



Emisiones de gases

de efecto invernadero derivadas de incendios forestales
de 2000-2011 en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey

JOSÉ ISRAEL YERENA YAMALLEL*, JAVIER JIMÉNEZ PÉREZ*, EDUARDO ALANÍS RODRÍGUEZ*, ÓSCAR ALBERTO AGUIRRE CALDERÓN*, MARCO AURELIO GONZÁLEZ TAGLE*, EDUARDO JAVIER TREVIÑO GARZA*

Entre las principales causas de la deforestación en México se encuentran los cambios de uso del suelo para destinarse a actividades como la agropecuaria y el desarrollo urbano y de infraestructura (líneas de transmisión eléctricas, carreteras, plantas hidroeléctricas, entre otros). Adicionalmente, la tala clandestina y los incendios forestales vuelven los predios forestales más susceptibles de sufrir cambio de uso de suelo.¹ Un incendio forestal es el fuego que se extiende sin control sobre un terreno forestal que no estaba destinado a arder.²

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por incendios forestales se han relacionado

con el efecto invernadero y el calentamiento global, aunque la quema de combustibles fósiles es el mayor responsable del incremento de las emisiones a la atmósfera, las emisiones causadas por los incendios forestales suponen también un elemento a tener en cuenta en este proceso, convirtiéndose por ello en uno de los problemas que atrae la atención de la comunidad científica internacional.³⁻⁶

Se estima que los incendios forestales aportan aproximadamente un quinto del total global de emisiones de CO₂.⁷ Las emisiones antropogénicas de

*Universidad Autónoma de Nuevo León, FCF.
Contacto: israel.yerena@gmail.com

gases efecto invernadero y la contaminación del aire ha aumentado dramáticamente durante el último siglo, generando una influencia notoria en el clima de la tierra y el bienestar de su población.⁸

Los inventarios de emisiones de GEI son un paso necesario en la formulación de programas efectivos de mitigación de emisiones para reducir el impacto del cambio climático y en la contaminación ambiental. En general, un inventario de emisiones sirve para identificar fuentes sujetas a posibles medidas de control y para valorar la efectividad de dichas medidas.⁹ Los cobeneficios de reducir emisiones de GEI pueden resultar de una reducción de emisiones de contaminantes de impacto urbano regional, y mejoran la calidad del aire local. Es conveniente considerar estos posibles cobeneficios al evaluar el impacto de las medidas de control de GEI.¹⁰

El objetivo de la presente investigación fue estimar las emisiones de los gases de efecto invernadero producidas por los incendios forestales, del periodo 2000-2011, en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey (PNCM), situado entre las coordenadas geográficas 26°31'00" de latitud Norte y 100°17'20" de longitud Oeste, en el estado de Nuevo León, y es parte territorial de ocho municipios: Allende, García, Montemorelos, Monterrey, Rayones, Santa Catarina, Santiago y San Pedro Garza García, con una superficie total de 177,396.48 hectáreas.



Con el fin de cuantificar las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) producidas por los incendios forestales del periodo 2000-2011, se utilizó la metodología recomendada en las directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.¹¹ De manera especial, la fórmula utilizada fue la siguiente:

$$L_{\text{fuego}} = A \bullet M_B \bullet C_f \bullet G_{\text{ef}} \bullet 10^{-3}$$

donde L_{fuego} es la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero debido a los incendios forestales (Mg de cada GEI); A es la superficie quemada (ha), M_B la masa de combustible disponible (Mg ha⁻¹), C_f el factor de consumo, sin dimensión, y G_{ef} el factor de emisión (g kg⁻¹) de materia seca quemada.

La superficie quemada se obtuvo de la base de datos de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas Región Noreste y Sierra Madre Oriental, en la que se especifica el año, localidad, tipo de ecosistema, la causa del incendio y su tipo.

La masa de combustible disponible incluye biomasa aérea, hojarasca y madera muerta, varía en función del tipo de vegetación, ésta se definió por la bibliografía: matorral submontano (biomasa aérea¹² y hojarasca¹³), bosque de encino-pino (biomasa aérea,¹⁴ madera muerta, hojarasca y renuevos¹⁵) y pastizales¹⁶ (tabla I). El tipo de incendio del que se trate afecta a la cantidad del combustible disponible para combustión. Por ejemplo, el combustible disponible para un incendio superficial en un tipo de vegetación forestal de encino-pino está fundamentalmente restringido por madera muerta y hojarasca en la superficie, mientras que fuegos de copas pueden consumir una parte sustancial de la biomasa arbórea.

