

EMISIONES CONTAMINANTES DURANTE LA TEMPORADA 2003 DE INCENDIOS EN MÉXICO

D. A. Rodríguez-Trejo; H. Tchikoué-Maga;
J. Santillán-Pérez

¹División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo,
Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. C. P. 56230.

RESUMEN

La emisión de contaminantes por incendios forestales y quemas agropecuarias contribuye a la contaminación del aire y al cambio climático global. En el primer caso influye en las incidencias de afecciones de vías respiratorias y alergias, entre otras, particularmente entre personas de la tercera edad e infantes; además el humo de los incendios contiene agentes tóxicos y otros potencialmente cancerígenos. En el segundo caso, el CO₂ es el más importante de los gases de invernadero. La información sobre emisiones en el país es muy escasa, y en el contexto internacional es muy variable. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue estimar las emisiones de siete contaminantes: NO, NO₂, CO, SO₂, CO₂, HC y partículas suspendidas <10i , a nivel nacional durante la temporada de incendios 2003. También se estimó la superficie que se evitó se afectara debido a las actividades de combate de incendios forestales, y las emisiones prevenidas. Las superficies afectadas (datos oficiales de CONAFOR) y las evitadas (descontando en este último caso las afectadas), fueron multiplicadas por la carga de combustibles para cada tipo de ecosistema principal (selvas altas y medianas, selvas bajas, matorrales, bosques de coníferas y latifoliadas, pastizales), así como por un factor de combustión para cada tipo de vegetación e incendio. En el caso de incendios subterráneos se consideró el consumo de parte de la materia orgánica del suelo. Al resultado anterior se le multiplicó por la tasa de emisión de cada contaminante. Las superficies evitadas se obtuvieron con SIG, considerando la presencia de barreras naturales y artificiales que pudiesen detener el avance del incendio. La emisión total a nivel nacional, fue igual a 6.156,196 t, en tanto que los contaminantes que se hubieran emitido de no combatirse los incendios por institución alguna, habrían alcanzado 131.249,780 t. En la actualidad, la salud pública es otro criterio a considerar en las políticas de manejo del fuego.

PALABRAS CLAVE: fuego, contaminación, humos, cambio climático global, bióxido de carbono.

EMISSIONS OF CONTAMINANTS DURING THE 2003 FOREST FIRE SEASON IN MEXICO

SUMMARY

The emission of pollutants by forest fires and agricultural burns, contributes to the air contamination and global climatic change. In the former, yields incidences of respiratory and allergic illnesses, among others, particularly among elders and children. The smoke also contains toxic agents and potentially carcinogen elements. In the later, CO₂ is the most important greenhouse gas. The information of smoke emissions in Mexico is very scarce, and this sort of information is very variable in the international scenario. Because of that, the objective of this work was to estimate the emissions of seven pollutants: NO, NO₂, CO, SO₂, CO₂, HC and particulate matter <10i nationwide during the 2003 fire season. Also was estimated the surface that was not affected by fires thanks to the firefighting activity, and the emissions prevented. The affected area (official CONAFOR data) and the prevented area (discounting in this last the affected area), were multiplied by the forest fuels load for each type of major ecosystem (perennifolious and subperennifolious tropical forest, caducifolious tropical forest, shrublands, conifer forests, broad leaf forests, grasslands), and by a consumption factor for each ecosystem type and type of forest fire. In the case of subterranean fires was considered the consumption of part of the soil organic matter. The result was multiplied by the emission factor of each contaminant. The avoided surfaces were obtained with GIS, considering the presence of natural and artificial barriers to the fire. The total emission for the country was 6,156,196 t, and the prevented emissions equaled 131,249,780 t. Presently, the public health is another criteria to be considered in the fire management policies.

KEY WORDS: fire, pollution, smokes, global climatic change, carbon dioxide.

