

Modelo de emisión - captura de gases de efecto invernadero en el Estado de México

Ma. Eugenia Valdez¹, María Estela Orozco², Lorena Romero-Salazar³, Carlos Aguilar³
Centro Universitario Tenancingo¹, Facultad de Planeación Urbana y Regional², Facultad de Ciencias³
Universidad Autónoma del Estado de México
Tenancingo, Méx.¹; Toluca, Méx.^{2,3}; México
[mevaldezp¹, lors³, cjauguilero⁴]@uaemex.mx; eorozcoh61@hotmail.com²

Abstract— This model applied time series of land use in the State of Mexico, the content of carbon in forest biomass was estimated using allometric equations over 127 sampling points of the National Forest Inventory; the emission of methane and nitrous oxide was calculated from the enteric fermentation and agricultural waste, according to the guidelines of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Using data from 1983-2012, a prospective scenario for CO₂e 2020, both content and emission was obtained. These results showed that if we keep on apply a linear trend, the State would have a reserve of 45725 CO₂e in forest biomass and an emission of 527 CO₂e, implying a positive balance of 45198 in CO₂e.

Keyword— *spatial model, greenhouse gases, emission and capture, State of Mexico*

Resumen— Este modelo utilizó una serie cronológica de usos de suelo en el Estado de México, se estimó el contenido de carbono en biomasa forestal aplicando ecuaciones alométricas sobre 127 puntos de muestreo del Inventario Nacional Forestal y se calculó la emisión de metano y óxido nitroso procedente de la fermentación entérica y residuos agrícolas, atendiendo las directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Con datos de 1983 a 2012, se obtuvo un escenario prospectivo a 2020 de CO₂e, tanto de contenido como de emisión. Los resultados mostraron que siguiendo una tendencia lineal, la entidad tendría una reserva de 45725 CO₂e en biomasa forestal y una emisión de 527 CO₂e, lo que implicó un balance positivo de 45198 en CO₂e.

Palabras claves— *modelo prospectivo, gases de efecto invernadero, emisión y captura, Estado de México.*

I. INTRODUCCIÓN

En México las estimaciones de gases de efecto invernadero (GEI) se calculan para fines del inventario nacional, otros estudios, a nivel local, realizan muestreo destructivo para calcular los contenidos de biomasa en un predio y para una especie forestal determinada. De acuerdo a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [1], cada entidad federativa debe desarrollar las metodologías para determinar las emisiones GEI y la elaboración de sus programas estatales y municipales de acción climática.

Estos informes nacionales se realizan con un nivel aceptable de incertidumbre, pero se reconoce que aún faltan estudios que reflejen la dinámica espacial, que permitan reconocer los patrones territoriales a escala estatal. Cuando se conocen dichos patrones, es posible comprender los mecanismos y procesos que los regulan, así como las interacciones y los aspectos clave de los cambios en ese territorio.

Para comprender mejor estos patrones, se recurre a modelos que en ocasiones requieren esfuerzos interdisciplinarios y métodos matemáticos no triviales para estructurarlos; por ello es destacable el equipo interdisciplinario que colaboró en esta investigación. Este trabajo apoya en el entendimiento del territorio, proponiendo un modelo que muestra la dinámica espacial, específicamente del Estado de México.

El objetivo de este trabajo fue elaborar un modelo de emisión-captura de GEI (CO₂, CH₄ y N₂O), a partir de la evaluación del cambio de uso de suelo en el Estado de México en el periodo 1983-2012. Para cumplirlo, se analizó espacial y temporalmente el cambio de uso del suelo en este periodo a través de la

carta de uso de suelo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Con puntos de muestreo del Inventario Nacional Forestal (INF) se calculó el contenido de carbono en biomasa forestal en bosques y selvas; también se calcularon y se representaron espacialmente las emisiones de metano y óxido nítrico procedentes de fermentación entérica, manejo del estiércol y residuos agrícolas. Con los datos obtenidos en las estimaciones, se realizó un balance de gases de efecto invernadero en el Estado de México como lo indica Héctor Messa [2].

II. MATERIAL Y MÉTODOS

En general el trabajo se llevó a cabo en tres etapas, la primera fue el análisis de uso de suelo, a partir de la carta de uso de suelo en cuatro series de datos del INEGI; en la segunda, se determinó el contenido de carbono en biomasa forestal y se calculó la emisión de metano y óxido nítrico derivadas de la fermentación entérica, manejo de estiércol y quema de residuos agrícolas; la tercera fue la modelación de la dinámica a partir de uso de suelo, contenido de carbono y emisiones de GEI, y se concluyó en un modelo prospectivo a 2020. La figura 1 muestra el esquema metodológico.