En las directrices para los inventarios de gases de efecto invernadero,¹¹ tienen métodos de cálculo con

Tabla I. Biomasa en diferentes tipos de vegetación.

Vegetación	Compartimiento	Biomasa Mg ha ⁻¹
Matorral submontano	Biomasa aérea	44.40
	Hojarasca	7.40
Bosque de encino-pino	Biomasa aérea	132.85
	Madera muerta	0.56
	Hojarasca	19.93
	Renuevos	0.75
Pastizales	Biomasa aérea	0.45

diferentes niveles de complejidad y calidad en los resultados. El empleo de uno u otro método depende de la información y recursos disponibles para esta actividad en el país. Dado que en la mayoría de los países, especialmente en desarrollo, no se dispone de resultados relativos a determinaciones experimentales de las emisiones, ni de los costosos recursos que requieren estas determinaciones, las directrices proporcionan información denominada “por defecto” para facilitar las estimaciones.

Esa información, por defecto, se incluye principalmente para proporcionar a los usuarios un punto de partida para la elaboración de sus propios supuestos y datos a escala nacional o estatal. En dichas directrices, se considera que si no se tienen determinados coeficientes propios del lugar, se utilicen otros “por defecto”, es decir, que faciliten la guía o se tome de otra región con similares condiciones físico-geográficas.

El factor de consumo es una medida de la proporción de combustible realmente quemado. Ésta varía en función del tamaño y disposición de la carga de combustibles, el contenido de humedad y la propagación del fuego (tabla II). El factor de emisión aporta la cantidad para cada gas de efecto invernadero emitido por unidad de material seco quemado, este factor varía en función del contenido de

cada GEI y el grado de combustión (tabla III). Dichos factores se obtuvieron de las directrices para los inventarios de gases de efecto invernadero del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (valores de por defecto).¹¹

Tabla II. Factor de consumo por tipo de vegetación.

Vegetación	Factor de consumo
Matorral submontano	0.72
Bosque de encino-pino	0.45
Pastizales	0.74

Tabla III. Factor de emisión por tipo de gas de efecto invernadero.

Vegetación	Factor de emisión				
	g kg ⁻¹ de materia seca quemada				
	CO ₂	CO	CH ₄	N ₂ O	NO _x
Matorral submontano y pastizales	1613	65	2.3	0.21	3.9
Bosque de encino-pino	1569	107	4.7	0.26	3.0

Cabe mencionar que, en las directrices para los inventarios de gases de efecto invernadero, se considera que no se computen las emisiones de CO₂ en incendios de pastizales, ya que se asume que las emisiones de CO₂ se compensarían con las absorciones de CO₂ producidas por la subsiguiente regeneración de la vegetación dentro del lapso de un año. Además, en algunas circunstancias (como cuando no hay cambio de uso del suelo) recomienda asumir como nulo el compartimento correspondiente a la madera muerta y hojarasca; en nuestro caso, se estimaron las emisiones asociadas a la combustión de ambas fracciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de incendios registrados en el periodo 2000-2011, en el Parque Nacional Cumbres de

Monterrey, fue de 50, afectó 9,085.09 ha, y abarcó cinco municipios: Santiago (70%), Santa Catarina (14%), Montemorelos (8%), Monterrey (6%) y San Pedro (2%). El mayor número de incendios fue en 2006, con doce; pero no estuvo relacionado con la superficie afectada, ya que ésta presentó la mayor afectación en 2011, con sólo dos incendios, y comprendió 4,575 ha (tabla IV).

Tabla IV. Número de incendios y superficies afectadas.

