = Emisión total – D captura = Emisión neta.

<sup>7</sup>En estimaciones más recientes se reporta que *el cambio de uso del suelo y silvicultura, contribuyen con la emisión de 70, 202.8 Mt de CO<sub>2</sub> equivalente*, el 99.39% corresponde al CO<sub>2</sub>, el 0.36% al CH<sub>4</sub> y el 0.23% al N<sub>2</sub>O. (SEMARNAT-INE 2009),

En nuestro país las emisiones producidas por el uso del fuego se ubican en la categoría de agricultura, incluye las quemas programadas y las quemas in situ de residuos agrícolas (SEMARNAT-INE 2009). Algunos trabajos precisan que la combustión de residuos agrícolas produce la emisión de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, ceniza (minerales que no se incineran), humos condensados y otros productos de la combustión incompleta, si es poco el oxígeno disponible y la biomasa está húmeda, se produce el CO y hollín (partículas de carbono sin quemar). Las partículas de carbono absorben vapores orgánicos del humo y las sólidas pueden estar cubiertas de contaminantes dañinos para la salud (Quintero et al, 2008).

La poca atención a los incendios forestales como causa de la combustión de biomasa aérea y superficial y fuente de emisión directa de GEI, se aprecia en las desarticuladas disposiciones que rigen la utilización del fuego con fines agropecuarios y las medidas de control de la contaminación atmosférica y en el suelo. La Norma Oficial Mexicana NOM-015 establece la regulación del uso del fuego en terrenos forestales y agropecuarios a través de la promoción de convenios y acuerdos para la programación de las quemas y la difusión de prácticas seguras (*Diario Oficial de la Federación* 1999), los impactos producidos por las quemas, la alteración de los procesos de sucesión ecológica e inhibición de la regeneración natural de los ecosistemas, apenas se mencionan en una fracción Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (DOF, 1988). La regulación de la calidad del aire prescribe la concentración máxima permisible para la salud pública y la compatibilidad del uso de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas, con el equilibrio de los ecosistemas y los efectos en la salud humana (LGEEPA, 1988). El reglamento de prevención y control de la contaminación de la atmósfera (DOF, 25-11-1988) establece que las emisiones de contaminantes, sean de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles, deben ser reducidas o controladas, en beneficio del bienestar de la población y el equilibrio ecológico, y nada se dice de otro tipo de fuentes, tal es el caso de los incendios forestales. Las medidas reactivas del Gobierno Federal se traducen en altos costos económicos y resultados parciales. En los últimos años el gobierno ha gastado un promedio anual de 300 millones de pesos (aproximadamente US \$ 28.57 millones, base 2005) en el combate a los incendios (Torres-Rojo et al, 2007), adicionalmente las

acciones para cumplir los compromisos del Protocolo de Kyoto se han sectorizado<sup>8</sup>. En el sector forestal comandado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) prevalecen las medidas de protección, conservación y manejo sustentable de los bosques y los suelos, y la meta de incrementar el potencial de los sumideros de carbono a través de la reforestación y la restauración de suelos forestales, plantaciones forestales, manejo forestal sustentable, revegetación y sustitución de los fogones tradicionales por estufas ahorradoras de leña. En el sector agrícola bajo la coordinación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA) se proyecta estabilizar la frontera forestal-agropecuaria a través de proyectos piloto de Reducción de Emisiones de Deforestación y Degradación Forestal (REDD - Tema que debió negociarse en la COP 16 en Cancún, 2010) y la reducción de la incidencia de incendios forestales provocados por quemas agropecuarias, forestales y de otras fuentes (PEF, 2009). A un año de cumplir con el compromiso de reducir las emisiones de GEI, la SAGARPA informa que el sector agrícola ha dejado de emitir 2.08 millones de toneladas de Bióxido de Carbono (10.6% de la reducción de emisiones) (SAGARPA, 29/08/2010) quedan en proyecto las acciones estructurales de importancia vital para la mitigación: La reconversión productiva de tierras marginales a sistemas sustentables – En México las tierras marginales *representan el 80% de las tierras bajo un uso agropecuario*-, reducir las emisiones de los fertilizantes- *El incremento de los rendimientos de maíz en los últimos años está en razón directa con el incremento del uso de agroquímicos*-, la labranza de conservación, aumento de la producción de biocombustibles y la recuperación de la cobertura vegetal en terrenos de pastoreo.

## **Discusión**

Los estudios sobre emisiones de GEI producidos por las fuentes de área (Degradación y deforestación de tierras), quemas e incendios forestales están en ciernes, aunado a la carencia de mediciones directas, abre una línea de trabajo que aportara información sobre la variabilidad de las condiciones del clima local, regional y global.