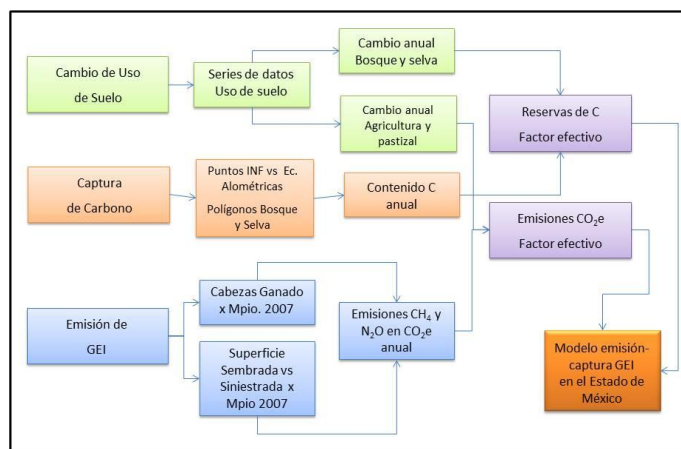


Fig. 1. Esquema metodológico

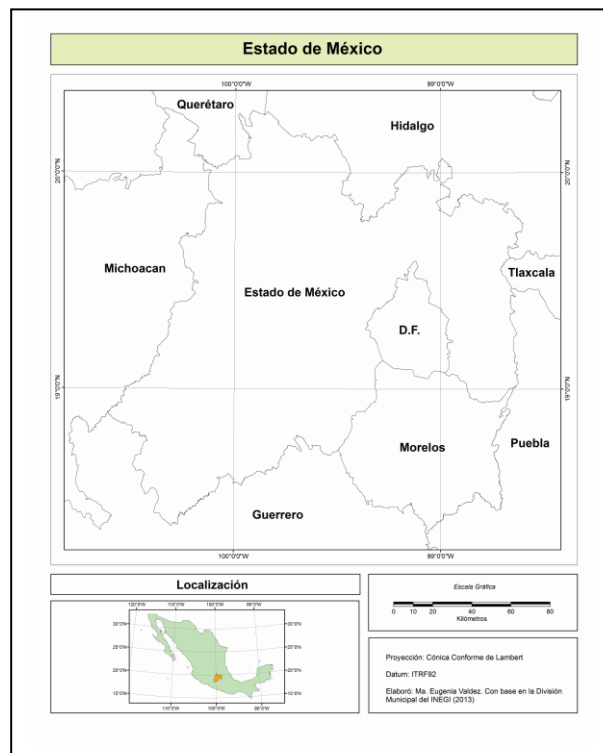
Las estimaciones se realizaron para 2007, en este año coinciden las fuentes de los datos empleados en la modelación espacial. Se utilizó la información del VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007 del INEGI [3], el Inventario Nacional Forestal, realizado entre 2007 y 2010 por la Comisión Nacional Forestal [4], las cartas de uso del suelo, serie IV escala 1:250,000 del INEGI [5] y los datos de actividad estatal del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON) a 2012.

Las estimaciones tanto de los sumideros como de las emisiones a nivel de municipio se calcularon en tablas de Excel aplicando los valores por defecto del Panel Intergubernamental de Cambio Climático; la modelación espacial se desarrolló en ambiente de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el software ArcGIS versión 9.2. Las emisiones de GEI para el sector agropecuario, fueron convertidos a emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂e), utilizando los potenciales de calentamiento global a 100 años, 21 para metano y 310 para óxido nítrico; para convertir a CO₂e, el contenido de carbono se multiplicó por el peso molecular entre el peso atómico del carbono (44/12), establecidos por el Instituto Nacional de Ecología para el inventario 2009 [6].

