

# Inventario de gases de efecto invernadero emitidos por la actividad agropecuaria boliviana

*Inventory of greenhouse gas emissions by Bolivian agriculture*

García Apaza, E.<sup>1</sup>\* Arana, I.<sup>1</sup> Paz, O.<sup>1</sup> Angulo Veizaga, W.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Agronómicas, Ambientales y del Cambio Climático. Universidad Mayor de San Andrés

\*Autor para correspondencia, e-mail: e.garcia@ua.es

## RESUMEN

Se realizó la estimación de los gases con efecto invernadero emitidos por la agricultura boliviana para el año 2004, el cual se ha comparado con inventarios de los años 1990, 1994, 1998, 2000 y 2002. El número de cabezas de ganado es proporcional a las emisiones, aumentando a medida que aumenta la población ganadera. Los gases principales que se emiten por este sector son: el metano y el óxido nítrico, aunque también se contabilizan los óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono. De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático la metodología para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el sector agrícola se dividen en actividades ganaderas y agrícolas; en la ganadería se caracterizan la fermentación entérica y el sistema de manejo del estiércol; y en las actividades agrícolas, el manejo de suelos, el cultivo del arroz y la quema en campo de residuos agrícolas. El mayor emisor de metano debido a la fermentación entérica, ha sido la ganadería localizada en las zonas bajas de Bolivia (58,20% en el 2002 y 57,92% en el 2004, respecto del total de emisiones del subsector ganadero). Estas emisiones han estado relacionadas con la población ganadera, que ha ido variando desde 1990, especialmente por los eventos extremos como el Niño y la Niña. Los resultados indican que en el 2004, la agricultura boliviana emitió 587,68 Gg de metano (7,54% más que en el 2002; 13,81 % más que en el 2000; 20,77 % mayor a 1998; 33,06% mayor que 1994; y 48,00% más que en 1990). El sector agrícola también emitió 1,84 Gg de N<sub>2</sub>O; 13,43 Gg de NO<sub>x</sub> y 728,18 Gg de CO. Considerando el potencial de calentamiento de las emisiones resulta que la agricultura estaría emitiendo un total equivalente a 13.516,64 Gg de CO<sub>2</sub>-eq año<sup>-1</sup> en forma de metano y 546,12 Gg de CO<sub>2</sub>-eq año<sup>-1</sup> en forma de óxido nítrico, totalizando 14.062,76 Gg de CO<sub>2</sub>-eq año<sup>-1</sup>, lo que equivale a un 16,48% respecto del total de emisiones en Bolivia.

**Palabras clave:** Gases invernadero, emisiones, agricultura, metano, óxidos nítricos

## ABSTRACT

We performed the estimation of greenhouse gases emitted by Bolivian agriculture for 2004, which was compared with inventories of the years 1990, 1994, 1998, 2000 and 2002. The number of cattle is proportional to emissions, increasing with increasing population density. The main gases emitted by this sector are: methane and nitrous oxide, but also accounted for nitrogen oxides and carbon monoxide. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change the methodology for estimating emissions of greenhouse gases (GHGs) in the agricultural sector is divided into livestock and farming activities; the livestock are characterized by enteric fermentation and manure management system, and in farming, soil management, rice cultivation and field burning of agricultural waste. The largest emitter of methane was the livestock due to enteric fermentation which has been located in the lowlands of Bolivia (58,20% in 2002 and 57,92% in 2004 to total emissions from livestock subsector). These emissions have been linked to livestock population that has changed since 1990, especially for extreme events such as El Niño and La Niña. The results indicate that in 2004, Bolivian agriculture emitted 587,68 Gg CH<sub>4</sub> (7,54% more than in 2002; 13,81% more than in 2000; 20,77% higher than 1998; 33,06 % higher than 1994 and 48,00% more than in 1990). The agricultural sector also emitted 1,84 Gg of N<sub>2</sub>O; 13,43 Gg of NO<sub>x</sub> and 728,18 Gg of CO. Considering the warming potential the agriculture would be emitting a total of

13.516,64 Gg CO<sub>2</sub>-eq year<sup>-1</sup> as methane and 546,12 Gg CO<sub>2</sub>-eq year<sup>-1</sup> as nitrous oxide, in total 14.062,76 Gg CO<sub>2</sub>-eq year<sup>-1</sup>, equivalent to 16,48% of the total emissions in Bolivia.

**Keywords:** Greenhouse gases, emissions, agriculture, methane, nitrous oxides

## INTRODUCCION

El aumento de las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> ha estado causando mucha preocupación, por el posible impacto que ello podría tener sobre el clima del planeta. En efecto, la tierra mantiene su balance térmico emitiendo energía, día y noche, en forma de radiación electromagnética. Algunos gases de la atmósfera, tales como el vapor de agua, el CO<sub>2</sub>, el metano (CH<sub>4</sub>), el ozono, los óxidos de N y los clorofluorocarbonos (CFC), son capaces de atrapar esta radiación. Al hacerlo se calientan y reemiten una parte de ella hacia la tierra.

La teoría del cambio climático por efecto del CO<sub>2</sub> fue sugerida ya en el año 1938 por Callendar (Gates, 1965) y, más recientemente, se ha expandido para incluir otros gases: metano, óxidos de N y los compuestos volátiles diferentes al metano (COVNM). La preocupación por el efecto invernadero no solo se debe al efecto en las temperaturas sino también al efecto en las alteraciones de las precipitaciones y evaporaciones asociadas, lo que indudablemente producirá cambios en la distribución geográfica de los cultivos y en los niveles de los mares.

Según Domínguez (2006) la superficie de la tierra calentada por la radiación solar emite una radiación correspondiente a la región del infrarrojo entre 4000 y 100000 nm. Tanto el dióxido de carbono como el vapor de agua presentes en la atmósfera son capaces de absorber la energía emitida por la Tierra. El vapor de agua absorbe preferentemente la energía comprendida entre los 4000 y 7000 nm, mientras que el dióxido de carbono lo hace entre el rango de los 13000 y 19000 nm. Así pues, los gases de efecto invernadero, no solo absorben sino que emiten radiación infrarroja. Adicionalmente, cuando se quema una tonelada de carbón se produce aproximadamente 4 toneladas de CO<sub>2</sub>, puesto que cada átomo de carbono se combina con dos átomos de oxígeno del aire.

Aunque el Panel Intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC) publicó tres Reportes de Evaluación (Assessment Reports), en 1990, 1996, y 2001, una robusta colección de estudios científicos hechos por investigadores individuales, con una gran variedad de opiniones, reportes como de Amthor (1998) han mostrado datos generales sobre el aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera en los últimos 1000 años. Esta información muestra que la concentración de este gas ha aumentado de 280 a más de 360 mg kg<sup>-1</sup> en 200 años y que más del 50% de este aumento se ha producido después de la era industrial (1950 aproximadamente), esto equivale a una tasa de incremento de alrededor de 0,8 mg kg<sup>-1</sup> por año. Otra de las causas de este aumento, también es el incremento de aerosoles, especialmente las que contienen los clorofluorocarbonos, que tiene un efecto calentador, por absorción de la radiación solar incidente. Sin embargo, también hay investigaciones con la consecuencia contraria, como el efecto de los aerosoles con activos azufrados provenientes especialmente de las erupciones volcánicas y la remoción de grandes cantidades de CO<sub>2</sub> en forma de bicarbonato de calcio que son disueltas en el océano (Patterson, 1993, Sarimento, 1993, Pearce, 1994). Teorías que sin embargo, aún no se han demostrado fehacientemente.