Año	Número de incendios	Superficie afectada (ha)
2000	3	25.00
2001	1	5.00
2002	8	5.19
2003	3	1.02
2004	1	0.02
2005	3	8.50
2006	12	192.50
2007	1	0.01
2008	8	4,249.31
2009	8	23.54
2010	0	0.00
2011	2	4,575.00
Total	50	9,085.09

El 92% de los incendios fue de tipo superficial, el resto fue de copa; éstos fueron propiciados por seis causas: la principal fue la realización de fogatas (42%), seguido por los rayos (26%), la última fue por quema de basura, presentándose en una sola ocasión (tabla V). La mayoría de las causas son propiciadas por el ser humano (74%), lo cual indica la falta de conciencia ambiental de la sociedad, ya que el parque cuenta con numerosos señalamientos que incitan a los pobladores del área, así como a los visitantes, a tener cuidado con la utilización de fuego.

Las emisiones de los gases de efecto invernadero consideradas en el periodo evaluado totalizaron

Tabla V. Frecuencia de las causas de los incendios.

Causa	Frecuencia	Porcentaje
Fogata	21	42
Rayo	13	26
Fumador	6	12
Descarga eléctrica	6	12
Agropecuaria	3	6
Quema de basura	1	2
Total	50	100

296,863.77 ton; los años con mayor emisión de GEI fueron los de mayor superficie afectada, siendo 2008 en el que se generó la mayor cantidad de éstos, con 246,886.07 ton, seguidos por 2011 con 45,481.39

ton, lo cual no se encuentra correlacionado con el número de incendios, ya que en 2006 se presentó el mayor número de éstos, al emitir 3,904.52 ton (tabla VI). El 99.6% de las emisiones estimadas corresponden a compuestos con carbono, que contribuyen al efecto invernadero, con superioridad de CO₂ (95.1%). El gas que más se emitió durante los incendios en todos los años del periodo fue el CO₂, lo cual concuerda con lo referente a la bibliografía especializada en el tema. El total de emisiones de este gas fue de 282,335.71 ton, oscilando sus valores entre 0.04 en 2007, y 234,774.22 ton en 2008. Le continúan las emisiones de CO, con un total de 13,328.93 ton, el gas que menos emitió durante los incendios en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey fue el N₂O, con un total de 39.25 ton durante el periodo (tabla VI).



Las emisiones de CO₂, CO y NO_x para 2003 fueron de 9.14 ton, y representaron 0.6%, con respecto a las 1,568.44 ton reportadas para el estado de Nuevo León para el mismo año producto de los incendios forestales.¹⁷ Las emisiones de CO, CH₄ y N₂O para el periodo estimado son de 13,880.47 toneladas, siendo éstas mayores que las reportadas por quema de caña de azúcar precosecha: estimación nacional para el periodo 1997-2010 en México, de 8,109.51 toneladas.¹⁸

Las emisiones de gases de efecto invernadero por tipo de vegetación fueron mayores en el bosque de encino-pino con 221,943.20, seguidas por el matorral submontano con 74,916.06 y, por último, los pastizales (en este caso no se consideró el CO₂, ya que se asume que este gas se recupera a corto plazo en la siguiente temporada de crecimiento, manteniendo un balance¹⁸) con 4.51 ton (tabla VIII), lo cual está relacionado con la cantidad de biomasa disponible para combustión. En un estudio realizado en la Ciénaga de Zapata, en Cuba, estimaron valores menores a los de este estudio, para el periodo 2001-2010, en dos tipos de vegetación: 1,817.85 en zona de bosques, y 35,218.83 ton en áreas de sabana.¹⁹ Cabe mencionar que los incendios forestales ocurridos en el periodo evaluado no originaron un

cambio de uso de suelo (tierras forestales que permanecen como tales).

Tabla VII. Emisiones de gases de efecto invernadero por tipo de vegetación.