A. Área de estudio

El Estado de México, se localiza en la parte sur de la altiplanicie meridional de la República Mexicana, entre los paralelos 18°22' y 20°17' de latitud norte y los meridianos 98°36' y 100°37' de

longitud oeste, ver figura 2. Tiene una superficie de 22,333 km² que representa el 1.1% del total nacional de acuerdo al INEGI [7]. Cuenta con importantes recursos forestales constituidos por bosque de coníferas, bosque de latifoliadas, bosque mixto y bosque mesófilo de montaña de acuerdo con Noel Pineda, Joaquín Bosque, Montserrat Gómez y Wenceslao Plata [8]. Es el estado más poblado del país con 15,175,862 habitantes según lo refiere el INEGI [7]. En el Estado, el crecimiento poblacional y el avance de la frontera agrícola son dos de los factores que más han impactado en el cambio de uso de suelo. En los últimos años la agricultura y la producción pecuaria contribuyen ampliamente a las emisiones de GEI, por lo que se han encaminado esfuerzos para reducir las emisiones y proteger el sistema climático mundial, optando por sistemas de producción agropecuaria sustentables, mencionado por Jorge Bonilla y Clemente Lemus [9].



B. Contenido de carbono en biomasa forestal

Para calcular el contenido de carbono en biomasa forestal en bosques y selvas, se utilizó la carta de uso de suelo y los datos del Inventario Nacional Forestal, con 217 puntos distribuidos en todo el Estado. Se aplicaron ecuaciones alométricas propuestas por Miguel Acosta, Fernando Carrillo y Maricarmen Díaz [10]; Rosalino Díaz, Miguel Acosta, Fernando Carrillo, Enrique Buendía, Eulogio Flores y Jorge Etchevers [11]; José Riofrio [12]; Omar Maser, Ben de Jong e Inés Ricalde [13] específicas para obtener la biomasa por árbol, y con ello obtener los contenidos de carbono para los bosques y selvas del Estado, ver Tabla I.

Tabla I. Ecuaciones alométricas para cálculo de biomasa y % de carbono

Cálculo de biomasa (B) (kg/árbol)	Especie	Coefficiente de determinación	Factor para cálculo de C
$0.1033 * DN^{2.39}$	<i>Quercus</i> sp	0,99	54.00 %
$0,0357 * DN^{2.6916}$	<i>Pinus patula</i>	0,98	50.31 %
$0.0754 * DN^{2.513}$	<i>Abies religiosa</i>	0,98	46.48 %
$10^{[-0.535 + 0.966 \log_{10} (BA)]}$	Z. climática seca (México)	0,94	50.00 %

Con los 217 puntos, corrió un clúster con las variables volumen (m³) y biomasa aérea (kg/árbol), para agrupar cada especie forestal. Se consideraron tres grupos en cada una de las especies, el grupo 1 comprende los puntos de menor volumen y en el grupo 3 los puntos de mayor volumen. Para incorporar este valor a cada rodal, se tomó en cuenta el desarrollo de la vegetación de acuerdo a la base de datos del INEGI, por ejemplo al bosque primario se le asignó el valor más alto de carbono, al bosque secundario, dependiendo de la fase en que se encuentra la vegetación (arbórea, arbustiva o herbácea) se le vinculó el valor que corresponde a los grupos con volumen menor.

Tomando en cuenta que la superficie de muestreo del Inventario Nacional Forestal (INF) fue de 400 m² y que en cada uno de estos puntos se incorpora la densidad del arbolado, se calculó el contenido de carbono en toneladas por hectárea, de acuerdo a (1):

$$C = [(B)(Fact)(DA)) * 10^3 / 400] / 10^4 \quad (1)$$

Dónde: C= Contenido de carbono por especie; B= Biomasa; Fact=Factor de conversión de biomasa a carbono (Tabla I); DA= Densidad del arbolado por punto de muestreo de acuerdo al INF.

Para este estudio se tomaron en cuenta cuatro clases de uso de suelo: bosque, selva, agricultura y pastizal. Los bosques se desagregaron a nivel de especie para aplicar las ecuaciones alométricas en la estimación de biomasa y carbono.

C. Cálculo de metano y óxido nitroso por fermentación entérica y manejo de estiércol

Los datos para calcular el metano y óxido nitroso derivados de la fermentación entérica y manejo de estiércol, se tomaron del VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal [3], considerando el número de cabezas de ganado vacuno, caprino, ovino, porcino y aves a nivel de municipio, asociando los datos con límites municipales para su representación espacial. Los factores de emisión fueron los propuestos por el IPCC [14], ver Tabla II.

Tabla II. Factores de emisión de metano por fermentación entérica (Kg/cabeza/año)

Tipo de ganado	Kg/cabeza/año
Vacuno Leche	57
Vacuno carne	49
Ovejas	5
Cabras	5
Caballos	18
Mulas y asnos	10
Cerdos	1

Los factores de emisión de metano por manejo de estiércol para ganado vacuno, que se aplicaron fueron los propuestos por Eugenio González-Avalos y Luis Ruiz-Suárez [15], considerando las topoformas que se encuentran en el Estado de México que corresponden a un tipo de condiciones climáticas, las cuales coinciden con la propuesta de estos autores, tomando en cuenta la ubicación geográfica de cada municipio, zonas montañosas, resto del Estado, Sierra Madre del Sur, ver Tabla III. El valor marcado con (*) en la tabla, no se incluye en la propuesta de estos autores, sin embargo se aplicó el factor para clima templado.

