

Cambios de uso de suelo y sus efectos sobre la dinámica de GEI en el estado de Durango, México

• Palmira Bueno-Hurtado* •

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, México

*Autor de correspondencia

• Armando López-Santos •

Universidad Autónoma Chapingo, México

• Ignacio Sánchez-Cohen • Miguel Agustín Velásquez-Valle •

• José Luis González-Barrios •

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, México

Resumen

Bueno-Hurtado, P., López-Santos, A., Sánchez-Cohen, I., Velásquez-Valle, M. A., & González-Barrios, J. L. (julio-agosto, 2015). Cambios de uso de suelo y sus efectos sobre la dinámica de GEI en el estado de Durango, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(4), 75-84.

En el mundo se están tomando acciones para evaluar las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) en distintos países. Acorde a lo indicado en el Plan Nacional de Desarrollo en México se han realizado ya varios inventarios nacionales de GEI en distintos sectores. En el presente trabajo se realizó una cuantificación de las emisiones y absorciones de GEI debido al cambio de uso de suelo en el estado de Durango. Se aplicó la metodología del IPCC, mediante el programa *Greenhouse Gas Inventory Software* versión 1.3.1. Se calcularon las emisiones de gases distintos al CO₂ producto de quema. El grupo de vegetación que perdió la mayor cantidad de biomasa y por ende emitió mayor CO₂ fue coníferas, por otro lado, el abandono de tierras agrícolas provocó la captura de CO₂ en mayor medida por la recuperación de matorral xerófilo y latifoliadas. En cuanto a las emisiones de GEI distintas al CO₂ producto de quema, las mayores cantidades se emiten en las zonas donde se encuentran coníferas.

Palabras clave: conversión, bosques, agricultura, quema.

Introducción

Los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) se encuentran en el Artículo 12 del protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones

Abstract

Bueno-Hurtado, P., López-Santos, A., Sánchez-Cohen, I., Velásquez-Valle, M. A., & González-Barrios, J. L. (July-August, 2015). *Land Use Changes and their Effects on GHG Dynamics in the State of Durango*. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 6(4), 75-84.

Actions are being taken worldwide to evaluate greenhouse gas (GHG) emissions in different countries. According to reports by the National Development Plan in Mexico, several national GHG inventories have been performed by different sectors. The present work quantifies the emissions and absorption of GHG resulting from land use changes in the state of Durango. The IPCC method was applied using the *Greenhouse Gas Inventory Software*, version 1.3.1. Emissions of gases other than CO₂ produced by burning were calculated. Coniferous vegetation lost the largest amount of biomass and therefore emitted the most CO₂, while abandoned agricultural land resulted in a capture of CO₂, mostly from the recuperation of xeric shrubs and hardwoods. Most of the GHG emissions (other than CO₂ produced by burning) were emitted in regions containing coniferous vegetation.

Keywords: Conversion, forest, agriculture, burning.

Recibido: 14/05/2014

Aceptado: 09/04/2015

Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), cuyo objetivo es asistir a los países no Anexo I, que en esencia son países en desarrollo. Los proyectos de MDL son más de 7 450, de los cuales 53 se refieren a proyectos de forestación y refo-

restación, que son pocos si se comparan con los de agricultura (219), manejo de residuos (944) o emisiones derivadas de combustibles fósiles (236) (UNFCCC, 2014). Los MDL se enfocan en reducir las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), lo que implica en primera instancia, realizar una cuantificación de gases emitidos hacia la atmósfera, por lo que el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (PICC), genera metodologías; una de estas metodologías es la que se expone en las Directrices del IPCC para los inventarios de GEI, versión revisada en 1996. Estas Directrices del IPCC exponen la realización de inventarios de GEI en 5 Módulos, uno de los cuales es el Cambio de uso de suelo y silvicultura.

Los cambios de uso del suelo y en particular la deforestación, contribuyen en la emisión de GEI (Mas y Flamenco-Sandoval, 2011), que se refleja en el sector cambio de uso de suelo y silvicultura al emitir alrededor de 1.6 Gt de carbono (C) anualmente (CGE, 2005). Cabe resaltar, que las actividades de cambios de uso de suelo no solo originan emisiones sino también secuestro (Rootzén et al., 2010). Además de CO₂, el cambio de uso de suelo también implica liberación de metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO) (EPA, 2010; Manso, 2003; PNUMA, 2005).