INTRODUCCIÓN

No es fácil hacer una estimación precisa de las superficies afectadas por incendios a nivel mundial. Esta es una de las principales razones de la variación existente en la literatura internacional en cuanto a sus aportes de contaminantes específicos. La NASA (2005), señala a partir de una profusa revisión de literatura internacional, que la superficie afectada anualmente por incendios en el planeta es de entre 75,000,000 a 820,000,000 ha. La misma fuente señala emisiones de $7.7(10)^7$ a $1.35(10)^{10}$ ton CO_2 , $1.2(10)^7$ a $6.8(10)^7$ ton CO, $2(10)^6$ a $2.1(10)^7$ ton de NO_x , y $1.1(10)^7$ a $5.3(10)^7$ ton de CH_4 , cifras que a pesar de su variabilidad, representan grandes magnitudes, evidenciando el problema.

Los humos de los incendios forestales y quemas agropecuarias, contienen cientos o miles de productos, muchos son contaminantes que afectan la salud pública, y otros contribuyen al cambio climático global. Entre los contaminantes que originan problemas de salud y que se analizan en el presente trabajo, están los hidrocarburos aromáticos polinucleares, contenidos en la fracción orgánica de las partículas finas, que se asocian con productos cancerígenos, por ejemplo, el Benzo(a)pireno (CC, NWCG, USDA FS, JHU, 1989).

Las partículas suspendidas $<10\mu$, y particularmente las que tienen una media de 0.3μ , llegan a los bronquiolos e incluso a los alveolos pulmonares. Estas partículas contienen de 40 a 70 % de carbono orgánico, que a su vez tienen agentes cancerígenos (CC, NWCG, USDA FS, JHU, 1989).

Los NO_x pueden provocar edema, y el SO_2 es tóxico a plantas y animales (Dreisbach y Roberson, 1998). El CO al combinarse con hemoglobina, forma carboxihemoglobina, que al aumentar su concentración va causando desde dolor de cabeza hasta la muerte (Dreisbach y Roberson, 1998).

El CO_2 es el principal gas que contribuye al efecto de invernadero, con cerca del 50 % de tal calentamiento global, y los humos de incendios y quemas agropecuarias contribuyen por lo menos con el 25 % de las emisiones de este gas, si bien hay estimaciones de que tal valor corresponde al 40 % (PNUMA, 1988).

Entre los escasos esfuerzos que se han hecho en México para estudiar los humos de los incendios forestales, están Cairns *et al.* (2000), quienes estimaron las emisiones de carbono en las regiones tropicales durante la histórica temporada de incendios 1998; Contreras *et al.* (2003) que realizaron un estudio que involucró determinación de factores de emisión en pinares del centro del país; así como Bravo *et al.* (2002) y Sosa *et al.* (2004), quienes estimaron las emisiones de contaminantes a partir de monitoreo del aire en el D.F., en un periodo de ocho años.

El presente trabajo representa el primer esfuerzo por estimar a nivel nacional emisiones de contaminantes. Sus objetivos son: a) estimar la superficie estatal y nacional que se hubiera afectado por incendios forestales de no ser combatidos por institución alguna, b) calcular la emisión de los contaminantes NO , NO_2 , CO, SO_2 , CO_2 , HC y partículas suspendidas $<10\mu$ por incendios forestales durante la temporada 2003 en cada estado y en el país, y c) calcular las emisiones evitadas gracias a las tareas de prevención y combate de incendios forestales, también a nivel estatal y nacional.

METODOLOGÍA

Se muestrearon en campo un total de 84 incendios forestales, en todos y cada uno de los estados del país, y el Distrito Federal, georeferenciándose su perímetro con geoposicionadores (marca Maguellan, modelo Meridian Platinum). La superficie de esta muestra fue igual a 30,855.24 ha (la mayoría son incendios >200 ha), por lo que la intensidad de muestreo fue de 9.57 %, con respecto a superficie afectada. Con el uso de imágenes de satélite (obtenida de la plataforma MODIS de tipo Musid, con resolución de 15×15 m cada pixel), e información vectorial de los temas: uso de suelo y vegetación, topográficos, vías de acceso y cuerpos de agua, con el uso del programa de la combinación de programas AutoCAD Map y Arc View, se determinó la superficie que podría haber alcanzado el incendio en caso de no haberse combatido. Los límites fueron cuerpos y cursos de agua, permanentes y temporales (en este último caso se asumió que el cauce podría servir como barrera natural), brechas y carreteras. Asimismo, el uso del suelo agrícola y los zacatales en zonas muy elevadas (superiores a 4,000 m) se consideraron barreras, por la elevada humedad a grandes altitudes, en el último caso. Otras barreras fueron suelos expuestos (cenizas volcánicas).

