

Emisiones de N₂O estimadas mediante la Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación Ambiental

José Adrián Saldaña Munive¹, Adrián Lozada Carrera², Miguel Ángel Valera Pérez¹, Elena María Otazo Sánchez³

Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas¹, Colegio de Ingeniería Ambiental², Área de Química³
Instituto de Ciencias¹, Facultad de Ingeniería Química², Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería³
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla^{1,2}, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo³
Puebla, Pue.^{1,2}, Pachuca, Hgo.; México
adrian.saldana@correo.buap.mx

Abstract— The aim was estimate N₂O emissions of 14 municipalities in Puebla, Mexico from agricultural sources and generate indicators used by ERFCA with Project data " Environmental Inventory and Establishment of Regional Indicators "and " Strategy for Mitigation and Adaptation of Puebla on Climate Change "in its inventory of GHG emissions by 2005, with the IPCC methodology, indicators are amount of nitrogen fertilizer, cattle heads by species, total production of maize, beans, sorghum, barley, oats and wheat, obtaining for manure management 0.068 Gg CO₂ eq., upper the value of inventory (0.049 Gg CO₂ eq.), for agricultural soils were 5,297 Gg CO₂ eq., higher than the inventory (4,374 Gg CO₂ eq.), also was estimated agricultural waste burning in 0.182 Gg CO₂ eq.

Keyword— GHG, Indicators, N₂O, Fertilizers, Waste burning.

Resumen— El objetivo fue estimar emisiones de N₂O en 14 municipios de Puebla, México por fuentes agrícolas, y generar indicadores utilizados por ERFCA, con datos de Proyectos "Inventario Ambiental y Establecimiento de Indicadores Regionales" y: "Estrategia de Mitigación y Adaptación de Puebla ante el Cambio Climático", en su inventario de GEI para 2005, con metodología IPCC, los indicadores son cantidad de fertilizante nitrogenado, cabezas de ganado por especie, producción total de maíz, frijol, sorgo, cebada, avena y trigo, obteniendo para manejo de estiércol 0.068 Gg CO₂ eq., superior al inventario (0.049 Gg CO₂ eq.), para suelos agrícolas 5.297 Gg CO₂ eq., más alto al inventario (4.374 Gg CO₂ eq.), además se estimó la quema de residuos agrícolas en 0.182 Gg CO₂ eq.

Palabras claves—GEI, Indicadores, N₂O, Fertilizantes, Quema de residuos.

I. INTRODUCCIÓN

El sector agrícola en México es fuente importante de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), generados por quema de residuos agrícolas, uso excesivo de fertilizantes, abonos orgánicos y uso de maquinaria agrícola. La producción agropecuaria libera a la atmósfera metano (CH₄) a través de ganado, humedales y arrozales (INE-SEMARNAT, 2004), y óxido nitroso (N₂O) por uso inadecuado de fertilizantes (Watson et al., 1996). Los cambios en el uso del suelo, deforestación y degradación emiten grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera contribuyendo al cambio climático (FAO, 2008).

Se estima que 20% de CO₂ y 90% de N₂O contenidos en la atmósfera provienen de estas actividades (Bouwman, 1990). Actualmente contribuyen con 84% de N₂O, y 47% de CH₄ que representan 14% de emisiones totales diferentes de CO₂ (IPCC, 2007; Barker et al., 2007).

El N₂O, se produce en suelos por nitrificación y desnitrificación (Aulakh et al., 1998; Hutchinson y Livingston, 1993), y por emisiones antropogénicas incorporando fertilizante nitrogenado, e indirectamente mediante volatilización en forma de amoníaco (NH₃) y NO_x (óxidos de nitrógeno), y por lixiviación y escurrentía, liberando NH₃, óxido nítrico (NO), N₂O y nitrógeno atmosférico (N₂).

La identificación de estas fuentes de emisión se dificulta por falta de recursos para realizar mediciones puntuales y/o establecer indicadores que permitan la obtención de información, y que al mismo tiempo estime las cantidades de gases producidos.

Por lo que utilizar la técnica ERFCA (Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación Ambiental) permite realizar estimación de gases emitidos por región, y por actividad.

El uso de indicadores y su interpretación, identifica condiciones de producción de GEI, asocia factores y actividades agrícolas por región definiendo el potencial como fuente de emisión.

El objetivo principal fue estimar GEI de 14 municipios del estado de Puebla por fuentes agrícolas, y generar indicadores en este sector utilizados por esta técnica.

II. ANTECEDENTES

A. Técnica ERFCA

Esta técnica es rápida, económica y fácil de usar, se propuso aplicarla en países en vías de desarrollo y subdesarrollados por sus sistemas de información y bases de datos. En México, permite construir inventarios de contaminantes, emitidos al aire, agua y suelo destacando fuentes emisoras y jerarquizando problemas.

Se aplicó en el Proyecto “Inventario Ambiental y Establecimiento de Indicadores Regionales” (redes de investigación), con énfasis en fuentes de contaminación por actividades industriales, agrícolas y degradación del medio físico que conduce a la pérdida de calidad ambiental por manejo inadecuado de recursos naturales.

Esta técnica usa datos de anuarios estadísticos, informes de actividades, censos, etc. y no necesita muestreos extensos en industrias u otras fuentes de contaminación, se obtiene información en publicaciones de organizaciones internacionales como PICC, CMNUCC, FAO, Banco Mundial y de estudios por comisiones económicas regionales de la ONU y otras organizaciones.