Por otro lado, se han realizado esfuerzos por conocer el efecto relativo de los diferentes gases a través del balance radiativo de la tierra, con ayuda de modelos de circulación general de la atmósfera. Los modelos de circulación global intentan representar las influencias climáticas mediante ecuaciones numéricas, y son usadas para predecir las variaciones futuras del clima. Sin embargo, están obstaculizadas por nuestra pobre comprensión de las relaciones y bucles de realimentación entre las numerosas variables claves. Las primeras estimaciones indican aumentos de 4 a 5 °C en las temperaturas y, variaciones entre 8 a 15 % en las lluvias. Durante el siglo XX, la temperatura aumentó

aproximadamente 0,6°C (Figura 1). Las proyecciones de variaciones de la temperatura estiman un aumento entre 1,4- 5,8°C de la temperatura en el siglo XXI, con aparición de temperaturas extremas, inundaciones y sequías que afectaron la fauna y flora mundial (McMichael et al, 2001). Valores dados por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1996) indican incrementos de temperatura cercanas a 1,5 °C, desde la actualidad al año 2060 (Reilly, 1995). Los cambios en la precipitación y en la temperatura inducen cambios de la escorrentía y de la disponibilidad de agua. La escorrentía aumentaría entre un 10% y un 40% de aquí a mediados de siglo en latitudes superiores y en ciertas áreas tropicales pluviales, incluidas ciertas áreas populosas del este y sureste de Asia, y disminuiría entre un 10% y un 30% en ciertas regiones secas de latitudes medias y en los trópicos secos, debido a la disminución de las lluvias y a unas tasas de evapotranspiración más altas.

A nivel mundial, la actividad agrícola y pecuaria es responsable entre 10 - 12% de las emisiones antropogénicas de gases con efecto invernadero, de los cuales 60% proviene del N<sub>2</sub>O y 50% de las emisiones de metano (Smith et al., 2007). Así mismo, 18% de las emisiones derivadas de cambios de uso del suelo corresponden igualmente a la agricultura; sin embargo, las actividades indirectas, como la producción de fertilizantes y la utilización de energía en las actividades agrícolas, podrían elevar estas emisiones a más del 30%. Las emisiones más importantes provendrían del CO<sub>2</sub>-eq proveniente del metano y del óxido nitroso, ya que este sería responsable de hasta un 4% del aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera, y el resto provendría del cambio del uso del suelo (12%) y otras relacionadas al sector energético (54%). El metano ha aumentado de 0,8 partes por millón en volumen (ppmv) en 1850 m a 1,7 ppmv en la actualidad, y su tasa de incremento a disminuido desde 1970 en adelante desde 20 ppmv por año, a la mitad en 1992 (Ciesla, 1996), aun no explicada. Los óxidos de N tienen en su contenido actual aproximadamente 0,3 ppmv, y está aumentando a tasas de un 0,2 - 0,3 % al año. Las estimaciones realizadas de las emisiones de estos dos gases para el caso de la agricultura boliviana

ya en 1990 mostraron que el metano era el principal gas emitido, con 397,07 Gg año<sup>-1</sup>, seguido del CO con 280,40 Gg año<sup>-1</sup>, y por los óxidos de N con 5,55 Gg año<sup>-1</sup> (MDS et al., 2003).

El sector agrícola y pecuario son los que tendrán mayores impactos del incremento de las temperaturas. Las proyecciones realizadas por la comunidad científica de diferentes partes del mundo indican que la productividad agropecuaria disminuiría en algunas regiones y aumentaría en otras. Van Groenigen et al. (2010) postulo que en un planeta en el cual la demanda de alimentos y limitada área para la extensión de las actividades agrícolas las emisiones de N<sub>2</sub>O deben ser evaluadas a partir de la producción del cultivo más que una función del área, como normalmente es reportado. Como las emisiones de GEI en esta actividad es conducido por la adición de fertilizantes, también es postulado que el uso eficiente del N; estudios recientes han demostrado que existe un significativo incremento en las emisiones cuando existe una excesiva utilización de este fertilizante (Ma et al., 2010; Hoben et al., 2011).

La población ganadera boliviana (bovina) está principalmente localizada en el oriente boliviano, con alrededor de 7 millones de cabezas (MDRAyMA-VDEA, 2006). El sistema ganadero boliviano tiene el manejo del hato casi tradicional debido a un escaso uso de tecnología y/o de capital. El sistema de producción es básicamente extensivo en un 90%, mientras que el 10% restante corresponde a los sistemas semi-intensivo e intensivo. Por otro lado, la actividad ganadera en el altiplano boliviano, toma formas variadas en lo que concierne a la importancia que tiene en el sistema de producción, esto es, por las especies animales criadas (ovinos, bovinos, llamas, alpacas). Uno de los grandes problemas que enfrenta Bolivia es la pérdida de ganado por efecto de eventos extremos exacerbados por el cambio climático en las zonas bajas.

La producción agrícola del 2004 (el cual no ha variado sustancialmente desde el 2002) ha estado basada principalmente en el cultivo de cereales (36,7% de la superficie cultivada), productos para destino industrial (47,6%), tubérculos (7,8%), frutas (3,1%). Los

estimulantes, hortalizas y forrajes han tenido una proporción relativamente baja (1,19%, 2,55%, y 1,07% en promedio, respectivamente). La participación del PIB agrícola ha representado en el tiempo un valor algo superior al 15% del PIB total. Sin embargo, en el periodo 1998 al 2001, bajó su participación hasta situarse alrededor del 13%. Esto se debe a la incidencia de factores complejos múltiples, entre los que se destaca el factor climático (MACA, 2004). El cambio más significativo que se registró en la agricultura boliviana, es la que cobró el cultivo de la soya, el cual de representar un 3,2% de la superficie cultivada en 1990, en el año 2002, pasó a 28%.

La mayor parte del arroz se produce en condiciones anaeróbicas. La producción de arroz lo realizan diferentes actores, desde campesinos o colonizadores y empresarios y van desde los niveles mínimos (0,5 hectáreas) hasta los grandes productores (2.000 hectáreas) (TROPICO-SIBTA-MACA, 2003). La región Norte de Santa Cruz (incluyendo parte de departamento de Beni) representa el 80% de la producción arrocería, sin embargo esta producción ha percibido grandes altibajos tendenciales que han afectado al rubro y c) condiciones climáticas favorables (MACA-UCPSA, 2004).

Parte de las actividades en el sector agrícola son las quemadas. En general, las quemadas se lo realizan en las praderas y el rastrojo en los campos de cultivo. La quema prescrita de sabanas es una actividad para habilitar tierras de pastoreo, con la inducción de rebrotes de especies gramíneas. La biomasa quemada está constituida generalmente por paja de rápida combustión. Las áreas de mayor quema corresponden a los departamentos de Beni, Santa Cruz, norte de La Paz y Pando siendo la de mayor incidencia la llanura Chaco – Beniana, donde se encuentra la mayor cantidad de pastizales (Superintendencia Agraria, 2006).