En México, la Ley General de Cambio Climático (2012) establece la integración y actualización de inventarios de GEI, tanto a nivel nacional como estatal, esto para las distintas categorías emisoras, dentro de las que se encuentra la categoría de bosques y usos de suelo. Es por esto, que el objetivo del presente estudio es realizar un inventario de la emisión y captura de GEI debido a los cambios de uso de suelo, mediante la metodología del IPCC en el estado de Durango.

Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó para el estado de Durango, que se encuentra ubicado entre los paralelos 22° 19' y 26° 48' de latitud norte y entre los meridianos 107° 11' y 102° 28' de longitud

oeste. Se utilizó el programa *Greenhouse Gas Inventory Software* versión 1.3.1; la metodología de cálculo fue la propuesta en las Directrices del IPCC para los inventarios de gases efecto invernadero, versión revisada en 1996 (IPCC, 1996).

Se consideró que el cambio de uso de suelo emite y captura GEI, la emisión se produce a partir del cambio de bosques y selvas hacia tierras de cultivo y pastizal inducido, y la captura a partir de tierras de cultivo abandonadas con regeneración de vegetación leñosa.

Para calcular la superficie de las existencias de vegetación, se procesaron las cartas de INEGI de Uso de Suelo y Vegetación (USyV) serie IV (2007), serie III (2002), serie II (1993) y serie I (1985) escala 1:250000 con el programa *ArcMap* 9.3.

Para el cálculo se utilizaron algunos valores por defecto que se muestran en el Cuadro 1, obtenidos del INEGI, 2006 y de la guía de las buenas prácticas del IPCC (SEMARNAT e INE, 2006; GPG-LULUCF, 2003).

La metodología del IPCC calcula la dinámica de GEI como se describe a continuación:

CO₂ liberado por conversión de tierras forestal a otros usos

Estimación de la pérdida de biomasa:

$$PB = SC * (BAC - BDC)$$

Donde *PB* = pérdida anual de biomasa (kt ms); *SC* = superficie convertida anualmente (kha); *BAC* = biomasa antes de la conversión (t ms ha⁻¹); *BDC* = biomasa después de la conversión (t ms ha⁻¹).

Estimación del carbono liberado por la quema de biomasa aérea *in situ*:

$$\Delta CI = ((PB * FQI) * FOI) * CF$$

Donde ΔCI = cantidad de carbono liberado de la biomasa quemada *in situ* (kt C); *PB* = pérdida anual de biomasa (kt ms); *FQI* = fracción de biomasa quemada *in situ*; *FOI* = fracción

Cuadro 1. Valores por defecto tomados del IPCC (GPG-LULUCF, 2003) e Inventario Nacional de GEI (Semarnat & INE, 2006).

Valor por defecto	Grupo de vegetación	
Biomasa antes de la conversión		t ms* ha
	Coníferas	93
	Latifoliadas	61.6
	Selva subcaducifolia	104.1
	Selva baja	37.31
	Matorral xerófilo	37
Biomasa después de la conversión		t ms ha
	Coníferas	28.2
	Latifoliadas	28.0
	Selva subcaducifolia	32.4
	Selva baja	23.3
	Matorral xerófilo	17.2
		Adimensional
Fracción de la biomasa quemada en el sitio	Todos	0.5
Fracción de biomasa oxidada en el sitio	Todos	0.9
Fracción de carbono quemada debajo del suelo	Todos	0.5
Fracción de la biomasa quemada fuera del sitio	Todos	0.5
Fracción de biomasa oxidada fuera del sitio	Todos	0.9
Fracción de carbono de la biomasa por debajo del suelo	Todos	0.5

*Materia seca.

de biomasa oxidada *in situ*; CF = fracción de carbono de la biomasa aérea.

Estimación del carbono liberado por la quema de la biomasa aérea fuera del bosque:

$$BQF = PB * fbq$$

Donde BQF = cantidad de biomasa quemada fuera del bosque (kt ms); PB = pérdida anual de biomasa (kt ms); fbq = fracción de biomasa quemada fuera del bosque.