Para recolectarlos, deben estar organizados, evaluados y comprobados. Este proceso ayuda a identificar áreas donde no existen datos, de modo que debe ponerse especial énfasis en su selección. Generalmente se parte de características socioeconómicas en las que se divide un país o región como: urbana, industrial, rural, agrícola, minera, etc.

B. Clasificación de actividades generadoras de contaminación

Existen muchas actividades contaminantes, no obstante el objetivo de la evaluación rápida es destacar fuentes con impacto significativo en el ambiente. Considerando contaminación al aire, agua y suelo en áreas urbanas y zonas industriales, otras fuentes como la agricultura están fuera del alcance de la técnica, por lo que se tiene como objetivo adaptar y ampliar el alcance de esta para realizar inventarios de contaminación ambiental en el sector agrícola. Como complemento se tomó información del inventario de emisiones para el estado de Puebla que se utilizó para corroborar el uso de indicadores.

C. Inventario Estatal de Emisiones de GEI

Como resultado del proyecto: “Estrategia de Mitigación y Adaptación del estado de Puebla ante el Cambio Climático”, se colaboró en la elaboración del inventario de emisiones de GEI para el año base 2005 considerando sectores: a) Agricultura, b) Uso de Suelo y cambio de uso de suelo.

La metodología es la utilizada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 1996) mediante hojas de cálculo. También se realizaron inventarios de emisiones para N₂O de los años 2006, 2007 y 2008 y proyección a los años 2020 y 2030.

Para el sector agropecuario las emisiones (por ganado y agrícolas) en el año base corresponden a 2002 Gg de CO₂ equivalente, de las cuales 84% corresponde a ganadería y 16% a actividades agrícolas (Gobierno del estado de Puebla, 2010). Dicha información sirvió para comparar datos obtenidos del uso de indicadores en la técnica ERFCA.

D. Área de estudio

Se evaluaron 14 municipios de la región socioeconómica IV del estado de Puebla, seleccionando superficie agrícola y actividades consideradas como fuentes importantes de emisión de GEI. Los municipios fueron: Amozoc, Coronango, Cuautinchán, Cuautlancingo, Domingo Arenas; Huejotzingo, Ocoyucan; Puebla, San Andrés Cholula, San Miguel Xoxtla, San Martín Texmelucan, San Pedro Cholula y Tlaltenango.

E. Cultivos en la Zona

La superficie total sembrada en el estado durante el año 2009 fue de 981,207 ha de las cuales 53,441 ha se sembraron en estos 14 municipios (riego y temporal), con un valor de producción de \$434,000.00 (INEGI, 2009).

Conforme a datos proporcionados por INEGI y Sistema de Información Agroalimentario y Pesquero (SIAP, 2009) los principales cultivos sembrados son maíz con superficie de 43,887 ha y frijón con 3,446 ha.

F. Actividades Generadoras de Emisiones

La agricultura y deforestación aportan la tercera parte de emisiones de GEI a nivel mundial, (25% de CO₂, 50% CH₄ y 70% N₂O). Y es importante para el estado de Puebla, ya que 16% de emisiones provienen de estas actividades (Saldaña, 2010), que producen y liberan la mayor parte de N₂O por uso de fertilizantes.

Este se produce en suelos por nitrificación y desnitrificación, la nitrificación es oxidación microbiana aeróbica del amonio en nitrato (Poth y Focht, 1985; Bollmann y Conrad, 1998), y la desnitrificación es reducción microbiana anaeróbica del nitrato a gas nitrógeno (Aulakh et al., 1998; Smith et al., 2003; De Klein et al., 2006).

La tasa de desnitrificación es afectada por factores que modifican la concentración de NO₃⁻, C y O₂ en suelo, y los más importantes son:

- 1) Tipo de fertilizante aplicado, (IPCC, 2001).
- 2) Nivel de oxigenación. La reducción de NO₃⁻ a NO₂⁻ se presenta a baja concentración de O₂ (Knowles, 1999).
- 3) Contenido de humedad. Porcentajes mayores a 70-80% por tiempos prolongados favorecen la desnitrificación (Knowles, 1999).
- 4) Temperatura. La velocidad de emisión se incrementa cuando la temperatura se eleva (Smith et al., 2003).
- 5) Textura del suelo. Suelos con texturas arcillosas poseen niveles mayores de Materia Orgánica (MO) que favorece la actividad microbiana (Bouwman, 1990).
- 6) Materia Orgánica (MO). Como fuente de energía para bacterias desnitrificantes.
- 7) pH del Suelo. Un suelo neutro o ligeramente alcalino, promueve la desnitrificación por efecto positivo en el desarrollo de bacterias.
- 8) Concentración de NO₃⁻ y NH₄⁻ Influyen en la velocidad de reacción (Bouwman, 1994).

Por lo que para este proyecto fue necesario recabar información de factores asociados a la producción de N_2O como el uso de fertilizantes nitrogenados.

El N_2O se deriva del uso de nitrógeno por organismos vegetales que lo obtienen de compuestos existentes en el suelo, de abonos orgánicos y fertilizantes inorgánicos nitrogenados. Parte del nitrógeno contenido en estos últimos al no ser utilizado por la planta es transformado a este gas y liberado a la atmósfera, contribuyendo al Calentamiento Global (Nelson et al., 2009).