Tabla III. Emisión de Metano en manejo de estiércol de ganado vacuno (Kg/cabeza/año)

Topoforma	Sistema de producción de ganado y manejo de estiércol			
	<i>Intensivo Ganado lechero</i>	<i>Semi intensivo ganado lechero</i>	<i>Intensivo ganado de carne</i>	<i>Extensivo doble propósito</i>
Zonas montañosas (Frío 12°C)	1.78 x 10 ⁻² +- 1.94%	3.01 x 10 ⁻² +- 5.69%	8.96 x 10 ⁻⁴ +- 11.38%	1.53 x 10 ⁻⁴ +- 0.61%
Resto del Estado (Templado 22°C)	5.92 x 10 ⁻² +-3.83%	3.09 x 10 ⁻² +- 8.97%	1.94 x 10 ⁻² +- 5.77%	8.40 x 10 ⁻² +- 4.29%
Sierra Madre del Sur (Cálido 27°C)	5.14 x 10 ⁻² +- 4.03%	3.09 x 10 ⁻² +- 8.97% (*)	1.17 x 10 ⁻² +- 2.57%	3.77 x 10 ⁻² +- 1.48%

Para otros tipos de ganado los factores de emisión de metano derivados del manejo del estiércol, por zona climática, se presentan en la Tabla IV, IPCC [14].

Tabla IV. Emisión de metano en manejo de estiércol (Kg/cabeza/año)

Tipo de Ganado	Kg/cabeza/año		
	<i>Frío</i>	<i>Templado</i>	<i>Cálido</i>
Ovejas	0.10	0.16	0.21
Cabras	0.11	0.17	0.22
Caballos	1.09	1.64	2.18
Mulas y asnos	0.60	0.90	1.19
Cerdos	0	1.00	2.00
Aves de corral	0.012	0.018	0.023

D. Cálculo de metano y óxido nitroso por quema de residuos agrícolas

La quema de residuos en los campos es una práctica agrícola común, se estima que el porcentaje de residuos de las cosechas quemados en los campos, podrían alcanzar el 40% según IPCC [14]. La quema de residuos de las cosechas es una importante fuente neta de emisiones de metano, monóxido de carbono, óxido nitroso y óxidos de nitrógeno. El IPCC [14] proporciona estadísticas de producción para la mayoría de los cultivos cuyos residuos se queman, la fracción quemada de los residuos y el contenido de carbono y nitrógeno de éstos, ver Tabla V.

Tabla V. Estadísticas de los residuos de cultivos

Producto	Relación residuo/cultivo	Fracción de materia seca	Fracción de carbono	Relación nitrógeno-carbono
Cebada	1.2	0.78-0.88	0.4567	-
Maíz	1.0	0.30-0.50	0.4709	0.02
Avena	1.3	0.15	0.5	-
Papa	0.4	0.30-0.60	0.4226	-
Frijol	2.1	0.15	0.5	-

El cálculo de la fracción quemada por cultivo, se obtuvo con los datos del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta, del cual se tomaron los valores de superficie sembrada y superficie siniestrada. La producción agrícola por municipio se tomó del VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal [3]. Este censo proporciona datos de producción de avena, cebada, frijol, maíz y otros cultivos, ver Tabla VI.

Tabla VI. Fracción quemada por tipo de cultivo

Producto	Fracción quemada
Cebada	0.02245
Maíz	0.01252
Avena	0.00134
Papa	0.00178
Frijol	0.01202

III. RESULTADOS

El contenido de carbono por hectárea se estimó para bosques y selvas, como puede observarse en la figura 3, las zonas que contienen mayor cantidad de carbono por hectárea son las zonas del Nevado de Toluca, la Sierra de las Cruces y la Sierra Nevada, las cuales representan las masas boscosas con las que cuenta la entidad. En cambio las áreas con menor cantidad de carbono, se ubican al sur y corresponden a la selva baja caducifolia, este tipo de vegetación, en las últimas décadas, se ha visto disminuida por el avance de las zonas de pastizal y pastoreo de ganado.