El escenario a nivel nacional, entre y dentro de cada uno de los variados tipos de vegetación existentes, con distintos tipos y niveles de disturbio, aunado a las también variadas condiciones climáticas y de tiempo atmosférico, y a la gran variación en topografía, arrojan infinidad de posibilidades de comportamiento del fuego, con mayor variación impresa a causa de diferentes meses y horas del día dentro de la temporada de incendios, en las diversas regiones. Lo anterior se deriva en que en ocasiones una barrera angosta, como una brecha caminera en el bosque, pueda detener un incendio; pero en otros casos, las llamas pueden alcanzar el otro extremo de una supercarretera.

Por ello, para el presente trabajo se ha asumido como un escenario, no único pero sí factible, que las barreras identificadas detendrían el fuego. Asimismo, en esta primera aproximación no se ha incluido el efecto potencial de eventos meteorológicos como la lluvia, que puede presentarse en algunos casos.

En ocasiones el matorral espinoso y el matorral rosetófilo arden, pero en otras no. Igualmente, en años húmedos la selva no se incendia, pero en años secos sí. Asimismo, a mayor nivel de perturbación de la selva, mayores las posibilidades de que se incendie. Puesto que en el 2003 sí se registraron incendios en selvas, éstas se incluyeron en el análisis. Se asumió que los matorrales más secos, como los crasicales y los espinosos no serían afectables significativamente por el fuego, dada su menor continuidad de combustibles y a que el año 2003 no fue particularmente seco. Se consideró que los matorrales micrófilos y rosetófilos sí arderían más fácilmente.

Dividiendo la superficie afectada de cada estado por la superficie afectada en los incendios visitados, se obtuvo un factor. Este factor fue multiplicado por la superficie salvada de los incendios inventariados, para obtener la superficie salvada en el estado (superficie sin ajustar).

Cada uno de los incendios visitados arrojó una superficie salvada, un compartimiento delimitado por barreras naturales y artificiales. Sin embargo, no se tiene la georeferenciación precisa de la mayoría de los demás incendios que ocurrieron en todos los estados, por lo que no fue posible descontar directamente la ocurrencia de dos o más en el mismo compartimiento, a efecto de reducir proporcionalmente la superficie salvada. Para lo anterior, se obtuvo de SEMARNAT (2000) la superficie con los tipos de vegetación que arrojaron superficie salvada, y dicha superficie se dividió entre la superficie salvada por incendio muestreado en campo. La cifra obtenida corresponde al número de compartimientos con tal dimensión en cada estado.

A efecto de compensar el efecto referido, se generaron números aleatorios con el programa Excel, que se asignaron a compartimientos, teniendo como límite el número de incendios en el estado. Por ejemplo, si en 80 compartimientos se distribuían al azar 60 incendios y estos últimos sólo ocupaban 30 de los mismos, el factor empleado para ajustar la superficie salvada fue igual a $30/60 = 0.5$. Este factor se multiplicó por la superficie salvada (sin ajustar), para obtener la superficie salvada por estado.

Para estimar las emisiones (E) se usó el siguiente modelo:

$$E = S C F E \quad (1)$$

Donde: S=superficie afectada, C=carga de combustibles o bien biomasa, F=factor de consumo para combustibles o para biomasa, E=factor de emisión del contaminante.