Las emisiones en suelos agrícolas se han incrementado por uso inadecuado de fertilizantes nitrogenados y por fijación del nitrógeno atmosférico por leguminosas (Freney, 1997).

G. Fertilizantes

El consumo mundial de fertilizantes nitrogenados se ha incrementado en 150% desde 1970, consumiéndose cerca de 82 Tg N/año en 1996. Un valor adicional de 65 Tg N/año son desechos animales utilizados para reemplazar fertilizantes químicos.

En México en los últimos 50 años el consumo de fertilizantes N-P-K se incrementó de 5×10^4 Mg a más de 5.5×10^6 Mg. Sin embargo los cultivos absorben una fracción que oscila entre 10 y 60% y se han presentado problemas de contaminación ambiental (Peña et al., 2001). En el 2003, el consumo aparente ha sido estable, con promedio de 3.7 millones de toneladas de fertilizantes. La producción nacional abastece únicamente el 21% del consumo.

De 21.7 millones de hectáreas de superficie sembrada solo 10.2 son fertilizadas lo que representa 36.2% de esta superficie. Once estados del país concentran 68% de la superficie fertilizada: Jalisco, Tamaulipas, Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Sinaloa, Zacatecas, Michoacán, Guanajuato, Chihuahua y Puebla (INEGI 2007).

De acuerdo con la Asociación Nacional de Comercializadores de Fertilizantes (ANACOFER), el consumo de nitrógeno pasó de 79.7% en 1990 a 65% en 2007.

La producción de fertilizantes por la industria mexicana se redujo considerablemente a partir del cierre de plantas productoras de urea y sulfato de amonio en 1997, el consumo nacional de fertilizantes ha tenido que ser abastecido por medio de importaciones.

H. Manejo de estiércol.

La descomposición del estiércol es un proceso mediante el cual los organismos obtienen energía y elementos para su crecimiento (Ciborowski et al., 1999). Existen diferentes tipos de Estiércol y por ser residuos animales, contienen diferentes concentraciones de elementos nutritivos.

La emisión de N_2O del estiércol se produce por nitrificación y desnitrificación y depende del contenido de nitrógeno y de carbono, así como la duración del almacenamiento y tipo de tratamiento. En general la emisión requiere presencia de nitritos y nitratos en un ambiente anaeróbico, precedida por condiciones aeróbicas para la formación de formas oxidadas del nitrógeno.

I. Quemadas agrícolas

Los sistemas agrícolas del mundo producen grandes cantidades de residuos y su quema en el campo es práctica común. Se estima que alcanza 40% en países en vías de desarrollo. Dicha quema es importante fuente de emisión de metano, monóxido de carbono, y óxidos de nitrógeno (IPCC, 1996).

No obstante cuando la combustión es incompleta, se forma monóxido de carbono (CO), CH_4 , N_2O y otros materiales. Las razones por las que la combustión es incompleta son:

- No hay oxígeno disponible para transformar todo el carbono en CO_2
- La biomasa tiene humedad alta, y la temperatura de combustión es baja para completar la reacción química.

Para la estimación de emisiones a partir de quema de biomasa, se tiene que partir del volumen de residuos, (relación entre cosecha y residuos conocida como “índice de cosecha”), que es el cociente entre fracción cosechada del cultivo y su biomasa aérea total. Una vez conocido el volumen de residuos es necesario saber qué proporción se quema y el factor de emisión más adecuado (PNUMA, 2005).

III. IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES

FACTORES DE EMISIÓN

A. Fertilizantes

Moiser et al. (1996) recomiendan usar factores para calcular la emisión de N₂O de diferentes tipos de fertilizantes nitrogenados, utilizando la ecuación dada por Bouwman (1994):

$$N_2O - flux \text{ (kgN_ha}^{-1} \text{_yr}^{-1}) = 0.0125 * N_applicatio n \quad (1)$$

El factor de emisión propuesto por Bowman et al. (2002) y adoptado por el IPCC (2006) para aportes de fertilizantes minerales, abonos orgánicos, residuos agrícolas y N de suelos minerales es 0.01 y la ecuación para calcular las emisiones por fertilizantes nitrogenados es:

$$N_2O_{emisión} = EF_1 \bullet F_{SN} \quad (2)$$

Dónde:

$N_2O_{emisión}$ = Emisiones por N aplicado en forma de fertilizante, Kg N₂O-N año⁻¹

EF_1 = Factor de emisión para emisiones de N₂O de aportes de N (Kg N₂O-N) = 1/(Kg aporte de N),

$EF_1 = 0.01$

F_{sn} = Cantidad anual de N aplicado en forma de fertilizante sintético Kg N año⁻¹

Sustituyendo EF_1 en ecuación 2

$$N_2O_{emisión} = 0.01 \cdot F_{SN} \quad (3)$$

B. Manejo del estiércol

Los principales factores que contribuyen a la emisión son: número de animales, cantidad de estiércol producido y porción que se descompone anaeróbicamente. La primera depende de la especie animal, tamaño y tipo de alimentación, la segunda de la tasa de producción de desechos por animal y la cantidad de animales, mientras que la tercera depende de cómo se gestiona el estiércol.