Carbono liberado debido a la quema fuera del bosque:

$$\Delta CF = (BQF * fbo) + CF$$

Donde ΔCF = cantidad de carbono liberado de la biomasa quemada fuera del bosque (kt C); BQF = cantidad de biomasa quemada fuera del bosque (kt ms); fbo = fracción de biomasa oxidada fuera del bosque; CF = fracción de carbono

de la biomasa aérea quemada fuera del bosque.

Estimación del carbono total liberado por la combustión de la biomasa aérea *in situ* y fuera del bosque:

$$\Delta CIF = \Delta CI + \Delta CF$$

Donde ΔCIF = carbono total liberado de la quema *in situ* y fuera del bosque (kt C); ΔCI = cantidad de carbono liberado por quema *in situ* (kt C); ΔCF = cantidad de carbono liberado de la biomasa quemada fuera del bosque (kt C).

Estimación del CO_2 liberado por la descomposición de la biomasa aérea:

$$\Delta CD = ((SM * (BAC - BDC)) * FAD) * CF$$

Donde ΔCD = carbono liberado de la biomasa aérea por descomposición (kt C); SM = superficie media convertida (promedio de 10 años)

(kha); BAC = biomasa antes de la conversión ($t\ ms\ ha^{-1}$); BDC = biomasa después de la conversión ($t\ ms\ ha^{-1}$); FAD = fracción abandonada que se descompone; CF = fracción de carbono de la biomasa aérea.

Estimación del total de emisiones de CO_2 procedentes de la conversión de bosques y praderas:

$$\Delta CTC = (\Delta CIF + \Delta CD) * (44 / 12)$$

Donde ΔCTC = total anual de CO_2 liberado por causa de conversión de bosques y praderas ($Gg\ de\ CO_2$); ΔCIF = carbono liberado por quema *in situ* y fuera del bosque ($kt\ C$); ΔCD = carbono liberado de la biomasa aérea por descomposición ($kt\ C$); $44/12$ es la relación entre el peso molecular del CO_2 y el C .

CO_2 capturado por conversión debido al abandono de tierras agrícolas

Las tasas de regeneración disminuyen con el tiempo, es por eso que se consideran los periodos de los 20 años anteriores al del inventario y de 20 a 100 años atrás.

Cálculo de la absorción anual de carbono en la biomasa aérea (tierras abandonadas en los últimos veinte años):

$$\nabla BA = (SA * TC) * CF$$

Donde ∇BA = absorción anual de carbono en la biomasa aérea ($kt\ C$); SA = superficie total abandonada y en etapa de regeneración en los últimos 20 años ($k\ ha$); TC = tasa anual de crecimiento de la biomasa aérea ($t\ ms\ ha^{-1}$); CF = fracción de carbono de la biomasa aérea.

Para realizar el cálculo de la superficie abandonada en los últimos 20 años, se compararon las superficies de vegetación de las cartas de Uso de Suelo y Vegetación series II y IV de INEGI; la tasa anual de crecimiento de la biomasa por regeneración natural se obtuvo del INEGI (2010) (Semarnat & INE, 2009) y se muestra en el cuadro 1.

Cálculo de la absorción anual de carbono de la biomasa aérea (tierras abandonadas durante más de veinte años):

$$\nabla BA_{>20} = (SA_{>20} * TC) * CF$$

Donde $\nabla BA_{>20}$ = absorción anual de carbono en la biomasa aérea en tierras con más de 20 años de abandono ($kt\ C$); $SA_{>20}$ = superficie total abandonada y en etapa de regeneración durante más de 20 años ($k\ ha$); TC = tasa anual de crecimiento de la biomasa aérea ($t\ ms\ ha^{-1}$); CF = fracción de carbono de la biomasa aérea.

Para el caso de las tierras abandonadas en más de 20 años se tomó como referencia las superficies de vegetación de las cartas de Uso de Suelo y Vegetación series I y IV del INEGI. La tasa anual de crecimiento se muestra en el cuadro 1.

Cálculo del total de las remociones de CO_2 en las tierras abandonadas.

Solo se suman los resultados obtenidos de las formulas anteriores, tal como lo indica la fórmula siguiente:

$$\nabla VCTA = \nabla BA + \nabla BA_{>20}$$

Donde $\nabla VCTA$ = absorción total de carbono de las tierras abandonadas ($kt\ C$); ∇BA = absorción anual de carbono de la biomasa aérea en los primeros 20 años ($kt\ C$); $\nabla BA_{>20}$ = absorción anual de carbono de la biomasa aérea durante más de 20 años ($kt\ C$).