Las reservas de carbono para 2010 en el Estado de México ascienden a 0.166 Gt en bosque y 0.000013 Gt en selvas. El factor efectivo, es decir superficie total de bosque entre el total de carbono, para el bosque fue calculado en 267 Gg por hectárea y para selva en 0.000124 Gg/ha.

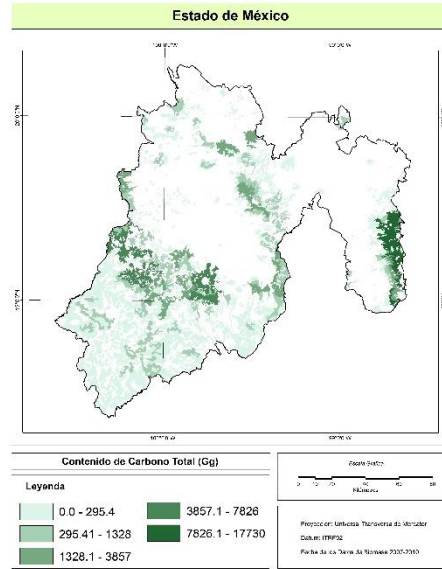


Fig. 3. Contenido de carbono en bosques y selvas.

Se estimaron las emisiones de metano por fermentación entérica y manejo del estiércol, su representación espacial se muestra en la figura 4. El mapa permite visualizar los municipios de mayor emisión de metano, en un primer grupo con emisiones que van de 0.78 a 0.31 Gg, destacan los municipios: Ayapango, Texcalyacac, Nicolás Romero, Almoloya del Río, Zumpahuacan, Aculco, Lerma, Nopaltepec, Coyotepec, Cuautitlán, Chimalhuacan, San Simón de Guerrero, Atlacomulco y Jilotzingo. Dentro de un segundo grupo de emisión de metano (0.132 a 0.29 Gg), están: Tepetlixpa, Huixquilucan, Cocotitlán, Zacualpan, Chapa de Mota, Coacalco, Tlatlaya, Texcoco, Ecatingo, Atizapan de Zaragoza, Tejupilco, Ixtlahuaca, Villa Victoria, Tultepec, Ixtapan del Oro, Texcaltitlán, Teoloyucan, San Antonio la Isla, Villa de Allende, Toluca, Metepec, Tepotzotlán, El Oro, Rayón, San José del Rincón, Valle de Bravo y Naucalpan que corresponden con las regiones productores de ganado.

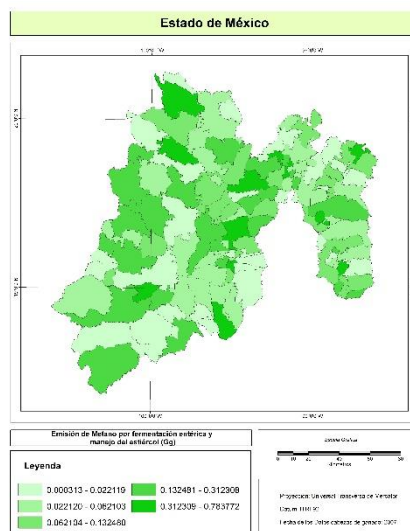


Fig. 4. Emisión de metano por fermentación entérica.

Las emisiones de metano derivadas de la quema de residuos agrícolas, se calcularon partiendo de la superficie agrícola y la superficie siniestrada a nivel de municipio, su distribución se muestra en la figura 5. Los municipios que mayor emisión de metano presentan son: Axapusco, Temascalapa, Nopaltepec, Otumba, Hueypoxtla y Tepetlaoxtoc los cuales emiten en un rango de 0.001207 a 0.000139 Gg; un siguiente grupo de municipios con emisiones que van de 0.000093 a 0.000047 Gg, son, Zumpango, Ixtapaluca, Tecámac, Texcoco, Texquixquiac, Acolman y Polotitlán, excepto el último, los demás pertenecen a la zona oriente del Estado de México, lo que refleja que son los municipios que mayor superficie agrícola cultivan o que practican en mayor medida la quema de suelos para su regeneración.

Un tercer grupo lo integran: Jilotepec, Juchitepec, Tenango del Valle, Nextlalpan, Jiquipilco, Huehuetoca, Villa de Allende, Temascaltepec, Xalatlaco, Ixtlahuaca, Aculco, Jilotzingo, Almoloya de Juárez, San José del Rincón, Acambay, Chicoloapan, Atlacomulco, Zinacantepec y Atenco, lo que integra una franja en la zona poniente del Estado, abarcando los Valles de Tenancingo, Toluca e Ixtlahuaca y algunos municipios limítrofes a la zona conurbada de la ciudad de México, este grupo emite un rango de 0.000038 a 0.00002 Gg.