---

<sup>8</sup>Composición del compromiso de mitigar 51 MTCO<sub>2</sub> en 2012: Ingeniería civil y desechos 5.5 MT CO<sub>2</sub> e = 11%, Infraestructura, Generación de energía eléctrica, 5.5 MT CO<sub>2</sub> e = 36%, Ingeniería civil-Carreteras-Uso de la energía. 11.9 MT CO<sub>2</sub> e = 23%, Ingeniería Agrícola, Agricultura, bosques y otros usos del suelo. 15.3 MT CO<sub>2</sub> e = 30%. En este sector la reducción se desglosa de la siguiente manera: Agricultura = 0.95 MT CO<sub>2</sub> e, Ganadería = 0.91 MT CO<sub>2</sub> e, Bosques = 9.96 MT CO<sub>2</sub> e, Frontera Forestal-Agropecuaria. = 3.48 MT CO<sub>2</sub> e (PEF, 2009).

La prioridad de frenar la deforestación y controlar la tala ilegal de los bosques, le confiere menos atención a los incendios forestales como causa del deterioro de los ecosistemas terrestres, sin embargo los impactos locales que producen se van sumando hasta convertirlos en un factor detonante de procesos de degradación de carácter regional. En su dimensión ecológica los incendios se constituyen en un factor de presión eco sistémico, cuya acción desencadenante reduce rápidamente la vegetación natural, causa debilitamiento a las especies forestales, afecta la reproducción de los organismos silvestres, compacta el suelo y elimina la hojarasca de la superficie (afectando el ciclo hidrológico), mineraliza la materia orgánica, acelera la descomposición del carbono en el suelo, liberándolo a la atmósfera con mayor rapidez, junto con el monóxido de carbono, compuestos volátiles y partículas, lo que pone de relieve las dimensiones locales, regionales y globales de los problemas causados por la propagación libre del fuego.

En la literatura se identifican algunos elementos que delinear la viabilidad de complementar metodologías multiescala, a grandes rasgos son los siguientes:

1. Determinar los cambios de uso de suelo en un periodo dado por medio de las tecnologías de información geográfica y cartografía digital, con la finalidad de obtener información sobre la tasa de deforestación en el tiempo, la pérdida anual de la superficie vegetal, el incremento anual de la superficie de otros usos del suelo, tendencias de la deforestación y la estimación de la emisión de GEI en el tiempo,
2. Estimar la biomasa aérea y en las raíces a través de variables dasométricas medidas en cuadrantes y utilizando ecuaciones alométricas, con el objeto de potenciar el almacenamiento de carbono.
3. Estimar el carbono orgánico del suelo a través de muestreos en sitios seleccionados.
6. Calcular las emisiones de gases de traza de la quema de la biomasa a partir de dos mediciones básicas:
  - a) Biomasa consumida por el fuego, a partir del conocimiento de la carga de combustible media presente en un determinado tipo de vegetación dentro de una zona ecológica particular, y el apropiado factor de combustión -La proporción de la carga potencial de combustible efectivamente quemada por el fuego-.

b) La cantidad de biomasa consumida por los incendios y el factor de emisión para un determinado gas, definido como la masa de gas ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , etc.) liberada en la atmósfera por unidad de masa de combustible consumido (generalmente expresada en las unidades  $\text{g kg}^{-1}$  masa seca de combustible), o bien como la masa de carbono o nitrógeno desprendido en un gas particular por unidad de masa de carbono o nitrógeno liberado del combustible. Finalmente estimar el balance de pérdidas y ganancias de los GEI como síntesis de su contribución al cambio climático.

### **Agradecimientos**

Proyecto CONACYT-SEMARNAT 107956. Cambios de uso del suelo, inducidos por actividades agropecuarias en ecosistemas terrestres templados y cálidos del Estado de México: Impactos locales y emisiones globales de gases de efecto invernadero.

### **Bibliografía**

Acosta-Mireles, Miguel Jesús Vargas-Hernández, Alejandro Velázquez-Martínez y Jorge D. Etchevers-Barra (2002), Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México, *Agrociencia* 36: 725-736.

Aguirre-Salado, Carlos A., José R. Valdez-Lazalde, Gregorio Ángeles-Pérez, Héctor M. de los Santos-Posadas, Reija Haapanen, Alejandro I. (2009), Mapeo de carbono arbóreo aéreo en bosques manejados de pino *Patula* en Hidalgo, *Agrociencia* 43, México: 209-220.

Alonso P., F. *et al.* (2003) . "*Land cover changes and impact of shrimp aquaculture on the landscape in the Ceuta coastal lagoon system, Sinaloa, Mexico*", *Ocean and Coastal Management*, No. 46. pp. 583–600.