Gases distintos al CO_2 liberados por quema

Estimación de nitrógeno liberado:

$$\Delta N = \Delta CIF * N:C$$

Donde ΔN = total de nitrógeno liberado ($kt\ N$); ΔCIF = carbono total liberado de la quema *in situ* y fuera del bosque ($kt\ C$); $N:C$ = relación nitrógeno-carbono. La relación $N:C$ es de 0.01 de

acuerdo con el valor por defecto propuesto en el libro de trabajo del IPCC (IPCC, 1996).

Estimación de las emisiones de gases distintos del CO₂:

$$\Delta GD = \Delta CIF * RE$$

Donde: ΔGD = emisiones de gases distintos de CO₂ (Kt C); ΔCIF = carbono liberado de la quema *in situ* y fuera del bosque (kt C); RE = relaciones de emisión de gases distintos del CO₂.

Las relaciones de emisión se obtuvieron del libro de trabajo (IPCC, 1996) y son de 0.012 para CH₄, 0.06 para CO, 0.007 para N₂O y de 0.121 para NO_x.

Finalmente, para calcular las emisiones distintas del CO₂, se realiza una conversión de acuerdo a las distintas relaciones de conversión que tiene cada tipo de gas.

$$\Delta Q = \Delta GD * RC$$

Donde ΔQ = emisiones de la quema bosques (Gg CH₄, Gg CO, Gg N₂O, NO_x); ΔGD = emisiones de gases distintos de CO₂ (Kt C); RC = relación de conversión; CO (28/12), CH₄ (16/12) N₂O (44/28), NO_x (46/12).

Análisis de incertidumbre

El porcentaje de incertidumbre se calculó con las siguientes ecuaciones, la primera se aplicó a las cantidades inciertas que se combinaron por multiplicación y la segunda cuando las cantidades inciertas se combinaron por adición y sin correlacionarse:

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$$

Donde U_{total} = incertidumbre porcentual en el producto de las cantidades (la mitad del intervalo de confianza de 95% dividida entre el total); U_i = incertidumbres porcentuales asociadas con cada una de las cantidades:

$$U_{total} = \frac{\sqrt{(U_1 \cdot x_1)^2 + (U_2 \cdot x_2)^2 + \dots + (U_n \cdot x_n)^2}}{x_1 + x_2 + \dots + x_n}$$

Donde U_{total} = incertidumbre porcentual en la suma de las cantidades (la mitad del intervalo de confianza del 95% dividido entre el total); X_i = cantidades inciertas, y U_i = incertidumbres porcentuales asociadas con ellas.

Debe señalarse que las incertidumbres de los valores por defecto les corresponde una incertidumbre que se cita en las guías de buenas prácticas del IPCC (GPG-LULUCF, 2003), en cuanto a las incertidumbres de los datos en los que se tomó como referencia el nivel nacional, estas se obtuvieron del Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero (Semarnat & INE, 2006). Respecto a la incertidumbre del cálculo de las superficies de uso de suelo, se obtuvo con la ecuación siguiente:

$$\% \text{ de incertidumbre} = \frac{1}{2} \frac{(4\sigma)}{\mu} (100)$$

Donde σ = desviación estándar; μ = media de la distribución.

Resultados y discusión

CO₂ liberado por conversión de tierras forestal a otros usos

La superficie con vegetación leñosa y que cambió a un uso agrícola en el estado de Durango se muestra en la figura 1, lo cual equivale a una pérdida anual de biomasa de 8 292.52 kt de materia seca (ms), de este total, 4 146.25 kt ms se quema y 3 731.65 kt ms se oxida *in situ*. El grupo de vegetación en la que se presentó mayor pérdida de biomasa fue coníferas, en contraparte selva subcaducifolia perdió la menor cantidad de biomasa (cuadro 2).

Las pérdidas de biomasa mencionadas en el párrafo anterior, significan una liberación total de carbono producto de la descomposición de 2 067.7 kt C (7 581.52 Gg de CO₂) y 3 731.65 kt C (13 682.67 Gg de CO₂) por concepto de quema (figura 2).