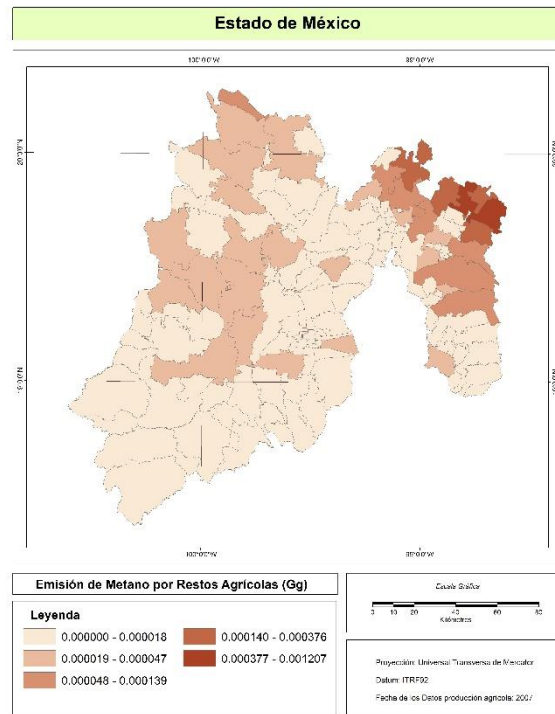


Fig. 5. Emisión de metano por residuos agrícolas.

En el informe de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) [16], las emisiones del sector agropecuario de GEI a nivel nacional para 2010 fueron: metano 1884.23 Gt, óxido nitroso 155.96 Gt y de CO₂e 96312.23. En ganadería (que incluye fermentación entérica y manejo del estiércol) fue 1872.2 Gt de CH₄ y 25.6 Gt de N₂O. En agricultura, las emisiones debidas a la quema de residuos agrícolas fue de 2.01 y 0.03 Gt de metano y óxido nitroso respectivamente; como resultado de la gestión de campos agrícolas de emisiones directas, de pastizales y gestión de campos agrícolas (volatilización y lixiviados) fueron de 130.2 Gt de N₂O.

A nivel estatal la SAGARPA reporta que por fermentación entérica, el Estado de México emite 47.87 Gg y por manejo del estiércol 1.545 Gg de metano, que en suma representan 49.418 Gg. El reporte del Gobierno del Estado [17] en estos dos valores son muy parecidos, 47.57 y 1.51, respectivamente. Con respecto a los resultados de este trabajo, debido a que se tomaron las mismas fuentes de datos los valores en estos dos gases son muy parecidos en la emisión de metano, pues se obtuvieron 43.06 Gg para fermentación entérica, sin embargo para manejo del estiércol, el valor calculado fue de 0.78, casi de la mitad del valor reportado por las dos instituciones de referencia.

En relación a emisiones de óxido nitroso resultado del manejo del estiércol, SAGARPA reporta 0.61 Gg, Gobierno del Estado 0.51 Gg y en este caso se obtuvo un valor de 0.68 Gg, que con respecto a los resultados que reportan estas instituciones son relativamente altos, se infiere que esto se debe a que en el cálculo de este trabajo se tomaron los valores diferenciados por clima y topografía, valores sugeridos por Eugenio González-Avalos y Luis Ruiz-Suárez [15].

Por quema de residuos agrícolas Sagarpa reporta 0.0009 y 0.000015 Gg de metano y óxido nitroso, mientras que el Gobierno del Estado reporta 1.12 y 0.05, respectivamente; en este trabajo se obtuvieron 0.04 y 0.06. Estas diferencias sugieren realizar estudios de caso a un nivel más detallado para tener mayor certeza en los resultados.

SAGARPA [16] reporta que en el Estado de México se emiten 1.403 Gt de N_2O , debidas al pastoreo, cuyo valor, en este caso, se integró al rubro suelos agrícolas y que coinciden también con las zonas de desmonte de selvas en el sur del Estado y la producción ganadera de esta misma zona.

Para 2010 el bosque ocupaba 28% de la superficie del Estado, la agricultura el 46%; el pastizal el 13.7% y la selva el 5.3%, de acuerdo al INEGI [5] mismos que han presentado cambios importantes de 2002 a 2010, ya que en ese lapso aparentemente el bosque recuperó una superficie de 8732 has, los pastizales y las zonas agrícolas perdieron 20192 y 4638 ha respectivamente.