Para estimar las emisiones de N₂O procedentes de Sistemas de Manejo del Estiércol (SME) el IPCC (1996) da las ecuaciones siguientes:

Para calcular la excreción por sistema de manejo del estiércol:

$$N_{ex(SME)} = \sum [N_T \bullet N_{ex(T)} \bullet SME_T] \quad (4)$$

Dónde:

N_{ex} = excreción de N por sistema de manejo de estiércol (kg/año)

N_T = número de animales del tipo T en el país

$N_{ex(T)}$ = excreción de N de los animales de tipo T en el país (kg N/animal año)

SME_T = fracción de $N_{ex(T)}$ en uno de los varios sistemas de manejo del estiércol diferenciados para los animales de tipo T

T = tipo de categoría de animal

Para ganado no lechero $N_{ex(T)} = 40$

Para ganado lechero $N_{ex(T)} = 70$

Para aves de corral $N_{ex(T)} = 0.6$

Para ganado Ovino $N_{ex(T)} = 12$

Para ganado Porcino $N_{ex(T)} = 16$

Otros Nex(T) = 40

Para las emisiones de N₂O

$$N_2O_{(SME)} = \sum [N_{ex(SME)} \cdot FE_{(SME)}] \cdot \frac{44}{28} \tag{5}$$

Dónde:

$N_2O_{(SME)}$: emisiones de N₂O de todos los sistemas de manejo de estiércol (kg N año⁻¹)

$FE_{(SME)}$: el factor de emisión de N₂O para un sistema de manejo de estiércol (kg N₂O-N/kg de Nex en (SME)

44/28= conversión de emisiones de (N₂O-N) a emisiones de N₂O, Relación de Conversión de Óxido Nitroso, razón entre PM N₂O/PM N₂

Sustituyendo Ecuación 4 en Ecuación 5 se tiene:

$$N_2O_{(SME)} = \sum (\sum (N_T \cdot Nex(T) \cdot SME_T) \cdot FE_{(SME)}) \cdot \frac{44}{28} \tag{6}$$

C. Quema de residuos agrícolas

Las emisiones relacionadas con quema de residuos agrícolas son CH₄, CO, NO_x y N₂O. Las emisiones de CO₂ de quema de biomasa no se exponen puesto que el carbono liberado es reabsorbido por la vegetación durante la temporada de crecimiento.

Para calcular las emisiones de quema de residuos primero se calcula la cantidad de residuos:

$$Q_{R-Ci} = (P_{Ai})(R_{R/C}) \tag{7}$$

Dónde:

Q_{R-Ci} = Cantidad de residuos por cultivo, Gg biomasa

P_{Ai} = Producción de cada cultivo, Gg de producción

$R_{R/C}$ = Relación residuos/cultivo

Posteriormente se calcula la cantidad de residuos secos:

$$Q_{RS-Ci} = (Q_{R-Ci})(f_{ms}) \tag{8}$$

Dónde:

Q_{RS-Ci} = Cantidad de residuos secos para cada cultivo, Gg materia seca

f_{ms} = Fracción de materia seca por cultivo

Con la cantidad de residuos secos se estima el total de biomasa quemada

$$Q_{Biq-Ci} = (Q_{RS-Ci})(f_{BQ-Ci})(f_{ox}) \tag{9}$$

Dónde:

Q_{Biq-Ci} = Cantidad de residuos quemados, Gg de residuos quemados

f_{BQ-ci} = fracción quemada en campo por cultivo

f_{ox} = fracción oxidada por tipo de cultivo

Con la cantidad de residuos quemados se estima el carbono y el nitrógeno total liberado:

$$C_{TBiq} = (Q_{Biq-Ci})(f_{C-Ci}) \tag{10}$$

$$N_{TBiq} = (Q_{Biq-Ci})(R_{N/C-Ci}) \tag{11}$$

$$N_{TBiq} = (Q_{Biq-Ci})(f_{N-Ci}) \tag{12}$$

C_{TBiq} = Carbono total liberado de la quema de residuos, Gg C

N_{TBiq} = Nitrógeno total liberado de la quema de residuos, Gg N

f_{C-Ci} = fracción de carbono por cultivo

$R_{N/C-Ci}$ = relación Nitrógeno/Carbono para cada cultivo

f_{N-Ci} =fracción de nitrógeno por cada cultivo

Por último se estiman las emisiones de N₂O

$$N_2O_{QB} = (N_{Tbiq})(TE_{N_2O})\left(\frac{44}{28}\right) \tag{13}$$

Dónde:

N_2O_{QB} = Emisión de Óxido Nitroso, Gg N₂O

TE_{N_2O} = Tasa de Emisión de Óxido Nitroso

IV. ADQUISICIÓN DE DATOS

En el Censo Agropecuario y Ganadero (INEGI 2007) se tienen superficies sembradas y fertilizadas con químicos para el año 2007 por Estado y por Municipio (Tabla I).

Tabla I. Superficie sembrada y fertilizada por Municipio, 2007 (ha).

Municipio	Superficie Sembrada	Superficie Fertilizada
Amozoc	6520	6000
Coronango	2726	4200
Cuautinchan	4498	4048
Cuautlancingo	2827	2700
Domingo arenas	1030	927
Huejotzingo	4710	4500
Juan c. Bonilla	2342	2250
Ocoyucan	720	648
Puebla	10831	10500
San Andrés Cholula	1580	1550
San Martín Texmelucan	5262	5000
San Miguel Xoxtla	478	418
San Pedro Cholula	4989	5000
Tlaltenango	2316	1976

Anuario Estadístico para el Estado de Puebla INEGI 2008

Tabla II. Superficie fertilizada (%) estado de Puebla (2007).