Las emisiones de contaminantes se estimaron considerando ecosistemas cálido-húmedos, cálido-secos y templado fríos, en cada estado. En ecosistemas templado-fríos, se utilizó información nacional sobre cargas de combustibles, principalmente Rodríguez y Sierra (1995) y Ottmar

et al. (2000), desglosando los combustibles superficiales en arbustos, árboles juveniles, herbáceas dicotiledóneas, pastos, y leñas de 1, 10, 100 y 1,000 horas de tiempo de retardo. Para cada clase de combustible se consideró un factor de combustión. En ecosistemas tropicales se utilizaron los datos de biomasa, carga de combustibles, y factores de combustión (con respecto a biomasa o combustibles, según fuese el caso) referidos por REBISO (2004), REBISE (2004), y Cairns *et al.* (2000). En el caso de incendios subterráneos en selva, se consideró la combustión de la materia orgánica del suelo hasta 30 cm de profundidad, con base en las cifras reportadas por Brady y Weil (1996) y por Landsberg y Gower (1996). En matorrales, se usaron las cargas y factores de consumo señalados por Rodríguez y Sierra (1995), Ottmar *et al.* (2000) y por Cairns *et al.* (2000). Los factores de emisión se obtuvieron de Contreras *et al.* (2003), Cairns *et al.* (2000), Martin (1976) y Ottmar y Alvarado (1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Superficie salvada

El número de incendios registrados que ocurrió en el 2003 en México fue igual a 8,211, afectando 322,448 ha (CONAFOR, 2004). La superficie estimada que se evitó fuera afectada (superficie salvada) gracias a las actividades de prevención y combate de CONAFOR y las demás organizaciones relacionadas con la lucha contra el fuego, fue de 5,312,714 ha, durante la temporada analizada, una superficie 16.5 veces mayor a la superficie afectada. Los estados con la mayor superficie salvada, también corresponden a los estados de mayor superficie afectada: Chiapas (1,020,875 ha salvadas) y Oaxaca (936,177 ha salvadas), que conjuntamente representan 36.8 % de la superficie salvada. En términos de superficie afectada, ambos estados totalizan 136,721 ha (el 42.4 % de la superficie afectada) (Cuadro 1). El año analizado fue promedio, pues la media es del orden de $300,000 \text{ ha}\cdot\text{año}^{-1}$; la mayor superficie registrada para el país, corresponde al sin parangón 1998, con 850,000 ha.

Emisiones

Las emisiones de los siete contaminantes considerados para el año evaluado, totalizaron 6,156,196 t. Asimismo, se evitó la emisión de 131,249,780 t de los mismos productos, gracias a las labores de prevención y combate (Cuadro 2). El 98.8 % de las emisiones estimadas corresponden a compuestos con C, que contribuyen al efecto de invernadero, preponderantemente CO_2 (94.8 %).

Los estados con mayor emisión de contaminantes fueron los de mayor superficie afectada: Chiapas, Oaxaca, Baja California, Campeche y Guerrero (4,169,569 t), con 67.7 % de las emisiones a nivel nacional durante 2003 en

CUADRO 1. Superficies afectadas y salvadas y relación entre ambas, por estado y a nivel nacional.

Estado	Número de incendios	Superficie afectada (ha)	Superficie salvada (ha)	Relación superficie salvada/superficie afectada
Aguascalientes	23	448	3,716	8.3
Baja California	152	27,299	46,987	1.7
Baja California Sur	4	361	20,388	56.5
Campeche	69	25,611	174,541	6.8
Chiapas	495	67,355	1,020,875	15.2
Chihuahua	548	7,343	348,865	47.5
Coahuila	32	2,057	109,654	53.3
Colima	29	356	37,854	106.3
Distrito Federal	796	1,312	60,508	46.1
Durango	172	9,340	481,338	51.5
Guanajuato	25	1,058	11,817	11.2
Guerrero	245	17,599	317,995	18.1
Hidalgo	242	2,539	27,607	10.9
Jalisco	539	10,775	223,216	20.7
México	1,493	7,602	69,591	9.2
Michoacán	1,022	11,533	237,910	20.6
Morelos	226	686	27,607	40.2
Nayarit	124	6,007	125,022	20.8
Nuevo León	30	51	57,326	1,125.4
Oaxaca	327	69,366	936,177	13.5
Puebla	430	6,059	166,376	27.5
Querétaro	80	1,179	118,222	100.3
Quintana Roo	158	6,717	176,161	26.2
San Luis Potosí	85	5,048	132,212	26.2
Sinaloa	111	2,681	61,673	23.0
Sonora	45	7,438	127,633	17.2
Tabasco	77	2,108	13,397	6.4
Tamaulipas	23	2,180	39,364	18.1
Tlaxcala	191	572	29,947	52.4
Veracruz	215	3,604	13,987	3.9
Yucatán	72	12,414	19,760	1.6
Zacatecas	131	3,753	74,989	20.0
Total o relación con respecto al total	8,211	322,448	5,312,714	16.5