Bocco, G. *et al.* (2001). "*La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación*", *Investigaciones Geográficas*, No. 44. Instituto de Geografía, UNAM. México. Pp. 18–38.

Ceballos, Gerardo, Rurik List, Gloria Garduño, Rubén López Cano, María José Muñoz Cano, Enrique Collado (2008). La diversidad biológica del Estado de México. Estudio de estado, Biblioteca Mexiquense del Bicentenario. Colección Mayor. Gobierno del Estado de México-Secretaría del Medio Ambiente, México, Páginas 501.

Comisión Nacional Forestal. Coordinación General de Conservación y Restauración Forestal. Gerencia Nacional de Incendios Forestales. Estadístico Anual de Incendios Forestales 1970-2003

CONAFOR. 2003. *Programa Estratégico Forestal para México 2025*. Publicación Especial de la Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jalisco, México. 191 pp.

CONAFOR. 2006. *Desarrollo Forestal Sustentable en México. Avances 2001-2006*. Publicación Especial de la Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jalisco, México.

CONAFOR. Comisión Nacional Forestal (2005). *Estadístico Anual de Incendios Forestales 1970-2003*, Coordinación General de Conservación y Restauración Forestal. Gerencia Nacional de Incendios Forestales, México, D. F.

Diario oficial de la Federación (DOF). Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de prevención y control de la contaminación de la atmósfera, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 25-11-1988, reformado 03-06-2004.

*Diario Oficial de la Federación (DOF, 1998)*, Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, publicada el 28 de enero, Presidencia de la República, Estados Unidos Mexicanos

*Diario Oficial de la Federación (DOF, 1999)*, Norma Oficial Mexicana NOM-015-SEMARNAT-SAGAR-1997. Regula el uso del fuego y el combate a los incendios Forestales, 02-03-2009

Escandon Calderón, Jorge, Ben H. J. de Jong, Susana Ochoa Gaona, Ignacio March Mifsut Miguel Angel castillo (1999), Evaluación de dos métodos para la estimación de biomasa arbórea a través de datos LANDSAT TM en Jusnajib La Laguna, Chiapas, México: estudio de caso, *Investigaciones Geográficas, Boletín 40*, México: 71-84

*Estrada-Salvador, Ana Lucia y José Návar (2009)*, Flujos de carbono por deforestación en la selva baja caducifolia del estado de Morelos, México, XIII Congreso Forestal Mundial, Buenos Aires, Argentina, 18-23 Octubre 2009: 1-9.

Flores, Ernesto; Frías, Juan; Jurado, Pedro; Olalde, Víctor; Figueroa, Juan de Dios; Valdivia, Arturo; García, Edmundo (2007). Efecto del gatuño sobre la fertilidad del suelo y la biomasa herbácea en pastizales del centro de México, *TERRA Latinoamericana, Vol. 25, Núm. 3, julio-septiembre*, Universidad Autónoma Chapingo, México: 311-319

Franco, M. S. et al. (2006). "Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México, en el período 1972-2000", *Investigaciones Geográficas, No. 61*. Instituto de Geografía, UNAM. México. pp. 38–57.



Gobierno del Estado de México (2006), Programa de Desarrollo Forestal Sustentable estado de México 2005-2025, Secretaría de Desarrollo Agropecuario-Protectora de Bosques, Toluca México, páginas: 100.

Gobierno del Estado de México. Iniciativa Cambio Climático ([http://www.edomex.gob.mx/medioambiente/cambio\\_climatico](http://www.edomex.gob.mx/medioambiente/cambio_climatico)), Consulta febrero 2011.

Gobierno Federal-Semarnat (2010), Cambio climático, Encuentro Nacional de Porcicultura, Campeche México, septiembre de 2010.

Instituto Nacional de Ecología (INE, 2000). *Indicadores para la Evaluación del Desempeño Ambiental*. Reporte 2000. SEMARNAT; México, pp. 1-184

Instituto Nacional de Ecología (INE, 2006). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002*, México.

Instituto Nacional de Ecología. 2002. Protocolo de Kioto, "Anexo A". Categorías y sectores de las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero. México: INE.

Instituto Nacional de Ecología/ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2006). México. *Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*, INE, México, pp. 27- 209.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (2005), Información estadística municipal de uso del suelo (<http://www.inegi.org.mx/>). Consulta 11-02-2011

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI, 1987). *Síntesis Geográfica del Estado de México*, México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática- Gobierno del Estado de México (INEGI-GEM, 1999). Anuario Estadístico del Estado de México.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch), [http://www.ipcc.ch/meeting\\_documentation/meeting\\_documentation.shtml](http://www.ipcc.ch/meeting_documentation/meeting_documentation.shtml), consulta 13-02-2011.