	Sup. Sembrada (ha)	Sup. Fertilizada (ha)	Sup. Fertilizada %
Estados Unidos Mexicanos	21 433 229.76	10 223 650.60	100
Puebla	964 606.00	682 041.00	6.7

Censo Agrícola, Ganadero y Forestal INEGI 2007

Tabla III. Superficie fertilizada (%) por Municipio (2007).

	Superficie Fertilizada (ha)	% Sup. Fertilizada
Estado De Puebla	682041	100
Amozoc	6000	0.9
Coronango	4200	0.6
Cuautinchan	4048	0.6
Cuautlancingo	2700	0.4
Domingo Arenas	927	0.1
Huejotzingo	4500	0.7
Juan C. Bonilla	2250	0.3
Ocoyucan	648	0.1
Puebla	10500	1.5
San Andrés Cholula	1550	0.2
San Martín Texmelucan	5000	0.7
San Miguel Xoxtla	418	0.1
San Pedro Cholula	5000	0.7
Tlaltenango	1976	0.3

Para determinar la cantidad aproximada de fertilizante utilizado por municipio, con datos de la FAOSTAT 2011 se muestra el Consumo Total de Fertilizantes N, P₂O₅, K₂O en México que en el 2007 fue de 1.7 millones de toneladas (Tabla IV).

Tabla IV. Consumo de fertilizantes N, P₂O₅, K₂O, 2006-2008, (ton.).

	2006	2007	2008
México	1611570	1756532	1203288

<http://faostat.fao.org/site/575/DesktopDefault.aspx?PageID=575#ancor>

El consumo nacional de fertilizantes nitrogenados es importante para estimar las emisiones de óxido nitroso (Tabla V).

Tabla V. Consumo fertilizantes nitrogenados, (ton).

	2006	2007	2008
México	1057564	1141863	938889

<http://faostat.fao.org/site/575/DesktopDefault.aspx?PageID=575#ancor>

Manejo de Estiércol

Con información del Censo Agropecuario y Ganadero para el Estado de Puebla (INEGI, 2007) y por SIACON (2006) se utilizan bases de datos de inventarios de existencias de ganado en pie (Tabla VI).

Tabla VI. Población ganadera y avícola por municipio (2006) (cabezas).

Municipio	Bovino Leche	Bovino no Lechero	Porcino	Ovino	Caprino	Caballos Mulas y Asnos	Gallináceas	Guajolotes
Amozoc	588	1630	4934	488	1316	1069	30785	4527
Coronango	417	1156	4891	90	964	784	22576	3319
Cuautinchan	580	1609	4945	732	1584	1140	32837	4829
Cuautlancingo	247	684	4916	184	552	448	12930	1902
Domingo Arenas	94	261	4872	976	220	178	5131	754
Huejotzingo	2509	6954	4985	2887	4357	4347	125194	18409
Juan C. Bonilla	1176	3259	4915	342	2367	1925	55414	8149
Ocoyucan	2884	7992	4913	976	6568	5631	162136	23843
Puebla	1882	5217	5155	1830	5263	3207	92356	13581
San Andrés Cholula	2847	7890	5167	1708	3557	4704	135457	19919
San Martín Texmelucan	4369	12106	5276	1912	9901	8047	231711	34074
San Miguel Xoxtla	157	435	4877	45	359	292	8415	1237
San Pedro Cholula	2039	5650	5019	158	3813	3992	114933	16901
Tlaltenango	255	706	4880	122	526	417	12207	1811
Total Región	20045	55548	69745	12450	41347	36181	1042082	153255

Quema de Residuos Agrícolas

Tabla VII. Superficie sembrada (ha) y producción (ton), zona de estudio.

Cultivo	Superficie Sembrada	Producción
Fríjol	3170	2803.70
Trigo	185	152.75
Cebada	18	316
Maíz	43706	118523.4
Avena forrajera	193	3365
Sorgo Grano	19.28	56.08

Evaluación de fuentes de emisión

Se obtuvo información de Censos realizados por INEGI y SAGARPA, en la sección de fertilizantes, el consumo por Estado y Municipio no existe, y para obtener el consumo por Municipio se hizo correlación entre superficie fertilizada y consumo nacional de fertilizante, se obtuvo el consumo de fertilizante nitrogenado por hectárea, y se calculó por municipio. El inventario cabezas/animal se obtuvo del Censo Agropecuario y Ganadero 2007 por Estado y por Municipio del Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON, 2007). En la sección de emisión por fertilizantes se siguió el método sugerido por Bouwman (1994) para calcular emisiones de N₂O por uso de fertilizantes en suelos. Para manejo de estiércol y quemas agrícolas se siguieron las directrices del IPCC (1996 y 2006). Para cálculos de emisiones de óxido nitroso se incluyó información de fertilizantes nitrogenados y desechos del ganado.

V. RESULTADOS

El Consumo de Fertilizantes Nitrogenados es importante para estimar emisiones de N₂O (Tabla 8), transformando toneladas a kilogramos y luego ajustando contenido de nitrógeno por kilogramo de fertilizante a un 31.2% de N (Tabla 9), que es la media de fertilizantes nitrogenados que se utiliza en México.