El presente trabajo tiene como objetivo hacer conocer las emisiones del sector agrícola (que incluye la pecuaria) en el año 2004 y hace comparaciones con otros años, para observar su desarrollo en el tiempo, y su clara relación con la población ganadera; asimismo,

es el resumen de resultados obtenidos del inventario de las emisiones de gases con efecto invernadero provenientes del sector agrícola en Bolivia para el año 2004 que ha sido incluido en los inventarios de GEI de Bolivia para los años 2002 y 2004, que son los inventarios más recientes y oficiales presentados ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático como un esfuerzo adicional de Bolivia y una buena práctica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el inventario de gases invernadero del sector agrícola (que incluye el sector pecuario) se efectuó siguiendo la metodología propuesta por el Intergovernmental Panel on Climate Change y la Organization for Economical Country Development (IPCC/OECD, 1996). Los detalles metodológicos y factores por defecto usados cuando había carencia de datos locales, están contenidos en los volúmenes I (Manual de Referencia), II (Manual de Trabajo), y III (Manual de Instrucciones de Informe). Adicionalmente se ha utilizado la Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, que complementa el trabajo de investigación (IPCC, 2000).

### Método de cálculo

#### 1. Emisiones de metano por fermentación entérica:

Determinación de los factores de emisión:

$$FE = (EB \cdot Y_m \cdot 365 \text{ días/año}) / (55,65 \text{ MJ/kg CH}_4)$$

Dónde:

FE = factor de emisión, en kg de CH<sub>4</sub>/cabeza/año

EB = absorción de energía bruta, en MJ/cabeza/día

Y<sub>m</sub> = tasa de conversión del metano, que es la fracción de energía bruta presente en los alimentos que se convierte en metano

#### 2. Emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes del manejo del estiércol.

##### 2.1 Estimación de CH<sub>4</sub>

$$\text{Emisiones de CH}_4 \text{ (mm)} = \text{Factor de emisión} \cdot \text{Población} / (106 \text{ kg/Gg})$$

Dónde:

Emisiones de CH<sub>4</sub> (mm) = emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes del manejo del estiércol para una población definida, en Gg/año

Factor de emisión = factor de emisión correspondiente a la población de ganado definida, en kg/cabeza/año

Población = el número de cabezas que integra la población de ganado definida

### 2.2 Estimación de las tasas de excreción de sólidos volátiles

$$\text{SV} = \text{EB} \cdot (1 \text{ kg-dm}/18,45 \text{ MJ}) \cdot (1 - \text{ED}/100) \cdot (1 - \text{CENIZAS}/100)$$

Dónde:

SV = excreción de sólidos volátiles por día sobre la base del peso de la materia seca, en kg-dm/día

EB = Estimación de la ingestión media de alimentos por día, en MJ/día

ED = Energía digestible presente en los alimentos, en porcentaje (p.ej. 60%)

CENIZAS = contenido de cenizas del estiércol, en porcentaje (p.ej. 8%)

Nota: El valor 18,45 representa la densidad de energía de los alimentos expresada en MJ por kg de materia seca. Este valor se mantiene relativamente constante en una amplia gama de forrajes y alimentos a base de granos consumidos por el ganado.

### 2.3 Estimación del factor de emisión procedente del manejo del estiércol

$$\text{FE}_i = \text{SV}_i \cdot 365 \text{ días/año} \cdot \text{Bo}_i \cdot 0,67 \text{ kg/m}^3 \cdot \Sigma(\text{jk}) / \text{FCM}_{\text{jk}} \cdot \text{SM}_{\text{ijk}}$$

Dónde:

FE<sub>i</sub> = factor de emisión anual de la población de ganado definida i, en kg

SV<sub>i</sub> = excreción diaria de SV de un animal dentro de la población definida i, en kg

Bo<sub>i</sub> = capacidad máxima de producción de CH<sub>4</sub> del estiércol de un animal dentro de la población definida i, en m<sub>3</sub>/kg de SV

FCM<sub>jk</sub> = factores de conversión del CH<sub>4</sub> para cada sistema j de manejo del estiércol, por zona climática k

SM<sub>ijk</sub> = fracción del estiércol de la especie o categoría de animales i, tratado con el sistema de manejo j, en la zona climática k.

### 3. Emisiones de óxido nitroso procedentes del manejo de estiércol.

$$(\text{N}_2\text{O-N})(\text{mm}) = \Sigma(\text{S}) \{ [\Sigma(\text{T}) (\text{N}_{(\text{T})} \cdot \text{N}_{\text{ex}(\text{T})} \cdot \text{SM}_{(\text{T},\text{S})})] \cdot \text{FE}_{3(\text{S})} \}$$

Donde:

(N<sub>2</sub>O-N)(mm) = emisiones de N<sub>2</sub>O-N procedentes del manejo del estiércol en el país (kg de N<sub>2</sub>O-N/año)

N<sub>(T)</sub> = número de cabezas por especie o categoría T de ganado en el país

N<sub>ex(T)</sub> = excreción anual media de N por cabeza de cada especie o categoría T en el país (kg de N/animal/año)

SM<sub>(T,S)</sub> = fracción de la excreción total anual por cada especie o categoría T de ganado incluida en el sistema S de manejo del estiércol en el país

FE<sub>3(S)</sub> = factor de emisión de N<sub>2</sub>O para el sistema S de manejo del estiércol en el país (kg de N<sub>2</sub>O-N/kg de N en el sistema S de manejo del estiércol)

S = sistema de manejo del estiércol

T = especie o categoría de ganado

A los efectos del informe, la conversión de las emisiones de (N<sub>2</sub>O-N)(mm) en emisiones de N<sub>2</sub>O(mm) se realiza mediante la siguiente relación:

$$\text{N}_2\text{O}(\text{mm}) = (\text{N}_2\text{O-N})(\text{mm}) \cdot 44/28$$

#### 4. Emisiones de óxido nitroso procedentes de los suelos agrícolas.

Dónde:

$N_2O$  = Emisión de óxido nitroso procedente de los suelos

$N_2O$  directa = Emisiones directas de óxido nitroso

$N_2O$  animales = Emisiones de óxido nitroso procedentes de los animales

$N_2O$  indirecta = Emisiones de óxido nitroso procedentes de forma indirecta

##### 4.1 Emisiones directas de $N_2O$ procedentes de los suelos agrícolas (NIVEL 1a)

$$N_2O_{\text{Directo-N}} = [(FSN + FEA + FNB + FRC) \cdot FE_1] + (FSO \cdot FE_2)$$

Dónde:

$N_2O_{\text{directo-N}}$  = emisión de  $N_2O$  en unidades de nitrógeno

FSN = cantidad anual de nitrógeno en los fertilizantes sintéticos aplicados a los suelos, ajustada para dar cuenta del volumen que se volatiliza como  $NH_3$  y  $NO_x$