Con el apoyo del software Idrisi, se incluyeron los datos que permitieron comparar dos series de datos consecutivas de uso de suelo para obtener las tasas de cambio y poder calcular las tendencias de cambio desde 1983 a 2012 para las clases de uso de suelo de bosque, selva, pastizal y agricultura. En este trabajo se puso énfasis a las relaciones bosque-agricultura y selva-pastizal, debido a que los bosques y las selvas implican un almacén de carbón, mientras que las actividades agrícolas y pecuarias se relacionan directamente con las emisiones de metano y óxido nitroso..

Los resultados reflejan que las pérdidas de bosque en 29 años ha sido de 57875 has, mientras que la agricultura ha ganado cerca de 72000 ha en ese mismo periodo. La selva pasó de 120522.88 ha a 118181 ha, con una pérdida de 2341 ha y los pastizales perdieron 79987 ha.

Con los datos anuales de cambios de uso de suelo desde 1983 hasta 2012, y considerando los contenidos de carbono en bosques y selvas, así como las emisiones totales de metano y óxido nitroso derivadas de ganado y de quema de residuos agrícolas, transformados a bióxido de carbono equivalente, se obtuvo un factor efectivo para el año 2007, es decir con datos de superficie de uso de suelo y contenidos totales de carbono se obtuvo un valor promedio por hectárea y se aplicó a cada uno de los valores de superficie forestal por año.

De la misma manera, con el valor de emisión de metano y óxido en CO_2e , derivadas de la fermentación entérica y manejo del estiércol y la superficie total de pastizales, se obtuvo un factor efectivo y se aplicó a la superficie de pastizal de cada año. Las emisiones de estos mismos GEI, derivados de la quema de residuos agrícolas, se asociaron con la superficie total de agricultura para obtener el factor efectivo. Finalmente se sumaron los contenidos de carbono equivalente (captura) y se restó el total de emisiones transformadas de CO_2e ; lo que resultó ser un balance positivo, pero con tendencia a la baja para 2020, como se muestra en la figura 6.

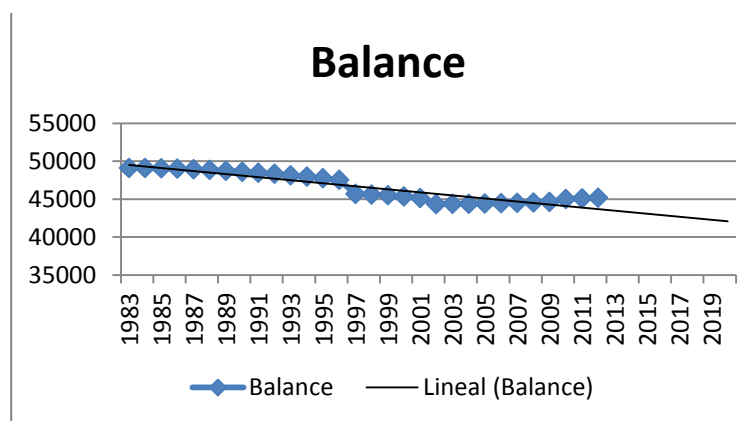


Fig. 6. Balance emisión-captura en CO₂e.

Este en sí es el modelo propuesto, la tendencia lineal del balance a 2020, presenta una ecuación (2), con un R² de 0.8472.

$$y = -200.32x + 446740 \tag{2}$$

Dónde: y = balance captura-emisión en CO₂e; x = tiempo (años), -200.32 = velocidad de cambio (Gg/año).

IV. CONCLUSIONES,

El modelo permite valorar la capacidad de los bosques y selvas para capturar carbono y por el otro identifica las fuentes de mayor emisión. En cuanto a los avances de la frontera agrícola, es importante regular las quemas anuales que se realizan en las zonas agrícolas periféricas a los bosques y selvas para evitar que los incendios invadan estos sumideros. Por otro lado, se propone limitar los cambios de uso de suelo de forestal a agropecuario, así como promover la reforestación y aumentar la densidad del arbolado.

Otra fuente importante de emisión de metano, es la fermentación entérica, por lo que con un programa de cambios en la alimentación del ganado se puede mitigar dicha emisión.

Las emisiones de N₂O se encuentran en suelos agrícolas y fundamentalmente se deben a la quema de residuos agrícolas y a la aplicación de fertilizantes sintéticos, por lo que las medidas de mitigación tendrían que dirigirse a la reducción de aplicación de fertilizantes sintéticos y la búsqueda de alternativas sustentables de producción agrícola.