Tabla VIII. Consumo fertilizantes nitrogenados en México, 2007.

Fertilizantes Nitrogenados	2007
Consumo toneladas	1141863
Conversión a kg	1141863000
Ajustado	356261408

<http://faostat.fao.org/site/575/DesktopDefault.aspx?PageID=575#ancor>

Tabla IX. Fracción de N de diferentes fertilizantes (%).

Fertilizante	% N
Amoníaco anhidro	82
Nitrato de amonio	35
Sulfato de amonio	21
Fosfato monoamónico (MAP)	11
Fosfato diamónico (DAP)	18
Solución nitrogenada	40
Nitrato de potasio	13
Nitrato de sodio	16
Urea	45
Promedio	31.2

SAGARPA, 2009

Para determinar la cantidad aplicada de N se utilizó una media de 34.37 kg N en forma de fertilizante por hectárea y se ajustó el contenido de nitrógeno por kilogramo de fertilizante a un 31.2% de N, que es la media de contenido de fertilizantes nitrogenados (Tabla 9 y 10).

Tabla X. Cantidad de N aplicado, promedio Nacional (2007).

	N utilizado en forma de fertilizante kg.	Superficie Fertilizada (ha⁻¹)	Cantidad aplicada de N por hectárea kg N/ha⁻¹
México	356261256	10 366 750.60	34.37

Se hizo un estimado de la cantidad de nitrógeno utilizado por municipio en forma de fertilizante, multiplicando la superficie fertilizada por 34.37 kg N/ha⁻¹ (Tabla 11).

Tabla XI. Consumo estimado de nitrógeno (fertilizante) por Municipio (2007).

	Superficie Fertilizada (ha)	Valor Ajustado Superficie Fertilizada X 34.37 kg N/ha
Amozoc	6000	206195
Coronango	4200	144336
Cuautinchan	4048	139113
Cuautlancingo	2700	92788
Domingo Arenas	927	31857
Huejotzingo	4500	154646
Juan C. Bonilla	2250	77323
Ocoyucan	648	22269
Puebla	10500	360841
San Andrés Cholula	1550	53267
San Martín Texmelucan	5000	171829
San Miguel Xoxtla	418	14365
San Pedro Cholula	5000	171829
Tlaltenango	1976	67907

Se estimaron emisiones de N₂O utilizando las ecuaciones 1 y 3 (Tabla 12).

Tabla XII. Estimación de N₂O, uso de fertilizante nitrogenado/Municipio, ecuación 1 y 3, (2007).

	kg Nitrógeno utilizado	Ecuación (1) (kg N₂O_{FERTILIZANTE}/año)	Ecuación (3) (kg N₂O_{FERTILIZANTE}/año)
Amozoc	206195	2577	2062
Coronango	144336	1804	1443
Cuautinchan	139113	1739	1391
Cuautlancingo	92788	1160	928
Domingo Arenas	31857	398	319
Huejotzingo	154646	1933	1546
Juan C. Bonilla	77323	967	773
Ocoyucan	22269	278	223
Puebla	360841	4511	3608
San Andrés Cholula	53267	666	533
San Martín Texmelucan	171829	2148	1718
San Miguel Xoxtla	14365	180	144
San Pedro Cholula	171829	2148	1718
Tlaltenango	67907	849	679
TOTAL	1708563	21357	17086

Manejo de estiércol

Con datos de la Tabla 6 y ecuaciones 5 y 6 se estimó la emisión de N₂O por manejo de estiércol que se presenta en la Tabla 13.

Tabla XIII. Emisión de N₂O, manejo del estiércol por Municipio.

	Kg N₂O_{estiércol}/año
Amozoc	7.5
Coronango	5.7
Cuahtinchan	8.0
Cuahtlancingo	4.0
Domingo Arenas	2.8
Huejotzingo	25.7
Juan C. Bonilla	12.7
Ocoyucan	31.3
Puebla	22.0
San Andrés Cholula	26.3
San Martín Texmelucan	46.1
San Miguel Xoxtla	3.1
San Pedro Cholula	21.4
Tlaltenango	3.9
Total	220.6

Quema de residuos agrícolas

Tabla XIV. Emisiones por quema de residuos agrícolas por Municipio (2007).

	Total Emisiones Gg N ₂ O
Amozoc	0.00009
Coronango	0.00004
Cuahtinchan	0.00002
Cuahtlancingo	0.00003
Domingo Arenas	0.00001
Huejotzingo	0.00007
Juan C. Bonilla	0.00003
Ocoyucan	0.00001
Puebla	0.00014
San Andrés Cholula	0.00001
San Martín Texmelucan	0.00005
San Miguel Xoxtla	0.00000
San Pedro Cholula	0.00005
Tlaltenango	0.00003
Total	0.00059

Los valores obtenidos se convirtieron a Gg CO₂ eq utilizando el factor PCG (Potencial de Calentamiento Global) para cada gas donde el CO₂=1, CH₄=25 y N₂O=310 (IPCC, 2006)

Tabla XV. Emisión de CO2 Equivalente.