FEA = cantidad anual de nitrógeno en el estiércol animal aplicado intencionalmente a los suelos, ajustada para dar cuenta del volumen que se volatiliza como  $NH_3$  y  $NO_x$

FNB = cantidad de nitrógeno fijado por las variedades fijadoras de N que se cultivan anualmente

FRC = cantidad de nitrógeno en residuos de cosechas que se reintegran anualmente a los suelos

FSO = superficie de suelos orgánicos que se cultiva anualmente

$FE_1$  = factor de emisión correspondiente a las emisiones procedentes de aportes de N (kg de  $N_2O$ -N/kg aporte de N) (por defecto 0,0125)

$FE_2$  = factor de emisión correspondiente a las emisiones procedentes del cultivo de suelos orgánicos (kg de  $N_2O$ -N/há-año)

los efectos del informe, la conversión de las emisiones de  $N_2O$ -N en emisiones de  $N_2O$  se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$N_2O = N_2O-N \cdot 44/28$$

##### 4.2 N procedente de la aplicación de fertilizantes sintéticos

$$FSN = N_{\text{FERT}} \cdot (1 - \text{Frac}_{\text{GASF}})$$

Dónde:

$N_{\text{FERT}}$  = Total de fertilizante utilizado en el país en Kg N/año

$\text{Frac}_{\text{GASF}}$  = Fracción del total de nitrógeno emitido como  $NO_x + NH_3$  (Kg N/KgN), valor por defecto 0,1 Kg  $NH_3$ -N +  $NO_x$ -N/Kg de fertilizante sintético aplicado.

##### 4.3 N procedente de la aplicación de estiércol animal

FEA =

$$\Sigma T(N(T) \cdot N_{\text{ex}}(T)) \cdot (1 - \text{Frac}_{\text{GASM}}) \cdot [1 - (\text{Frac}_{\text{COMB-EA}} + \text{Frac}_{\text{PRP}} + \text{Frac}_{\text{ALIM-EA}} + \text{Frac}_{\text{CONST-EA}})]$$

Dónde:

FEA = Emisiones de nitrógeno procedentes de la producción animal en el país (Kg N/año)

$N(T)$  = Número de animales por categorías en el país.

$N_{\text{ex}}(T)$  = Excreción de nitrógeno por tipo de animal (Kg N/animal/año)

$\text{Frac}_{\text{GASM}}$  = Fracción de nitrógeno excretado que es emitido como  $NO_x$  o  $NH_3$  (Kg N/Kg N); valor por defecto 0,2 Kg  $NH_3$ -H +  $NO_x$ -N/Kg N excretado del animal.

$\text{Frac}_{\text{COMB-EA}}$  = Fracción de nitrógeno excretado por los animales, contenido en las fracciones de volumen de estiércol que se quema como combustible.

$\text{Frac}_{\text{PRP}}$  = Fracción de nitrógeno de animal excretado por los animales y depositada en el suelo por el ganado en pastoreo (Kg N/ Kg N excretado) (2% por defecto).

$Frac_{ALIM-EA}$  = De la estimación del valor de  $Frac_{ALIM-EA}$  obtenido para las emisiones directas de  $N_2O$  procedentes de los suelos agrícolas Alimentos.

$Frac_{CONST-EA}$  = De la estimación del valor de  $Frac_{CONST-EA}$  obtenido para las emisiones directas de  $N_2O$  procedentes de los suelos agrícolas (material de construcción).

Factor de emisión para los sistemas de manejo de estiércol = 0,02

#### 4.4 N procedente de la fijación por cultivos leguminosos.

$$FNB = \sum_i [\text{CultivoBF}_i \cdot (1 + \text{ResBF}_i/\text{CultivoBF}_i) \cdot \text{FracMS}_i \cdot \text{FracNCRBF}_i]$$

Dónde:

$\text{CultivoBF}_i$  = Cultivo fijador de nitrógeno, producto de las cosechas que es específica de cada tipo de cultivo  $i$

$\text{ResBF}_i/\text{CultivoBF}_i$  = Relación residuo producto, valor hallado por índices de cosecha en cada tipo de cultivo  $i$ .

$\text{FracMS}_i$  = Fracción de materia seca de los residuos del cultivo  $i$ .

$\text{FracNCRBF}_i$  = Nitrógeno contenido en residuos de cultivo.

#### 4.5 N en residuos de las cosechas reintegrados a los suelos.

$$FRC = \sum_i [(\text{CultivoO}_i \cdot \text{ResO}_i/\text{CultivoO}_i \cdot \text{FracMS}_i \cdot \text{FracNRC}_i) \cdot (1 - \text{FracQUEM}_i - \text{FracCOMB-CR}_i - \text{FracCONST-CR}_i - \text{FracALIM}_i)] + \sum_j [(\text{CultivoBF}_j \cdot \text{ResBF}_j/\text{CultivoBF}_j \cdot \text{FracMS}_j \cdot \text{FracNCRBF}_j) \cdot (1 - \text{FracQUEM}_j - \text{FracCOMB-CR}_j - \text{FracCONST-CR}_j - \text{FracFOR}_j)]$$

Dónde:

$\text{CultivoO}_i$  = Cultivo no fijador de nitrógeno.

$\text{ResO}_i/\text{CultivoO}_i$  = Relación de masa entre los residuos y el producto de los cultivos.

$\text{FracMS}_i$  = Contenido de materia seca de la biomasa aérea.

$\text{FracNRC}_i$  = Contenido de nitrógeno de la biomasa aérea.

$\text{FracQUEM}_i$  = Fracción de residuos quemada en los campos.

$\text{FracCOMB-CR}_i$  = Fracción de residuos utilizada como combustible.

$\text{FracCONST-CR}_i$  = Fracción de residuos usada para la construcción.

$\text{FracALIM}_i$  = Fracción de residuos utilizada como alimento.

$\text{FracFOR}_j$  = Fracción de residuos utilizada como forraje.

$\text{CultivoBF}_j$  = Cultivo fijador de nitrógeno.

#### 4.6 Emisiones indirectas de óxido nitroso de los suelos agrícolas.

$$N_2O_{\text{indirect-N}} = N_2O(G) + N_2O(L) + N_2O(S)$$

Dónde:

$N_2O(G)$  =  $N_2O$  producido por la volatilización del N de los fertilizantes sintéticos y el estiércol animal aplicados, y su posterior deposición atmosférica como  $NO_x$  y  $NH_4$  (kg de N/año).

$N_2O(L)$  =  $N_2O$  producido por la lixiviación y la escorrentía del N procedente del fertilizante y el estiércol aplicados (kg de N/año).

$N_2O(S)$  =  $N_2O$  producido por la descarga del N procedente de los excrementos humanos en ríos o estuarios (kg de N/año) (El óxido nitroso procedente de los excrementos humanos ( $N_2O(S)$ ) se declara dentro del sector Desechos).