estos cinco estados, que tuvieron 64.3 % (207,230 ha) de la superficie afectada. Particularmente Chiapas y Oaxaca, cuentan con una gran biodiversidad que se encuentra amenazada por diferentes factores, entre ellos la alteración de los regímenes de fuego. Paralelamente a un exceso de fuego en varios casos, y a la exclusión y eventuales incendios de mayor intensidad, las emisiones son mayores.

La variación en cargas de combustibles y factores de consumo fue alta, dada la variedad de ecosistemas considerados. Debe destacarse que al hacer las estimaciones, la mayor variación corresponde a los combustibles, con mucho, seguidos del factor de consumo de los mismos y del factor de emisión del contaminante. Así,

Sandberg *et al.* (2002), señalan coeficientes de variación de 83 para la carga de combustibles forestales, 30 para el consumo de los mismos, y 16 para el factor de emisión.

Las emisiones de CO₂, CO y HC en el presente trabajo, igualan 6,081,709 t, corresponden en 41 % a C, y estas últimas representan 54.2 % con respecto a las 4,600,000 t referidas por Cairns *et al.* (2000) para el periodo pico de dos meses en las zonas tropicales del país, región en la que se afectaron 482,000 ha durante la extrema temporada 1998.

Respecto a las estimaciones globales de CO₂, México estaría aportando aproximadamente 7.6 % en el caso de la estimación de emisión global más conservadora, y 0.04 %

CUADRO 2. Emisiones por contaminante y estado (t).