Actividad / Indicador	Unidad	Factor	Resultado
Uso de Fertilizantes			
Consumo de fertilizante nitrogenado	5476.16 Toneladas	9.672X10 ⁻⁴	5.2965 Gg CO ₂ eq
Manejo del Estiércol (1000's)			
N ₂ O			
Ganado Bovino Lechero	20.045 Cabezas	0.000387	0.0051 Gg CO ₂ eq
Ganado Bovino no Lechero	55.548 Cabezas	0.000253	0.0215 Gg CO ₂ eq
Ganado Porcino	69.745 Cabezas	0.000094	0.0066 Gg CO ₂ eq
Ganado Ovino	12.450 Cabezas	0.000117	0.0015 Gg CO ₂ eq
Equinos, Mulas, Asnos, caprinos	77.528 Cabezas	0.000387	0.0300 Gg CO ₂ eq
Aves de corral	1195.33 Cabezas	0.000003	0.0038 Gg CO ₂ eq
Total			0.0684 Gg CO ₂ eq
Quema de Residuos Agrícolas			
N ₂ O			
Fríjol	2.8037 Gg	0.00394	0.0110 Gg CO ₂ eq
Trigo	0.1527 Gg	0.00066	0.0001 Gg CO ₂ eq
Cebada	0.3161 Gg	0.00094	0.0003 Gg CO ₂ eq
Maíz	118.5230 Gg	0.00138	0.1642 Gg CO ₂ eq
Avena	3.3650 Gg	0.00184	0.0062 Gg CO ₂ eq
Sorgo	0.0560 Gg	0.00302	0.0002 Gg CO ₂ eq
Total			0.1819 Gg CO ₂ eq

Comparación resultados

Partiendo del Inventario Estatal desglosado por regiones.

Tabla XVI. Valores del inventario estatal de emisiones de GEI, Gg CO2 eq.

Fuentes de GEI	N ₂ O Inventario Estatal
Manejo de estiércol	2
Suelos Agrícolas	60
Quema en sitio de Residuos Agrícolas	0

Para manejo de estiércol se tiene el número de cabezas por zona de estudio y Estatal dando:

Tabla XVII. Porcentaje del Número de cabezas de ganado por especie en zona de estudio.

Ganado	Estatal	Zona de Estudio	% cabezas respecto al estatal
Ganado Bovino Lechero	162873	20045	12.30
Ganado Bovino no Lechero	614222	55548	9.04
Ganado Porcino	2045177	69745	3.41
Ganado Ovino	504664	12450	2.46
Ganado Caprino	799601	41347	5.17
Equinos, Mulas y Asnos	293285	36181	12.33
Aves de corral	54264556	1195337	2.27
	58684378	1430653	2.43

Entonces:

N₂O:

58, 684,378 cabezas en el Estado de Puebla → 100% emisiones de N₂O

14, 306,653 cabezas en la Zona de Estudio → 2.43 % emisiones de N₂O y corresponden a 0.0486 Gg de CO₂ eq.

- Para Suelos Agrícolas se tiene que:

La superficie fertilizada para el Estado de Puebla en el 2007 fue 682,041 hectáreas y para la zona de estudio fue de 49,717 hectáreas para el mismo año entonces:

682,041 ha → 100% emisiones de N₂O del Inventario Estatal que son 60 Gg de CO₂ eq.

Corresponde a:

49,717 ha → 7.3% superficie fertilizada y un total de emisiones igual a 4.37 Gg de CO₂ eq.

Se tiene que subrayar que las emisiones por quema de residuos agrícolas identificadas por el inventario estatal solo consideran la quema de residuos de cosecha de caña y para este trabajo se sustituyeron, considerando residuos de frijol, trigo, cebada, maíz, sorgo y avena ya que para caña de azúcar no existen datos ya que no se siembra en la región de estudio.

Tabla XVIII. Comparación de resultados de este trabajo y el inventario estatal Gg CO₂ eq.

Fuentes de GEI Agricultura	Este Trabajo	N ₂ O
		Datos del Inventario Estatal para los Municipios comparados
Manejo del estiércol	0.068	0.049
Suelos Agrícolas	5.297	4.374
Quema en sitio de Residuos Agrícolas	0.182	

VI. CONCLUSIONES

Las actividades antropogénicas y biogénicas en la zona de estudio como uso de fertilizantes, quema en sitio de residuos agrícolas y manejo del estiércol del ganado son fuentes importantes de GEI en la agricultura. Estas se tomaron en cuenta para incluirlas y estimarlas con la técnica ERFCA.

Los factores principales que intervienen en la emisión de GEI aportaron información importante de dichas actividades. Con estos factores se logró estimar con la técnica la cantidad de emisiones por actividad.

Los indicadores propuestos para estimar las emisiones de CH₄ y N₂O con la Técnica ERFCA se resumen en la cantidad de fertilizante nitrogenado aplicado, el número de cabezas de ganado por especie, la producción total de cultivos como el maíz, frijol, sorgo, cebada, avena y trigo.

Se utilizó la técnica, donde la matriz resultante da valores de CO₂ equivalente y una idea del potencial de cada gas para proponer medidas de adaptación y mitigación.

Al comparar los resultados de la técnica con el inventario Estatal de Emisiones del estado de Puebla para el sector agrícola y particularizado para los municipios de estudio, se encontró que las emisiones de GEI estimadas mostraron diferencias. Las emisiones de óxido nitroso están ligeramente más altas que las estimadas por el inventario, y que partiendo de valores puntuales en el sitio se puede seleccionar que

valor se aproxima al real, y determinar de esta manera si los valores están sobrestimados o subestimados.