Al respecto, en el país se emiten 52 180 Gg de CO₂ y 62 321 Gg CO₂ por combustión

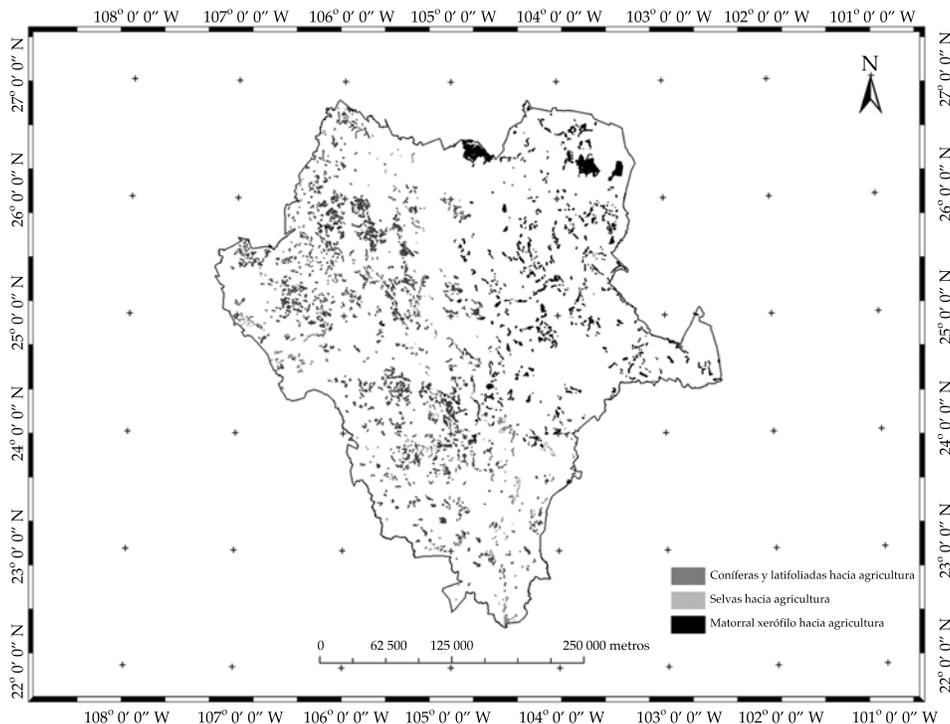


Figura 1. Pérdidas de vegetación de 1993 al 2007.

Cuadro 2. Carbono liberado por la quema de biomasa en el sitio y fuera de bosque.

Vegetación de 2002	PAB (kt ms)	BQS (kt ms)	BOS (kt ms)
Coníferas	6 623.79	3 311.90	2 980.71
Latifoliadas	366.37	183.19	164.87
Selva baja	103.08	51.54	46.39
Selva subcaducifolia	60.90	30.45	27.41
Matorral xerófilo	1 138.38	569.19	512.27
Total, Durango	8 292.52	4 146.25	3 731.65

PAB Pérdida anual de biomasa; BQS Biomasa quemada en el sitio; BOS Biomasa oxidada en el sitio.

y descomposición de biomasa (Semarnat & INE, 2009); es decir, que el estado de Durango contribuye en un 26.22% con emisiones producidas por quema y con 12.16% debido a la descomposición. Al respecto, el estado de Sinaloa, emite 664.47 Gg de CO₂ por quema y 1 993.38 Gg de CO₂ por descomposición (IEGEIE-Sinaloa, 2005), esto es, 4.85% y 26.29%, de las emisiones de Durango. Otro estado con resultados sobre emisiones de CO₂ por cambio de uso de suelo es Chiapas, que presenta

emisiones de 2 133 Gg, producto del cambio de tierras agrícolas y praderas a uso forestal (IEGEIC, 2011), que significan un 10% de total de emisiones de Durango.

Se debe tener en cuenta que en las comparaciones del párrafo anterior, los estados cuentan con distintas proporciones de vegetación; en Durango, 31% del territorio estatal, está constituido por bosques de coníferas y encinos, en Sinaloa dominan las selvas secas y en Chiapas predominan las selvas húmedas (INEGI, 2014).