Estado	NO	NO ₂	CO	SO ₂	CO ₂	HC	Part suspendidas	Total
Aguascalientes	5.14	2.69	237.35	3.29	6,129.39	22.53	67.13	6,467.52
Baja California	676.92	353.9	31,283.17	433.47	807,849.6	2,968.94	8,847.45	852,413.45
Baja California Sur	9.33	4.88	431.01	5.97	11,130.19	40.90	121.9	11,734.85
Campeche	659.56	344.82	30,481.1	422.35	787,137.31	2,892.82	8,620.61	830,558.57
Chiapas	999.43	522.51	46,187.64	639.99	1,192,739.54	4,383.46	13,062.71	1,258,535.28
Chihuahua	64.29	33.61	2,971.18	41.17	76,727.17	281.98	840.30	80,959.70
Coahuila	45.51	23.8	2,103.43	29.15	54,318.39	199.63	594.89	57,314.80
Colima	3.91	2.04	180.72	2.50	4,666.81	17.15	51.11	4,924.24
Distrito Federa	15.05	7.87	695.32	9.63	17,955.9	65.99	195.65	18,945.41
Durango	99.78	52.17	4,611.25	63.89	119,080.01	437.63	1,304.15	125,648.88
Guanajuato	11.88	6.21	549.07	7.61	14,179.15	52.11	155.29	14,961.32
Guerrero	239.35	125.13	11,061.1	153.26	285,639.41	1,049.76	3,128.28	301,396.29
Hidalgo	62.08	32.46	2,868.91	39.75	74,085.98	272.27	811.38	78,172.83
Jalisco	132.23	69.13	6,110.99	84.68	157,808.88	579.97	1,728.3	166,514.18
México	75.67	39.56	3,497.05	48.46	90,306.67	331.89	989.03	95,288.33
Michoacán	235.1	122.91	10,864.74	150.54	280,568.59	1,031.12	3,072.75	296,045.75
Morelos	5.47	2.86	252.99	3.51	6,533.15	24.01	71.55	6,893.54
Nayarit	68.09	36.60	3,146.66	43.6	81,258.58	298.63	889.93	85,742.09
Nuevo León	1.26	0.66	58.4	0.81	1,508.12	5.54	16.52	1,591.31
Oaxaca	735.88	384.73	34,008.2	471.22	878,220.25	3,227.56	9,618.14	926,665.98
Puebla	56.37	29.47	2,605.22	36.1	67,276.59	247.5	736.8	70,988.05
Querétaro	13.24	6.92	611.67	8.48	15,795.74	58.05	172.99	16,667.09
Quintana Roo	94.45	49.38	4,364.76	60.48	112,714.24	414.24	1,234.43	118,931.98
San Luis Potosí	125.08	65.40	5,780.68	80.1	149,279.05	548.62	1,634.88	157,513.81
Sinaloa	22.4	11.71	1,035.15	14.34	26,731.49	98.24	292.76	28,206.09
Sonora	74.16	38.77	3,427.11	47.49	88,501.02	325.25	969.25	93,383.05
Tabasco	36.77	19.22	1,699.08	23.54	43,876.72	161.25	480.53	46,297.11
Tamaulipas	26.6	13.91	1,229.2	17.03	31,742.52	116.66	347.64	33,493.56
Tlaxcala	4.85	2.53	224.01	3.1	5,784.8	21.26	63.65	6,104.20
Veracruz	46.35	24.23	142.06	29.68	55,316.09	203.29	605.81	56,367.51
Yucatán	209.81	109.69	9,696.28	134.35	250,394.7	920.23	2,742.29	264,207.35
Zacatecas	34.36	17.96	1,587.71	22.0	41,000.58	150.68	449.03	43,262.32
Total	4,881.04	2,557.73	224,003.21	3,131.54	5,836,256.63	21,449.16	63,917.13	6,156,196.44

en el caso de la mayor estimación global. En el caso del CO, estas cifras serían, respectivamente, 1.9 a 0.33 % de las emisiones a nivel mundial.

Tal variación es de esperar, si se considera que en términos de superficie afectada, las mismas cifras representan de 0.43 a 0.04 %, de las 75,000,000 a 820,000,000 ha que la NASA (2005) refiere como afectadas por el fuego en promedio anualmente, por lo que se considera que los aportes más bajos de contaminantes serían los más precisos; máxime si se considera que, acorde con Cairns *et al.* (2000) las emisiones puntuales se refieren a los productos liberados en determinado periodo o momento, como en el caso del presente trabajo, mientras que las emisiones netas incluyen un descuento por fijación de C

por parte de la vegetación, de modo que solamente de 33 a 50 % de las emisiones puntuales pueden ser consideradas como netas.

Si no se combatiesen los incendios forestales en el país, asumiendo la misma cantidad de éstos para la temporada analizada, se hubiesen emitido 131,249,780 t de los siete contaminantes referidos. En este escenario, las emisiones de CO₂ representarían hasta 124,399,397 t, que rebasarían con mucho la estimación global baja, y representarían 0.92 % de la estimación alta. En tal escenario de no combate, los estados que más polutantes aportarían serían Chiapas (30,296,892 t), Oaxaca (17,685,717 t), Durango (13,075,703 t), Chihuahua (9,409,917 t) y Guerrero (8,172,112 t), para un total de 78,640,341, 63.2 % de las

emisiones potenciales en el país, que se concentraría en estos cinco estados.

Manejo integral del fuego hacia menor producción de humos

Una política que puede ayudar a reducir emisiones, en teoría sería aquella que proporcionase una baja o relativamente baja superficie afectada, con bajas tasas de emisión, de manera permanente. Sin embargo, los intentos por excluir el fuego no parecen la alternativa más viable, pues finalmente los incendios se presentan y ante la acumulación de combustibles así facilitada, lo hacen con mayor intensidad y severidad, implicándose cuantiosas emisiones.