Esta propuesta permite tener una visión panorámica de lo que está sucediendo en el Estado de México, identificando cuales son las zonas que más biomasa, así como las regiones con mayores emisiones de los gases de efecto invernadero y que más contribuyen al calentamiento global. El modelo toma datos de un solo año y eso podría limitar sus aplicaciones, pero la información que existe a este nivel está muy fraccionada, no se presentan de manera homogénea ni periódica como se espera para realizar un inventario de GEI a lo largo del tiempo. Pero que representa una línea base para futuras investigaciones y estudios dirigidos a sistemas de manejo sustentable, prácticas de conservación de suelos y regulación de las prácticas agrícolas para reducir los riesgos de incendio, entre otros.

RECONOCIMIENTOS

MEVP agradece a EOH por el apoyo para la adquisición de información cartográfica del Estado de México a través del proyecto de investigación FONSEC-CONACYT-SEMARNAT 107956; al Instituto Nacional de Estadística y Geografía por la donación de las seis cartas de uso del suelo serie IV escala 1:250,000 y a la Comisión Nacional Forestal por la base de datos del Inventario Nacional Forestal correspondientes al Estado de México. MEVP agradece el apoyo institucional recibido para el desarrollo del presente trabajo a través de la modalidad de licencia con goce de sueldo y finalmente al Conacyt por la beca para obtención de grado en el Doctorado en Ciencias de la Facultad de Ciencias de UAEM.

REFERENCIAS

- [1] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, (pp. 1-399), Distrito Federal, México, 2012.
- [2] H. Messa, *Balance de gases de efecto invernadero en un modelo de producción de ganadería doble propósito con alternativas silvopastoriles en Yaracuy, Venezuela*. Tesis de maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica, 2009.
- [3] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. INEGI. Ags. México, 2009.
- [4] Comisión Nacional Forestal, Inventario Nacional Forestal y de suelos. Conafor, México, 2010.
- [5] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Carta de uso del suelo escala 1:250,000, serie 4. INEGI. Ags. México, 2010.
- [6] Instituto Nacional de Ecología, Inventario Nacional de Gases de efecto invernadero 2009. Parte 4 , sector agricultura. Documento interno. INE, México, 67 pp, 2008.
- [7] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, *México en cifras*. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/>. 2010.
- [8] N. Pineda, J. Bosque, M. Gómez y W. Plata, “Análisis de cambio del uso de suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación”. *Investigaciones Geográficas, Boletín (69)*, 33-52, 2009.
- [9] J. Bonilla y C. Lemus, Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias (3-2)*, 215-246, 2012.
- [10] Acosta, M., Carrillo, F., Díaz, M., Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula* Schl. Et Cham. *TERRA Latinoamericana*, (Vol. 27, Núm. 2). Universidad Autónoma de Chapingo. pp. 105-114, 2009.
- [11] Díaz, R., Acosta, M., Carrillo, F., Buendía, E., Flores, E., Etchevers, J., Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus Patula* Schl. Et Cham. *Madera y Bosque*, (Vol. 13, Núm. 001). Instituto de Ecología, A.C. pp. 25-34, 2007.
- [12] Riofrío, G. (2007). *Cuantificación del carbono almacenado en sistemas agroforestales en la estación experimental Santa Catalina, INIAP, Ecuador*. Tesis de licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/35448943/Cuantificacion-de-Carbono-en-sistemas-agroforestales>. Mayo de 2011.
- [13] Masera, O., de Jong, B., Ricalde, I., Consolidación de la oficina Mexicana de gases de efecto invernadero, Sector Forestal. Reporte final. Instituto Nacional de Ecología. 197 p. 2000.

- [14] Panel Intergubernamental de Cambio Climático, Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Versión revisada, 1996.
- [15] E. González-Avalos y L. Ruiz-Suarez, Methane emission factors from cattle manure in Mexico. *Elsevier Biotechnology* (80), 63-81, 2001.
- [16] Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Línea base del programa de sustentabilidad de los recursos naturales. Subíndices de Emisiones de gases de efecto invernadero- metodología de cálculo. Recuperado de http://www.fao-evaluacion.org.mx/rn/ind_fin/gei/ContenidoGEI.pdf, 2012.
- [17] Gobierno del Estado de México. Inventario Estatal de Gases de Efecto Invernadero. México 204 p. (2013).