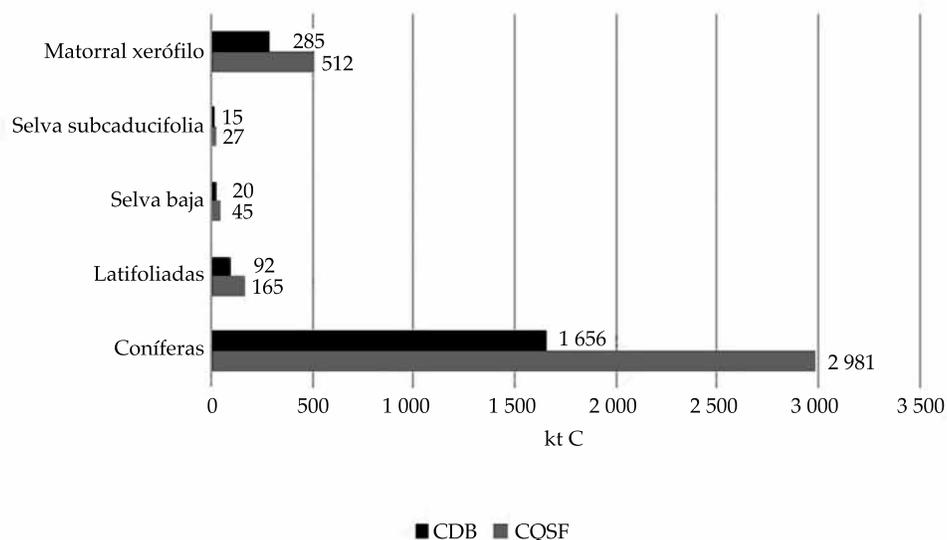


Figura 2. Carbono liberado por quema dentro y fuera del bosque (CQSF); carbono liberado por descomposición de la biomasa sobre el suelo (CDB).

Gases distintos al CO₂ liberados por quema

Por concepto de quema de biomasa, los gases distintos al CO₂ liberados fueron de 261.21 Gg de CO, 0.21 Gg de N₂O, 7.42 Gg de NO_x y 29.85 Gg de CH₄ (figura 3). Al comparar estos resultados, el estado de Sinaloa emite 10% de CH₄, 10% de CO, 9.52% de N₂O y 10.24% de NO_x de los totales emitidos por Durango (IEGEI-Sinaloa, 2005). El estado de Guanajuato emite 2.88% de CH₄, 2.87% de CO, 4.76% de N₂O y 2.83% de NO_x de los totales emitidos por el estado de Durango (IEGEI-Guanajuato). Lo anterior se debe a que aparentemente existe mayor quema en Durango que en los otros dos estados.

CO₂ capturado por conversión debido al abandono de tierras agrícolas

Los grupos de vegetación en regeneración debido a superficies abandonadas a partir del año 1985 fueron matorral xerófilo con 324.44 kha y latifoliadas con 85.57 kha, mientras que a partir de 1993, fueron latifoliadas con 117.76 kha seguido de matorral xerófilo con 70.95 kha (cuadro 3).

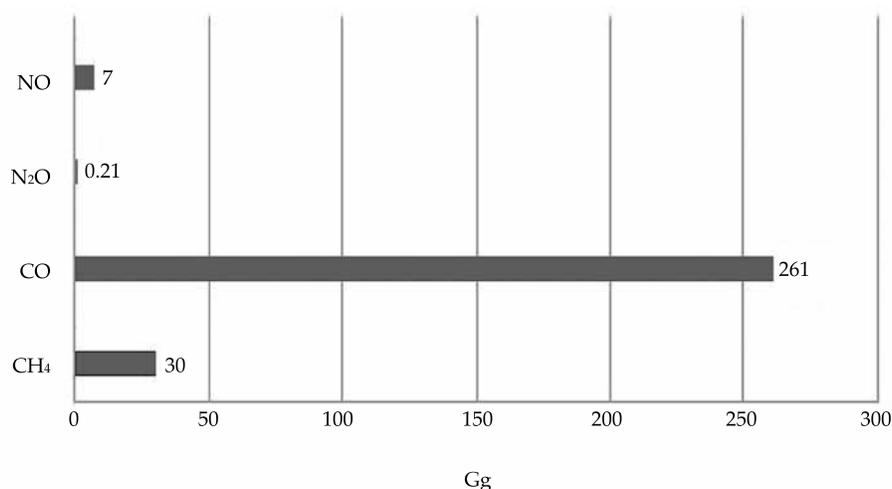
El total de absorción de CO₂ para Durango fue de 872.06 Gg de CO₂, estas absorciones son 52% menores en el estado de Chiapas y del orden del 200% y 300% más en Guanajuato y Sinaloa, respectivamente (IEGEIC, 2011; IEGEI-Guanajuato, 2005; IEGEIE-Sinaloa, 2005).