Inventario Nacional Forestal y suelo de México 2004-2009. Una herramienta que da certeza a la planeación, evaluación y desarrollo Forestal en México. Primera edición, 2009, Comisión nacional Forestal periférico Poniente 5360, Colonia San Juan de Ocotán, Zapopan Jalisco, México.

Mendoza, M. *et al.* (2002). *Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del lago de*

*Cuitzeo, Michoacán*". *Investigaciones Geográficas*, No. 49. Instituto de Geografía, UNAM. México. pp. 92-117.

Penman, Jim , Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riitta Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe and Fabian Wagner (2005). *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS)*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Programa del IPCC sobre inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Organización Meteorológica Mundial (OMM), Suiza, pp. 1.5-1.11.

Peter G.H. Frost (1998), *Fire in Southern African Woodlands: Origins, Impacts, Effects and Control*, Meeting on Public Policies Affecting Forest Fires, FAO Forestry paper 138, Rome 1998: 181.

Pineda J., N. B. *et al.* (2008). "*Cambios de la ocupación del suelo y análisis de transiciones sistemáticas en el Estado de México (México), mediante Tecnologías de la Información Geográfica*", *XI Coloquio Ibérico de Geografía*. Alcalá de Henares, España. Disponible en: [http://www.geogra.uah.es/inicio/web\\_11\\_ciq/cdXICIG/index.html](http://www.geogra.uah.es/inicio/web_11_ciq/cdXICIG/index.html)

Poder Ejecutivo Federal (PEF) 2009. *Programa Especial de Cambio Climático, 2009-2012*. CICC, México.

Quintero Núñez, Margarito, Andrés Moncada Aguilar (2008), Contaminación y control de las quemadas agrícolas en Imperial, California, y Mexicali, Baja California, *Región y Sociedad*, septiembre-diciembre, año/vol. XX, número 043, El Colegio de Sonora, México, pp. 3-24.

Ramírez, M. I. y R. Zubieta (2005). Análisis regional y comparación metodológica del cambio en la cubierta forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Reporte Técnico preparado para el Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca, México.

Rodríguez Laguna, Rodrigo, Javier Jiménez Pérez, Óscar A. Aguirre Calderón, Eduardo J. Treviño Garza y Ramón Razo Zárate (2009), *Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México*", *Ra Ximhai*, septiembre-diciembre, año/Vol. 5, Número 3 Universidad Autónoma Indígena de México Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 317-327.

Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). *Disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero en el campo*. Comunicado de prensa num.378/10, México, D.F., 29 de agosto de 2010.

Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Protectora de Bosques (2006), Programa de Desarrollo Forestal Sustentable Estado de México 2005-2025, Toluca, Estado de México, páginas: 100.

Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales (SEMARNAT, 2003), Compendio de Estadísticas Ambientales, 2002. México, D. F...

Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales- Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAT-INE, 2009). *Cuarta Comunicación Nacional ante la CMNUCC*. SEMARNAT, México.

Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca - Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1995-1996 / Estadísticas del Medio Ambiente 1997, 1a edición, INEGI, México, 1998.

Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP, 2000), *Guía Forestal*. Subsecretaría de Recursos Naturales, Dirección General Forestal-SEMARNAP. México, D. F, pp. 150

Secretaría de Medio Ambiente. Gobierno del Estado de México. Iniciativa Cambio Climático ([http://www.edomex.gob.mx/medioambiente/cambio\\_climatico](http://www.edomex.gob.mx/medioambiente/cambio_climatico))

Torres-Rojo, Juan M., Octavio S. Magaña-Torres y Grodecz A. Ramírez-Fuentes (2007), Índice de peligro de incendios forestales de largo plazo, *Agrociencia*, número 41, México, pp. 663-674.

United Nations Framework Convention on Climate Change. UNFCCC (2008), *Informe del taller sobre las cuestiones metodológicas relacionadas con la reducción de las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques en los países en desarrollo, Convención Marco sobre el Cambio Climático*, Universidad de las Naciones Unidas en Tokio (Japón) del 25 al 27 de junio de 2008, FCCC/SBSTA/2008/11, pp. 1-18.

Ute Hänslér (2010), "Jugar con fuego. Porqué los incendios forestales recalientan la ciencia", *Geomax. Curiosos por las ciencias*, No.3. Sociedad Max-Planck, Manchen, Alemania: 4.

Velázquez, A. Mas y Palacio, (2002). Análisis del cambio del uso del suelo; mapas del análisis del cambio de uso del suelo. INE (SEMARNAT) - IGg (UNAM). México. Disponible en: [http://www.ine.gob.mx/dgoece/xid/dgoece/i\\_usv/](http://www.ine.gob.mx/dgoece/xid/dgoece/i_usv/)