#### 5. Emisiones de $CH_4$ procedentes de la producción de arroz.

Emisiones de la producción de arroz ( $Tg/año$ ) =  $\sum_i \sum_j \Sigma_k (FE_{ijk} \cdot S_{ijk} \cdot 10^{-12})$

Dónde:

FEijk = un factor de emisión integrado para tomar en cuenta las variaciones estacionales, correspondiente a las condiciones i, j y k, en g de CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>

Sijk = superficie anual cosechada en las condiciones i, j y k, en m<sup>2</sup>/año

i, j y k = representan diferentes ecosistemas, regímenes de manejo del agua y otras condiciones que pueden determinar variaciones en las emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes del arroz (p.ej. la adición de fertilizantes orgánicos).

#### 6. Emisiones de la quema prescrita de sabanas.

Cantidad de CH<sub>4</sub> o N<sub>2</sub>O liberada = cantidad de biomasa quemada (t dm) • factor de emisión de CH<sub>4</sub> o N<sub>2</sub>O (kg/t dm)

Para esta emisión se ha asumido una fracción de sabana quemada anual entre 0,2 y 0,25, como en los anteriores inventarios. Así mismo, la fracción de biomasa quemada anualmente de 0,85. Se ha tomado como factor de emisión de metano para una oxidación de biomasa de 0,934.

#### 7. Emisiones por la quema de residuos agrícolas en campo.

$$TCL = P_i * fr * fmsr * fqr * fox * fc/ms$$

Dónde:

TCL = Total de carbono liberado.

P<sub>i</sub> = Sumatoria de producción anual (t).

fr = Fracción de residuos de cultivos.

fmsr = Promedio de la fracción de materia seca en el residuo (t).

fqr = Fracción actualmente quemada en campo (t).

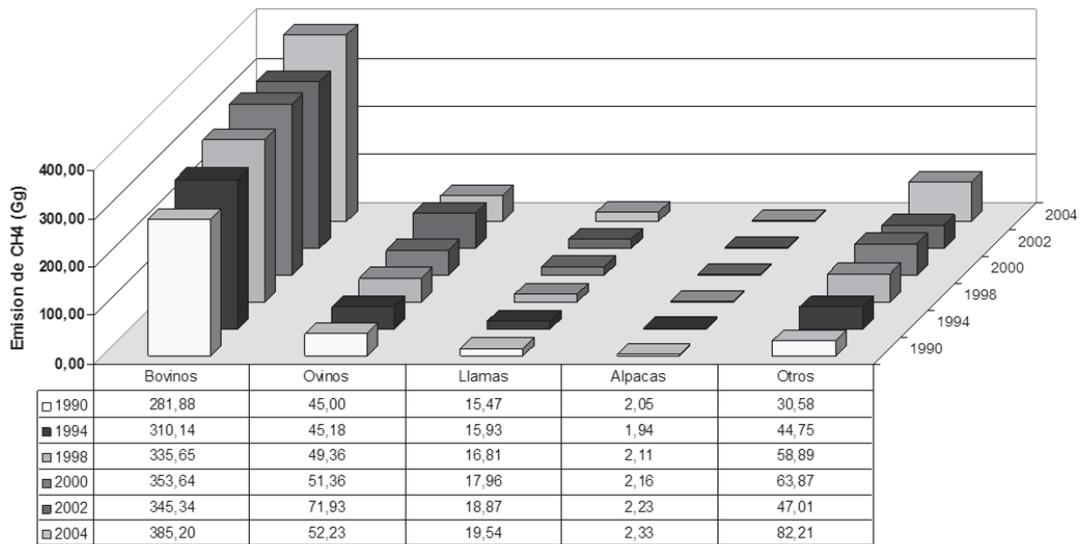
fox = Fracción oxidada.

Fc/ms = Fracción de carbono.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resumen de emisiones de metano.

Las Fig. 1 muestra las emisiones de metano debidas a la actividad pecuaria en el año 2004 en comparación a los años 1990, 1994, 1998, 2000 y 2002, separados en las diferentes categorías de ganado encontrado en el país: Bovinos, ovinos, llamas, alpacas, y otros. En esta figura se puede apreciar que las mayores emisiones provienen del ganado bovino. A nivel general se observa que la ganadería tiene una emisión en bovinos de 385,20 Gg CH<sub>4</sub>, de Ovinos 52,23 Gg CH<sub>4</sub>, llamas 19,54 Gg CH<sub>4</sub>, alpacas 2,33 Gg CH<sub>4</sub>. De este total, en el altiplano se observa emisiones de bovinos del 4,56%, de Ovinos 7,08%, llamas 4,23%, alpacas 0,51%; en los valles los bovinos emiten un 12,75%, los ovinos 2,85%; en el trópico, lo bovinos emiten 65,88% y los ovinos 2,15%.



**Figura 1.** Emisiones de CH4 provenientes de la sumatoria de la fermentación entérica y sistema de manejo de estiércol en la ganadería boliviana en los años 1990, 1994, 1998, 2000, 2002 y 2004.

**Emisiones de metano debidas a la fermentación entérica.**

El mayor emisor debido a esta actividad ha sido la ganadería localizada en el trópico boliviano, el cual dependió del tipo de alimentación que el ganado a ingerido, y este a su vez, ha dependido de la zona donde el ganado ha pastado. En el trópico boliviano se pueden distinguir siete subregiones: Yungas (con el 3,5% de la superficie de tierras bajas), chapare (2,9%), llanos cruceños (4%), llanos benianos (25,1%), la Chiquitanía (31,5 %), Amazonía (16,9%) y el chaco (16,1%) (Pacheco, 1998). El forraje en estas zonas varía en su composición, los más utilizados son los pastos de pastoreo que esta compuesta en general de *Bracchiaris* que varían en contenido de Materia Seca (MS) desde 10 a 20 tn/Ha/año, una digestibilidad del 50 a 80%, y contenido de Proteína Bruta (PB) que va desde 6,31 a 10% (PRODISA-UAGRM, 2002); también se utilizan el maíz (86% en MS, 11,4% de PB), sorgo (87,6% en MS y 11% de PB), soya integral (90,8% en MS y 40,2% en PB) (CETABOL, 2006), glycine (26,6% en MS, 22,2%

de PB), guandul (entre 31,8-35,2% de MS, y 20% de PB), lab lab (con 21% de MS y 17,1% de PB), sorgo forrajero (con 16,6% de MS, y 7% de PB) (Ota y Sakaguchi, 2003). Se estima que en el departamento de Beni existían hasta los años 90, alrededor de 5 millones de cabezas de ganado bovino en 10 millones de hectáreas de sabanas naturales. Aunque la ganadería se ve afectada frecuentemente con rabia y aftosa, en 1980 las cabezas de ganado bovino alcanzaban 2.413.525 representando el 52,3% del total nacional y abasteciendo el 46,3% del consumo de carne (Ormachea, 1987). Asimismo, la existencia de cabezas de ganado bovino en tierras bajas, entre los años de 1999 a 2002 experimentó una positiva evolución con el predominio del departamento del Beni, seguido por el Departamento de Santa Cruz y Pando. Sin embargo, por las condiciones señaladas, hasta fines del 2004, aunque Beni continúa teniendo la mayor población ganadera (44,18% hasta el 2004), se ha observado un crecimiento importante en los departamentos de Santa Cruz (con un crecimiento de 4,91% del 2002 al 2004) y el de Beni

(del 2,62% del 2002 al 2004) (MDRAyMA-VDRA, 2006). El aumento de la población ganadera en Santa Cruz es continuo, básicamente debido al manejo del ganado que se da en esta región (Pattie y Merry, 1999).