Resumen de dinámica de CO₂

Por concepto de cambio de uso de suelo forestal y agrícola, se capturan anualmente en el estado de Durango 872.06 Gg de CO₂ y se liberan hacia la atmósfera 21 264.2 Gg de CO₂ (figura 4). La incertidumbre asociada a los resultados de abandono de tierras agrícolas y de conversión de tierras forestales de fueron de 20.57% y 36.94%, respectivamente.

Conclusiones

Se realizó una estimación de la emisión y captura de GEI debido al cambio de uso de suelo forestal y agrícola en el estado de Durango. El grupo de vegetación que perdió la mayor cantidad de biomasa y por ende emitió la mayor cantidad de CO₂ fue el de coníferas seguido

Figura 3. Emisiones de gases distintos al CO₂ producto de quema en el estado de Durango.

Cuadro 3. Conversión de áreas agrícolas y pastizales de los años 1985 y 1993 (pérdidas) a grupos de vegetación en 2007 (ganancias).

Grupo de vegetación	AAM (kha)	CAC* (kt C)	AAP (kha)	CAC' (kt C)
Coníferas	14.83	9.63	42.45	27.59
Latifoliadas	85.57	55.62	117.76	76.54
Selva subcaducifolia	16.72	2.17	5.18	2.85
Selva baja	53.49	6.95	9.2	5.06
Matorral xerófilo	324.44	42.17	70.95	9.22
Carbono total (kha)				237.83
CO ₂ total capturado (Gg)				872.06

*Para más de 20 años; • para los primeros 20 años; AAM área abandonada por más de 20 años; AAP área abandonada en los primeros 20 años; CAC captura anual de carbono.

de matorral xerófilo, latifoliadas, selva baja y selva subcaducifolia. Las mayores cantidades emitidas de CO₂ son por el concepto de quema y las menores por la descomposición de la biomasa. Por otro lado, el abandono de tierras agrícolas provoca en mayor medida la captura de CO₂ por la recuperación de matorral xerófilo y latifoliadas. En cuanto a las emisiones de GEI distintas al CO₂ producto de quema, las mayores cantidades se emiten en las zonas donde se encuentran coníferas.

Referencias

- CGE (2005). *Handbook on Land-Use Change and Forestry Sector* (600 pp.). Consultative Group of Experts on National Communications from Parties not included in Annex I to the Convention. United Nations Framework Convention on Climate Change.
- EPA (2010). Methane and Nitrous Oxide Emissions from Natural Source [on line]. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency. Office of Atmospheric Programs. Citado el 1 de septiembre de 2011. Recuperado de World Wide Web: <http://www.epa.gov/outreach/>

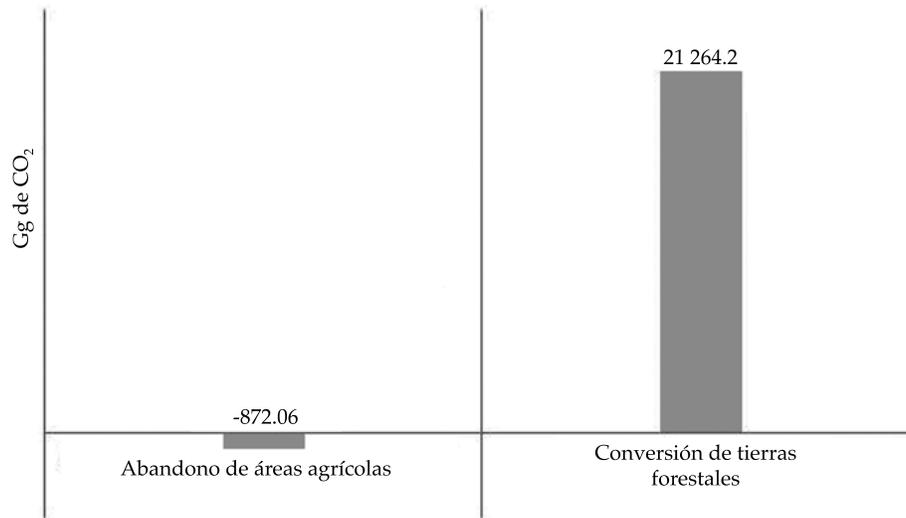


Figura 4. CO₂ liberado y capturado en el estado de Durango.