Es necesario incluir consideraciones ecológicas y sociales. En ecosistemas mantenidos por el fuego, este factor contribuye a la manutención de la composición, estructura y función de los mismos, como es el caso de pinares, zacatales, matorrales, sabanas, varios humedales y varios encinares. Bajo un esquema sintético, las quemaduras prescritas podrían empatar objetivos ecológicos y silvícolas, además de aquellos de los poseedores de la tierra, por ejemplo un pastoreo moderado. Lo anterior permitiría mantener el bosque, sacando partido de los impactos positivos del fuego, darle uso tradicional moderado y reducir las incidencias de incendios de mayor intensidad y extensión, que tendrían menos impactos negativos, entre ellos la producción de contaminantes, mediando en lo anterior la ordenación territorial. A la integración de estos factores ecológicos, sociales y operativos, entre muchos otros, con miras a maximizar impactos positivos del fuego y minimizar los negativos, se le ha denominado manejo del fuego o manejo integral del fuego (Rodríguez *et al.*, 2000; Myers, 2006).

Asimismo, la conducción de quemaduras a baja intensidad, en contra de viento y pendiente, pueden contribuir a reducir las emisiones, en comparación con quemaduras a favor o incendios. Por ejemplo, Martín (1976), señala emisiones de partículas suspendidas de 1 a 23 kg·t⁻¹ de combustible en quemaduras en contra del viento, y de 23 a 91 kg·t⁻¹ para quemaduras a favor; valores iguales a 9 y 68 kg·ton⁻¹ para el CO, y a 1 y 3 kg·ton⁻¹ para los NO_x.

CONCLUSIONES

Se sabe que la contribución de los humos de incendios y quemaduras agropecuarias del planeta al cambio climático global es significativa. La producción de contaminantes que provocan el efecto de invernadero por los incendios en México, no es de menospreciarse, si bien de no ser por las labores de combate de incendios forestales, se estima que tales emisiones serían 21 veces mayores. A reserva de la permanente y crucial importancia de las tareas de prevención

y combate de incendios forestales, éstas por sí solas no parecen ser la opción más eficiente para reducir las emisiones y sus efectos en la salud de la población y en el cambio climático global. La integración de esquemas de manejo integral del fuego, empatando objetivos ecológicos, de manejo forestal, sociales (manejo comunitario del fuego) y operativos (prevención y combate de incendios), entre otros, con un mayor uso de quemaduras prescritas, podría contribuir a reducir siniestralidad y emisiones parciales pero significativamente.

AGRADECIMIENTOS

A los compañeros de las brigadas que apoyaron con la obtención de información de campo y el procesamiento de información. A la Comisión Nacional Forestal, por su autorización para publicar parte de los resultados del análisis del programa de protección contra incendios forestales (ejercicio fiscal 2003), realizado por la Universidad Autónoma Chapingo.