Según el inventario de la década de 1990 a 2000 (MDS, 2003), el fenómeno de *El Niño*, es considerado un factor preponderante en la productividad ganadera debido a su relación con el desarrollo de los forrajes. En el 2004 ha tenido un comportamiento moderado (UDAPE, 2004), siendo el más afectado, producto de 7 horas de lluvia, Trinidad, San Javier y Loreto.

#### ***Emisiones de metano por fermentación entérica en el Altiplano Boliviano.***

Las emisiones de CH<sub>4</sub> de este sector en esta región ha provenido en su mayoría de los ovinos con 38,57% (que ha representado 30,57 Gg CH<sub>4</sub>), seguido de los bovinos con 25,30% (representando 20,06 Gg CH<sub>4</sub>), llamas con 24,10% (representando 19,10 Gg CH<sub>4</sub>), entre los más importantes. El conjunto de las emisiones de metano debidas a esta actividad ha totalizado 79,26 Gg de CH<sub>4</sub>, similar a la obtenida en el inventario del 2000 y 2002 (75,85 y 75,60 Gg de CH<sub>4</sub>, respectivamente). Las emisiones de metano por el ganado camélido ha representado un 26,98% (21,39 Gg de CH<sub>4</sub>) respecto del total emitido en el altiplano, valor ligeramente más alto que la encontrada en el inventario del 2002 (20,63 Gg de CH<sub>4</sub>). Las emisiones de otros ganados (Cabras, Caballos, Mulas/asnos, Cerdos, Aves de corral) han representado un 9,15% (7,25 Gg de CH<sub>4</sub>), respecto del total emitido en esta región. Este valor ha sido ligeramente bajo con respecto al encontrado en el inventario del 2002 (7,19 Gg de CH<sub>4</sub>). Los Factores de Emisión (FE) utilizados para esta región, para bovinos, ha variado desde 53,99 (ganado lechero), 43,55 (ganado no lechero), 30,53 (ganado en crecimiento), a 56,03 Kg<sub>CH<sub>4</sub></sub>/cabeza/año (bueyes). Para ovinos ha variado desde 7,82 (ovejas) a 1,20 Kg<sub>CH<sub>4</sub></sub>/cabeza/año (crias). En camélidos el FE ha variado desde 11,46 a 3,83 Kg<sub>CH<sub>4</sub></sub>/cabeza/año (llamas) y desde 10,15 a 7,00 Kg<sub>CH<sub>4</sub></sub>/cabeza/año (alpacas) los mismos utilizados en los inventarios del 2000 y 2002 (MDS, 2003).

#### ***Emisiones de metano por fermentación entérica en los Valles Bolivianos.***

Las emisiones más importantes en los valles debidas a la fermentación entérica han sido producidas por el ganado bovino con el 73,47% (56,62 Gg de CH<sub>4</sub>), seguido de otros (Cabras, Caballos, Mulas/asnos, Cerdos, Aves de corral) con 19% (26,53 Gg de CH<sub>4</sub>) relegando al ovino al tercer lugar con 6,34% (4,89 Gg de CH<sub>4</sub>). El conjunto de emisiones de esta actividad ha resultado en 77,06 Gg de CH<sub>4</sub>, valor ligeramente más alto que en las encontradas en el inventario del 2002 (71,96 Gg de CH<sub>4</sub>).

Los Factores de Emisión (FE) utilizados para esta región, para bovinos, ha variado desde 59,97 (ganado lechero), 44,23 (ganado no lechero), 33,88 (joven), a 60,09 Kg<sub>CH<sub>4</sub></sub>/cabeza/año (bueyes). Para ovinos ha variado desde 9,79 (ovejas) a 1,29 Kg<sub>CH<sub>4</sub></sub>/cabeza/año (crias) (MDS, 2003).

#### ***Emisiones de metano por fermentación entérica en Trópico Boliviano.***

Las emisiones más importantes en esta región debidas a esta actividad se han debido principalmente a las observadas en el ganado bovino con 83,12% (299,80 Gg de CH<sub>4</sub>), seguido de las emisiones realizadas por los ovino con 11,88% (42,85 Gg de CH<sub>4</sub>) y otros (Cabras, Caballos, Mulas/asnos, Cerdos, Aves de Corral) con 5% (18,04 Gg de CH<sub>4</sub>). El conjunto de emisiones de esta actividad ha dado a 360,69 Gg de CH<sub>4</sub>, valor más alto al encontrado en el inventario del 2002 (315,08 Gg de CH<sub>4</sub>).

Los Factores de Emisión (FE) utilizados para esta región, para bovinos, ha variado desde 76,64 (ganado lechero), 49,70 (ganado no lechero), 42,09 (joven), a 70,00 Kg<sub>CH<sub>4</sub></sub>/cabeza/año (bueyes). Para ovinos ha variado desde 10,46 (ovejas) a 2,29 Kg<sub>CH<sub>4</sub></sub>/cabeza/año (crias) (MDS, 2003).

#### ***Emisiones de metano debidas al sistema de manejo del estiércol***

##### ***Emisiones de metano debidas al sistema de manejo del estiércol en el Altiplano Boliviano.***

Las emisiones de CH<sub>4</sub> de esta actividad en esta región ha provenído en su mayoría del ganado Camélido-Llamas con el 35,94% (representando 0,44 Gg de CH<sub>4</sub>), seguido de otros (Cabras, Caballos, Mulas/asnos, Cerdos, Aves de Corral) con el 35,27% (con 0,43 Gg de CH<sub>4</sub>), seguido del ganado bovino que representa un 15,11% (con una emisión de 0,19 Gg de CH<sub>4</sub>) y Ovinos que ha representado 10,36% (una emisión de 0,13 Gg de CH<sub>4</sub>). El conjunto de las emisiones de metano debidas a esta actividad han totalizado 1,23 Gg de CH<sub>4</sub>, 3,04% más a la obtenida en el inventario del 2002 (1,19 Gg de CH<sub>4</sub>).

Las emisiones de metano por el ganado camélido en su conjunto ha representado un 39,27% (0,48 Gg de CH<sub>4</sub>) respecto del total emitido en el altiplano, valor ligeramente más alto que la encontrada en el inventario del 2002 (0,46 Gg de CH<sub>4</sub>).