- pdfs/Methane-and-Nitrous-Oxide-Emissions-From-Natural-Sources.pdf.
- GPG-LULUCF (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry* (600 pp.). Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IEGEI (2005). *Guanajuato. Inventario Estatal de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Guanajuato*. Guanajuato.
- IEGEIC (2011). *Inventario Estatal de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Chiapas. Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas* (72 pp.). México, DF: Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, El Colegio de la Frontera Sur, Colegio de Posgraduado, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Medio Ambiente Vivienda e Historia Natural, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Conservation International Mexico A.C.
- IEGEIE (2005). *Sinaloa. Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Sinaloa* (196 pp.). Culiacán, México: Instituto Nacional de Ecología, Universidad Autónoma de Sinaloa, Dirección General de Educación en Ciencia y Tecnología del Mar, Universidad Politécnica de Sinaloa.
- INEGI (2011). *Flora y fauna de Durango*. Citado el 3 de mayo 2011. Recuperado de http://cuentame.inegi.gob.mx/monografias/informacion/dur/territorio/recursos_naturales.aspx?tema=me&te=10.
- INEGI (2014). *Información por entidad*. Citado el 15 de mayo 2014. Recuperado de <http://cuentame.inegi.gob.mx/monografias/informacion/dur/>.
- IPCC (1996). *Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: Libro de trabajo*. Panel Intergubernamental de Cambio Climático.
- Kaul, M., Dadhwal, V. K., & Mohren, G. M. J. (2009). Land Use Change and Net C flux in Indian Forests. *Forest Ecology and Management*, 258, 100-108.
- Mas, J. F., & Flamenco-Sandoval, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. *GeoTrópico*, 5(1), 1-24.
- Manso, J. R. (2003). Emisiones de gases y partículas producto de los incendios forestales en Cuba entre 1989 y 1999. Sitio Argentino de Producción Animal. Citado el 1 de mayo de 2011. Recuperado de http://www.produccion-animal.com.ar/incendios_y_uso_del_fuego/41-gases.pdf.
- PNUMA (2005). *Emisiones de dioxinas y furanos por quema incontrolada de biomasa* (42 pp.). Ginebra: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals.
- Rootzén, J. M., Berndes, G., Ravindranath, N. H., Somashekar, H. I., Murthy, I. K., Sudha, P., & Ostwald, M. (2010). Carbon Sequestration versus Bioenergy: A Case Study from South India Exploring the Relative Land-Use Efficiency of Two Options for Climate Change Mitigation. *Biomass and Bioenergy*, 34, 116-123.
- Semarnat-INE (2006). *México Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (254 pp.). México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.

Semarnat-INE (2009). *Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (274 pp.). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, DF: Instituto Nacional de Ecología.

Semarnat (2009). *Cambios en el uso del suelo en México*. Citado el 1 de septiembre de 2011. Recuperado de http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/resumen_2009/02_ecosistemas/cap2_2.html.

UNFCCC (2014). *Clean Development Mechanism (CDM)*. Citado el 1 de septiembre de 2014. CDM Project Search. Recuperado de <http://cdm.unfccc.int/>.

Dirección institucional de los autores

M.C. Palmira Bueno Hurtado

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias
Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera
Km 6.5 margen derecha Canal Sacramento
Gómez Palacio, Durango, México
bueno.palmira@inifap.gob.mx

Dr. Armando López Santos

Universidad Autónoma Chapingo
Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas
25330 Bermejillo, Durango, México
armando.lopezsantos@gmail.com

Dr. Ignacio Sánchez Cohen

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias
Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera
Km 6.5 margen derecha Canal Sacramento
Gómez Palacio, Durango, México
sanchez.ignacio@inifap.gob.mx

Dr. Miguel Agustín Velásquez Valle

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias
Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera
Km 6.5 margen derecha Canal Sacramento
Gómez Palacio, Durango, México
velasquez.agustin@inifap.gob.mx

Dr. José Luis González Barrios

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias
Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera
Km 6.5 margen derecha Canal Sacramento
Gómez Palacio, Durango, México
gonzalez.barrios@inifap.gob.mx