LITERATURA CITADA

- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. 1996. *The nature and properties of soils*. Prentice Hall. New Jersey. 740 p.
- BRAVO ÁLVAREZ, H.; SÁNCHEZ ÁLVAREZ, P.; JAIMES PALOMERA, M.; SAAVEDRA, M. I. 2002. Impact of wildfires on the air quality of Mexico City, 1992-1999. *Environmental Pollution* 117: 243-253.
- CAIRNS, M.; HAO, W. M.; ALVARADO CELESTINO, E.; HAGGERTY, P. K. 2000. Carbon emissions from spring 1998 fires in tropical Mexico. pp. 242-248. In: *Proceedings of the Joint Fire Conference and Workshop: Crossing the Millennium: Integrating Spatial Technologies and Ecological Principles for a New Age in Fire Management*. Jun 15-17, 1999. Boise, Idaho. The University of Idaho. Vol. 1.
- CONGRESSIONAL COMMITTEE, NACIONAL WILDFIRE COORDINATING GROUP, UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, FOREST SERVICE, THE JOHNS HOPKINS UNIVERSITY. 1989. The effects of forest fire smoke on firefighters. A comprehensive study plan. CC, NWCG, USDA FS, JHU. Missoula Montana. 32 p.
- CONAFOR (COMISIÓN NACIONAL FORESTAL). 2004. Reporte de incendios forestales. CONAFOR. Folleto.
- CONTRERAS MOCTEZUMA, J.; RODRÍGUEZ TREJO, D. A.; RETAMA HERNÁNDEZ, A.; SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, J. J. M. 2003. Gases del humo de incendios en bosques de *Pinus hartwegii*. *Agrociencia* 37: 309-316.
- DRIESBACH, T.; ROBERSON, W. O. 1998. Manual de toxicología clínica. 6a ed. Manual Moderno. México, D. F. 299 p.
- LANDSBERG, J.J.; GOWER, S. T. 1996. Applications of physiological ecology to forest management. Academic Press. San Diego. 354 p.
- MARTIN, R. E. 1976. Prescribed burning for site preparation in the inland northwest. pp. 134-156. In: *Tree planting in the inland northwest*. BAUMGARTNER, D. M.; BOYD, R. J. (eds.). Washington State University. Pullman.
- MYERS, R. L. 2006. Convivir con el fuego. Manteniendo los ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el manejo integral del fuego. The Nature Conservancy. Tallahassee. 28 p.

- NASA (NACIONAL SPACE ADMINISTRATION. 2005. Earth observatory. URL:
http://earthobservatory.nasa.gov/Library/Global_Fire/fire.html
- OTTMAR, R.D.; ALVARADO CELESTINO, E. 1994. Fuego y manejo de ecosistemas: Efecto en la calidad del aire. Memoria II Congreso Forestal Mexicano. 12-16 jul. 1993. Toluca, Edo. de Méx. Gob. Edo. Méx., Probosque, ANCF, INIFAP, UACH.
- OTTMAR, R. D.; VIHNAMEK, R. E.; REGELBRUGGE, J. C. 2000. Stereo photo series for quantifying natural fuels. Vol. IV: pinyon-juniper, sagebrush, and chaparral types in the Southwestern United States. PMS 833. Boise, ID. National Wildfire Coordinating Group, National Interagency Fire Center. 97 p.
- PNUMA (PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. 1988. Los incendios forestales aceleran los cambios climáticos. Nairobi, Kenya, 1 p.
- REBISE (RESERVA DE LA BIOSFERA LA SEPULTURA. 2004. Plan de Manejo Integral del Fuego. REBISE. Tuxtla Gutiérrez, Chis.
- REBISO (RESERVA DE LA BIOSFERA SELVA EL OCOTE. 2004. Plan de Manejo Integral del Fuego. REBISE. Tuxtla Gutiérrez, Chis.
- RODRÍGUEZ TREJO, D. A.; SIERRA PINEDA, A. 1995. Evaluación de los combustibles forestales en los bosques del Distrito Federal. *Ciencia Forestal en México* 20(77): 197-218.
- RODRÍGUEZ T., D. A., RODRÍGUEZ A., M., FERNÁNDEZ S., F., PYNE, S. J. 2000. Educación e incendios forestales. Mundi Prensa. México, D. F. 201 p.
- SANDBERG, D. V.; OTTMAR, R. D.; PETERSON, J. L.; CORE, J. 2002. Wildland fire in ecosystems. Effects of fire on air. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42. Vol. 5. Ogden, UT. USDA, FS. Rocky Mountain Research Station. 79 p.
- SEMARNAT. 2000. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2000. Anuario estadístico de la producción forestal 2000. SEMARNAT. México, D. F. 153 p.
- SOSA ECHEVERRÍA, R.; BRAVO ÁLVAREZ, H.; SÁNCHEZ ÁLVAREZ, P.; JAIMES PALOMERA, M. 2004. El impacto en la calidad del aire por incendios forestales. pp. 79-97. *In: Incendios Forestales en México. Métodos de evaluación.* VILLERS RUIZ, L.; LÓPEZ BLANCO, J. (eds.). UNAM, Centro de Ciencias de la Atmósfera.