***Emisiones de metano debidas al sistema de manejo del estiércol en los Valles Bolivianos.***

Las emisiones más importantes en los valles debidas a esta actividad han sido producidas por otros (Cabras, Caballos, Mulas/asnos, Cerdos, Aves de Corral) con el 83,84% (4,43 Gg de CH<sub>4</sub>) relegando al Bovino al segundo lugar con 16,15% (0,85 Gg de CH<sub>4</sub>). El

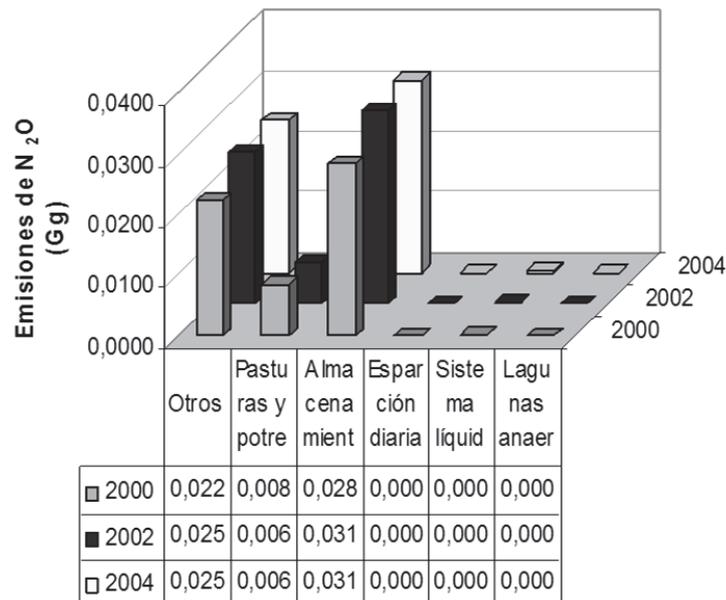
conjunto de emisiones de esta actividad ha dado 5,28 Gg de CH<sub>4</sub>, 19,55% más con respecto a las encontradas en el inventario del 2002 (4,42 Gg de CH<sub>4</sub>).

***Emisiones de metano debidas al sistema de manejo del estiércol en el Trópico Boliviano.***

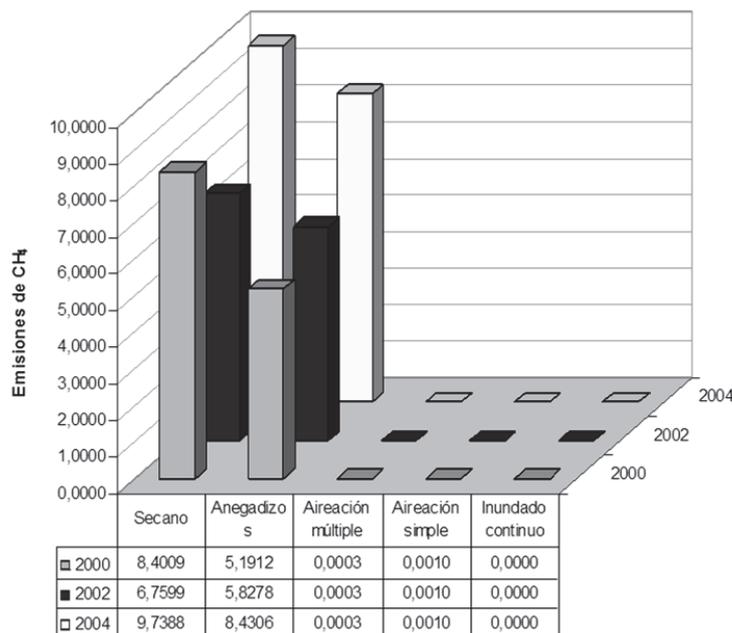
Las emisiones más importantes en esta región debidas a esta actividad se han debido principalmente a las realizadas por el ganado bovino con el 55,14% (7,69 Gg de CH<sub>4</sub>), seguido de otros (Cabras, Caballos, Mulas/asnos, Cerdos, Aves de Corral) con 39,29% (5,48 Gg de CH<sub>4</sub>). El conjunto de emisiones de esta actividad ha dado a 13,95 Gg de CH<sub>4</sub>, valor ligeramente más alto al encontrado en el inventario del 2002 (12,04 Gg de CH<sub>4</sub>).

***Emisiones de óxido nitroso debidas al sistema de manejo de estiércol.***

Las emisiones más importantes en esta actividad se han debido a los realizados por el almacenamiento sólido con el 49,48% (0,0319 Gg de N<sub>2</sub>O), seguido de otros con el 39,90% (0,0251 Gg de N<sub>2</sub>O) y pasturas y potreros con 11,23% (0,0072 Gg de N<sub>2</sub>O). El conjunto de emisiones de esta actividad ha dado a 0,0644 Gg de N<sub>2</sub>O, valor ligeramente más alto al encontrado en el inventario del 2002 (0,0642 Gg de N<sub>2</sub>O).



**Figura 2.** Emisiones de N<sub>2</sub>O provenientes de los sistemas de manejo del estiércol (2000= Inventario de Gases de Efecto Invernadero –IGEI del 2000; 2002 y 2004 = IGEI de los años 2002 y 2004, respectivamente).



**Figura 3.** Emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes del cultivo de arroz (2000= Inventario de Gases de Efecto Invernadero –IGEI del 2000; 2002 y 2004 = IGEI de los años 2002 y 2004, respectivamente)

### **Emisiones de metano debidas al cultivo del arroz.**

El arroz es un cultivo de amplia tradición en Bolivia, que se ha establecido desde hace unos 45 años como parte de la agroindustria de procesamiento del arroz en chala y la colonización espontánea y dirigida de campesinos. La superficie promedio de los últimos 5 años fue de 145.410 hectáreas y la producción de arroz para ese mismo período alcanzó a 320.755 toneladas, sin embargo, en el 2002, debido a la crisis económica y al clima, la producción bajo de 310.134 tn en el 2000 a 202.005 tn en el 2002 (unos 53%) (UDAPE, 2004), afectando las importaciones bolivianas de arroz que registraron una caída del 33% en el período (1999-2003) (Fundación Exportar, 2004). El cultivo de arroz en Bolivia y principalmente en Santa Cruz posee una gran connotación socioeconómica y además histórica; social, porque es considerado como alimento esencial para el agricultor, económica, porque los productores de los diferentes estratos encuentran en la comercialización de este grano una oportunidad de mejorar su estado de liquidez monetaria durante una parte del año; histórica por la trascendencia socioeconómica que este ligada a todo el proceso histórico de reforma agraria y colonización dirigida y efectuada en nuestro país. Por otro lado, la región Norte de Santa Cruz (incluyendo parte de departamento de Beni) representa el 80% de la producción arrocería. Compuesta por colonizadores y empresarios desde los niveles mínimos de 0,5 hectáreas hasta las 2000 hectáreas que producen este cereal esencialmente para el mercado interno y auto consumo.

En el Norte de Santa Cruz se puede distinguir distintas áreas de producción de mayor importancia como ser las zonas de San Pedro – Hardeman, Yapacaní, y San Juan de Yapacaní, Antofagasta y Colonia Piraí. En su mayoría estas zonas están pobladas por agricultores pequeños (colonizadores) que siguen expandiendo la frontera agrícola bajo el método tradicional de chaqueo (rosa – tumba – quema) (JICA, 2003).

En las emisiones de CH<sub>4</sub>, debidas al cultivo del arroz han predominado las emisiones de los sistemas de cultivos de arroz en tierras bajas producidas a secano y dependientes de la lluvia (53,60% en relación al total

emitido por esta actividad), con 9,74 Gg de CH<sub>4</sub>. El conjunto de emisiones de metano debidas a esta actividad ha totalizado 18,17 Gg de CH<sub>4</sub>, 44,34% más a la emitida en el inventario del 2002 (12,59 Gg de CH<sub>4</sub>).