Año	Matorral submontano		Bosque de encino-pino		Pastizales	
	Ha	Emisión de GEI	Ha	Emisión de GEI	Ha	Emisión de GEI
2000	17.00	62.11	4.00	152.57	4.00	0.10
2001	4.00	15.53	1.00	35.90	0.00	0.00
2002	5.19	0.00	0.00	46.58	0.00	0.00
2003	1.02	0.00	0.00	9.15	0.00	0.00
2004	0.02	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00
2005	8.50	0.00	0.00	76.28	0.00	0.00
2006	171.00	922.48	11.00	2,981.79	10.50	0.25
2007	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
2008	3,440.80	63,435.25	635.50	183,446.71	173.01	4.11
2009	21.54	0.00	0.00	193.31	2.00	0.05
2010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2011	3,900.00	10,480.69	675.00	35,000.69	0.00	0.00
Total	7,569.08	74,916.06	1,326.5	221,943.20	189.51	4.51

CONCLUSIONES

El dióxido de carbono (CO₂) es el GEI que más aporta por los incendios forestales, seguido del monóxido de carbono (CO); ambos emiten, pero en menor cantidad, óxidos de nitrógeno (NO_x) y metano (CH₄). Para una menor incertidumbre en las estimaciones de los GEI, se necesitan factores de consumo específicos para el área.

La preservación de los ecosistemas forestales en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey en condiciones óptimas de producción y la existencia de un sistema de prevención y defensa contra incendios forestales es de gran importancia para la optimización del potencial que la vegetación del parque tiene para la reducción de emisiones de los gases de efecto invernadero.

El monitoreo, reporte y verificación de los incendios forestales son clave importante para evitar la degradación forestal; las tecnologías de percepción remota, combinadas con las mediciones en el terreno, desempeñan un método práctico para un monitoreo recurrente.

Tabla VI. Emisiones por gas de efecto invernadero y año.

Año	CO ₂	CO	CH ₄	N ₂ O	NO _x	Total
2000	203.97	9.92	0.38	0.03	0.47	214.77
2001	48.84	2.37	0.09	0.01	0.11	51.43
2002	44.60	1.80	0.06	0.01	0.11	46.58
2003	8.77	0.35	0.01	0.00	0.02	9.15
2004	0.17	0.01	0.00	0.00	0.00	0.18
2005	73.05	2.94	0.10	0.01	0.18	76.28
2006	3,714.88	173.91	6.65	0.51	8.56	3,904.52
2007	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
2008	234,774.22	11,113.52	427.67	32.68	537.98	246,886.07
2009	185.12	7.50	0.27	0.02	0.45	193.36
2010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2011	43,282.05	2,016.60	77.04	5.98	99.71	45481.39
Total	282,335.71	13,328.93	512.29	39.25	647.59	296,863.77

RESUMEN

Se estimaron las emisiones de gases de efecto invernadero, derivadas de incendios forestales en 2000-2011, en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey. El número de incendios registrados fue igual a 50, y afectó 9,085.09 ha. El 92% de los incendios fue de tipo superficial, el resto fue de copa. Las emisiones de los gases de efecto invernadero, en el periodo evaluado, totalizaron 296,863.77 ton. Los años con mayor emisión de GEI fueron los de mayor superficie afectada, siendo 2008 el año en que se generó la mayor cantidad con 246,886.07 ton, seguidos por 2011 con 45,481.39 ton.

Palabras clave: Emisiones de gases de efecto invernadero, Incendios forestales, Parque Nacional Cumbres de Monterrey.

ABSTRACT

We estimated emissions of greenhouse gases from forest fires from 2000-2011 in the "Cumbres de Monterrey" National Park. The number of fires was equal to 50, affecting 9085.09 ha (hectares). 92% of the fires were surface type, the rest were canopy. Emissions of greenhouse gases in the evaluated period totaled 296,863.77 tons. The years with greater GHG emissions were also the years with the most affected surface area, being 2008 the year where it generated the largest amount with 246,886.07 tons, followed by 2011 with 45,481.39 tons.

Keywords: Emissions of greenhouse gases, Forest fires, Cumbres de Monterrey National Park.

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Región Noreste y Sierra Madre Oriental, Par-

que Nacional Cumbres de Monterrey; en especial al MC Sadot Edgardo Ortiz, subdirector del parque, por facilitar la base de datos de incendios forestales.