REFERENCIAS

- Aulakh M.S. Doran J.W. y Mosier A.R. 1998. Soil denitrification significance, measurement and effects of management. *Adv. Soil Sci.* 18, 242.
- Barker T., I. Bashmakov, L. Bernstein, J. E. Bogner, P. R. Bosch, R. Dave, O. R. Davidson, B. S. Fisher, S. Gupta, K. Halsnæs, G.J. Heij, S. Kahn Ribeiro, S. Kobayashi, M. D. Levine, D. L. Martino, O. Maser, B. Metz, L. A. Meyer, G.-J. Nabuurs, A. Najam, N. Nakicenovic, H. -H. Rogner, J. Roy, J. Sathaye, R. Schock, P. Shukla, R. E. H. Sims, P. Smith, D. A. Tirpak, D. Urge-Vorsatz, D. Zhou. 2007. Technical Summary. In: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Bollmann A. & Conrad, R. 1998. Influence of O₂ availability on NO and N₂O release by nitrification and denitrification in soils. *Global Change Biology*, 4, 387–396.
- Bouwman A.F. 1990. Exchange of Greenhouse Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere, Soils and the Greenhouse Effect. John Wiley and Sons, Chichester, England, pp. 61–127.
- Bouwman A.F. 1994. Method to estimate direct nitrous oxide emissions from agricultural soils. Report no. 773004004: 28. National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, The Netherlands.
- Bowman A.F., Boumans L.J.M. & Batjes N.H. 2002. Modelling global annual N₂O and NO emissions from fertilized fields. *Global Biogeochemical Cycles*. 16, 1080.
- Ciborowski P., Griffin B., Herz W., Kimes P., La Tourette D., Noller J., Sadler S., & Sipple J. 1999. Methods for Estimating Greenhouse Gas Emissions From Manure Management. Greenhouse Gas Committee Emission Inventory Improvement Program. Volume VIII, Chapter 7, Manure Management.
- De Klein C., Novoa R., Ogle S., Smith K. A., Rochette P., Wirth T. C. 2006. Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Vol. 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra: Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Institute for Global Environmental Strategies. Hayama, Kanagawa, Japón.
- FAO, 2008. OECD-FAO Agricultural Outlook 2008-2017.
- Freney J.R., 1997. Emission of nitrous oxide from soils used for agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 49:1-6. CSIRO, Division of Plant Industry, G.P.O. Box 1600, Canberra, A.C.T. 2601, Australia.
- Gobierno del estado de Puebla, 2010. Síntesis de la Estrategia de Mitigación y Adaptación del Estado de Puebla ante el Cambio Climático. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Puebla, México. Primera Edición.
- Hutchinson G.L. y Livingston G.P. 1993. Use of chamber systems to measure trace gas fluxes. Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change. American Society of Agronomy, Madison, WI, ASA Spec. Pub. 55, 6378.
- INE-SEMARNAT. Cambio Climático: Una visión desde México. México 2004.

- INEGI 2007 (Instituto Nacional para la Estadística y Geográfica Informativa). Censo Agrícola, Ganadero y Forestal.
- INEGI 2008. Anuario Estadístico del Estado de Puebla.
- INEGI 2009. Anuario Estadístico del Estado de Puebla.
- IPCC, 1996. Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático.
- IPCC, 2001. Cambio climático: Informe de síntesis. Resumen Para Responsables de Políticas.
- IPCC 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC, 2007. Change Climate: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Knowles R. 1999. Denitrification in soil. Adv. In Agricultural. Microbiol. Pp243-255.
- Nelson G. C., Robertson R., Msangi S., Zhu T., Liao X., Jawajar P. 2009. Greenhouse Gas Mitigation Issues for Indian Agricultura. International Food Policy Research Institute Environment and Production Technology Division. Washington, DC 20006-1002, USA.
- Peña C. J., Grageda C. O. y Vera Ñ. J., 2001. Manejo de los Fertilizantes Nitrogenados en México: Uso de las Técnicas Isotópicas (^{15}N). CINVESTAV-Instituto Politécnico Nacional, Unidad Irapuato. Apartado Postal 629, Irapuato, Guanajuato, México. Terra 20: 51-56.
- Poth, M. & Focht, D.D. 1985. ^{15}N kinetic analysis of N_2O production by *Nitrosomonas europaea*: an examination of nitrifier denitrification. Applied and Environmental Microbiology, 49, 1134–1141.
- PNUMA 2005. Informe Anual.
- Saldaña M., J.A. 2010. Síntesis de la Estrategia de Mitigación y Adaptación del Estado de Puebla ante el Cambio Climático. Subcapítulo 7.3 Escenario Agrícola. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Puebla, México. Primera Edición.
- SAGARPA 2009. (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), Subsecretaría de Desarrollo Rural. Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. Uso de Fertilizantes.
- SIACON 2006. (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta).
- SIACON 2007. (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta).
- SIAP 2009. (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera).
- Smith K. A., Ball T., Conen F., Dobbie., K. E., Massheder J. & Rey A. 2003. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. European Journal of Soil Science. 54, 779-791. School of GeoSciences, University of Edingurgh, Darwin Building, Mayfield Road, Edinburgh EH9 3JU, UK.
- Watson R. T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H., et al., 1996. Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses. Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 1995. Cambridge University Press, USA, 879.