REFERENCIAS

1. FAO, Departamento Forestal. Evaluación de los recursos forestales mundiales, Informe Nacional México, FRA 2010/132. Roma. 2010. 98 p.
2. Instituto para la Conservación de la Naturaleza, ICONA. Manual de valoración de pérdidas por incendios forestales. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Subdirección General de Protección de la Naturaleza, Sección Incendios Forestales. Madrid, España. 1982. 142 p.
3. Hoelzemann, J.J.; Schultz, M.G.; Brasseur G.P. y Granier, C. Global Wildland Fire Emission Model (GWEM): Evaluating the use of global area burnt satellite data. *Journal of Geophysical Research*. 2004. 109, 18 p.
4. Potter, C. Biomass burning emissions of reactive gases estimated from satellite data analysis and ecosystem modeling for the Brazilian Amazon region. *Journal of Geophysical Research*. 2002. 107, 10 p.
5. Schultz, M.G.; Heil, A.; Hoelzemann, J.J.; Spessa, A.; Thonicke, K.; Goldammer, J.G.; Held, A.C.; Pereira, J.M. and van het Bolscher M. Global wildland fire emissions from 1960 to 2000. *Global Biogeochemical Cycles*. 2008. 22, 17 p.
6. Van der Werf, G.R.; Randerson, J.T.; Collatz, G.J.; Giglio, L.; Kasibhatla, A.F.; Arellano, Jr.; Olsen, S.C. and Kasiskhe, E.S. Continental-Scale Partitioning of Fire Emissions During the 1997 to 2001 El Niño/La Niña Period. *Science*. 2004. 303: 73-76.
7. Sandberg, D.V.; Ottmar, R.; Peterson, J. y Core, J. Wildland fire on ecosystems: effects of fire on air. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 2002. 5, 79 p.
8. IPCC. Climate change 2007: the physical science basis. Summary for policymakers. Contribution of Working Group I to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds. S.

- Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor & H. L. Miller). Cambridge, UK: Cambridge University Press. 2007. Consultado el 12 de septiembre de 2011. <http://www.ipcc.ch>.
9. INE-SEMARNAT. Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones. México, D.F., 2005. 506 p.
 10. Centro de Calidad Ambiental, Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey. Programa de Acción ante el Cambio Climático para el Estado de Nuevo León. 2010. Consultado el 20 de septiembre de 2011. http://www.nl.gob.mx/pics/pages/sustentable_cambio_climatico_base/PACC-NL.
 11. IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). Directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. 2006. Consultado el 12 de septiembre de 2011. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006glspanish/index.html>.
 12. Nívar, J.; Méndez, E.; Graciano, J.; Dale, V. and Parresol, B. Biomass equations for shrub species of Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. *Journal of Arid Environments*. 2004. 59: 657-674.
 13. González-Rodríguez, H.; Domínguez-Gómez, T.G.; Cantú-Silva, I.; Gómez-Meza, M.V.; Ramírez-Lozano, R.G., Pando-Moreno, M. and Fernández, C. J. Litterfall deposition and leaf litter nutrient return in different locations at Northeastern Mexico. *Plant Ecology*. 2011. 212: 1747-1757.
 14. Aguirre-Calderón, O. y Jiménez-Pérez, J. Evaluación del contenido de carbono en bosques del sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 2011. 6:73-8.
 15. Rodríguez, R.; Jiménez, J.; Calderón, A.; Treviño, E. y Razo, R. Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la reserva de la Biosfera el Cielo, Tamaulipas, México. *Ra Ximhai*. 2009. 5:317-327.
 16. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Colegio de Postgraduados, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Gobierno del Estado de Coahuila. Monitoreo de agostaderos y pastizales del estado de Coahuila. 2011. Consultado el 04 de noviembre de 2011. <https://sites.google.com/a/sima-coahuila.com/agostaderos-de-coahuila/home>
 17. Rodríguez, D.; Tchikoué, H. y Santillán, J. Emisiones contaminantes durante la temporada 2003 de incendios en México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 2007. 13:33-39.
 18. Maldonado, V.; de Bernardi, H. y Paz, F. Emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la quema de caña de azúcar precosecha: estimación nacional 1997-2010. *Memorias de III Simposio Internacional del Carbono en México*. 2011. 151-155.
 19. Mejías, E. y Manso, R. Estimación de las emisiones de gases producidos por incendios, detectados por satélite en la Ciénaga de Zapata, Cuba. *Memorias del XIV Simposio Internacional SELPER*. 2010. 9 p.

Recibido: 12 de octubre de 2012

Aceptado: 30 de enero de 2013