### **Emisiones provenientes de los suelos agrícolas.**

#### ***Emisiones directas de óxido nitroso de los suelos agrícolas.***

Las emisiones de óxido nitroso debidas al manejo de suelos agrícolas pueden tener orígenes bióticos (producción de óxido nitroso por las bacterias) y abióticos (formación durante el proceso de quema), siendo las primeras, las que contribuyen mayores proporciones hacia la atmósfera.

La producción de óxido nitroso proveniente de los suelos agrícolas resulta de procesos de nitrificación y de desnitrificación. La nitrificación es el proceso de oxidación aeróbico microbiano del amonio a nitrato, y la desnitrificación es el proceso de reducción aeróbico microbiano del nitrato a dinitrógeno. Las principales fuentes de este tipo de emisiones son el uso de los fertilizantes sintéticos, la utilización del estiércol de animal como abono para las tierras de cultivo, la fijación biológica de nitrógeno por cultivos leguminosos y la utilización de residuos de cultivos como una forma de fertilización de suelos.

La agricultura en Bolivia se desarrolla a través de dos sistemas, uno tradicional practicado en el altiplano y parte de los valles y otro moderno utilizado en la zona de los llanos. Con el sistema tradicional, la tierra es preparada a través de tracción animal. Bajo este sistema, existen agricultores de papa, cebada y productos similares. La agricultura moderna se caracteriza por la utilización de maquinaria especializada, fertilizantes y riego suplementario, siendo practicada en parte de la zona de los valles y en el oriente boliviano. Entre la inmensa variedad de productos agrícolas producidos en Bolivia se puede citar a: a) Cereales, (maíz, arroz, trigo, cebada, quinua, avena, etc), b) tubérculos (yuca, batata y una gran variedad de papas), c) hortalizas y verduras (arveja, haba, ajo, cebolla, frijol, tomate, zanahoria, zapallos, acelgas, etc), d) productos estimulantes (cacao,

café, coca, té), e) frutas (banano, piña, naranja, mandarina, pomelo, fresa, uva, manzana, chirimoya, palta, durazno, pera, etc), y f) granos oleaginosos (soya, girasol, maní).

Los resultados de la estimación de las emisiones directas de óxido nitroso debidas a las actividades en los suelos agrícolas se pueden observar en las Fig. 4 y 5. Las emisiones de N<sub>2</sub>O debidas a las actividades agrícolas han provenido en su mayoría de la fijación biológica con 72,63% (que ha reflejado un aporte de 79.151.743,07 Kg N/año produciendo 0,99 Gg de N<sub>2</sub>O), seguido de la utilización de los residuos de cultivos con 24,86%, (con un aporte de 27.088.291,41 Kg N/año produciendo una emisión de 0,34 Gg de N<sub>2</sub>O) totalizando 1,33 Gg N<sub>2</sub>O-N/año. El conjunto de emisiones de óxido nitroso debidas a esta actividad ha totalizado 1,36 Gg N<sub>2</sub>O-N/año, valor alto a la obtenida en el anterior inventario del 2002 (1,21 Gg N<sub>2</sub>O-N/año).

#### ***Emisiones indirectas de óxido nitroso de los suelos agrícolas.***

Como resultado de la aplicación de fertilizantes y abonos orgánicos al suelo agrícola, se considera que ocurren los siguientes procesos:

- Volatilización y subsecuente deposición atmosférica en forma de NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub>,
- Pérdida de nitrógeno por efectos de lixiviación y escorrentía,
- Utilización de los residuos municipales tratados para abonamiento de campo de cultivos,
- Formación de N<sub>2</sub>O en la atmósfera proveniente del NH<sub>3</sub>,
- Procesamiento de alimentos.

Los procesos más importantes en la emisión indirecta de óxido nitroso son la deposición atmosférica de NH<sub>3</sub> y NH<sub>4</sub>, la lixiviación y las emitidas en tierras de pastura y potreros.

Las actividades más importantes en la emisión de N<sub>2</sub>O han sido debidas a la lixiviación (2,20 Gg de N<sub>2</sub>O, es decir, 50,48% respecto del total de emisiones de este

subsector). El conjunto de emisiones de N<sub>2</sub>O debidas a estas fuentes ha totalizado 4,35 Gg de N<sub>2</sub>O, valor alto a la obtenida en el inventario del 2002 (3,89 Gg de N<sub>2</sub>O).

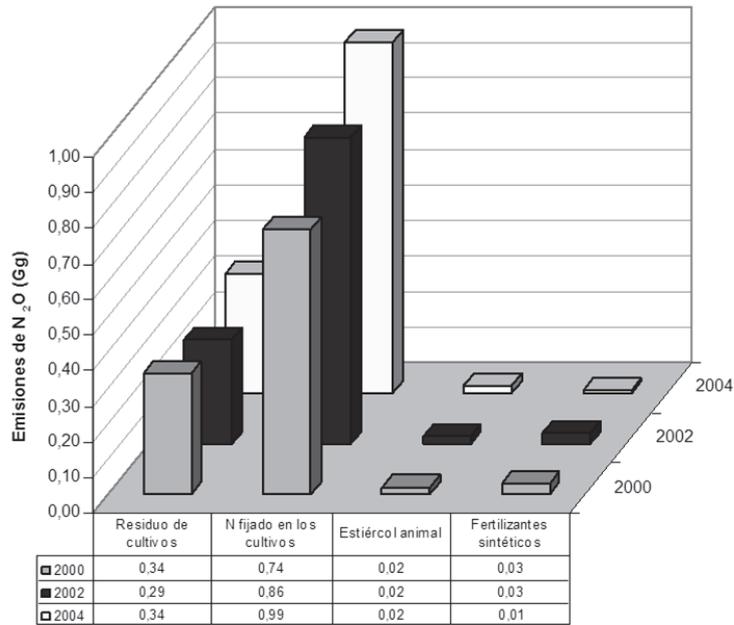
#### ***Emisiones provenientes de la quema prescrita de sabanas.***

Para efectos del inventario de Gases de Efecto Invernadero en este sector, las sabanas son las formaciones vegetacionales tropicales y subtropicales con predominante cubierta de pastos, ocasionalmente interrumpida con árboles o arbustos. En las actividades agrícolas, la quema de sabanas es intencional durante la estación seca para avivar el crecimiento vegetacional o remover las malas hierbas o algunas enfermedades y plagas, promoviendo el ciclo de nutrientes y el crecimiento de nueva vegetación y en consecuencia, del pastoreo del ganado. En esta actividad, se asume que el resultado inmediato de la quema es la inmediata emisión bruta de CO<sub>2</sub>, que se re-absorbe en la vegetación que vuelve a rebrotar entre ciclos de quema, lo que indicaría una emisión neta de CO<sub>2</sub> igual a cero. Por lo tanto, las emisiones más importantes debidas a esta actividad son las de metano, monóxido de carbono, óxido nitroso, óxidos de nitrógeno.

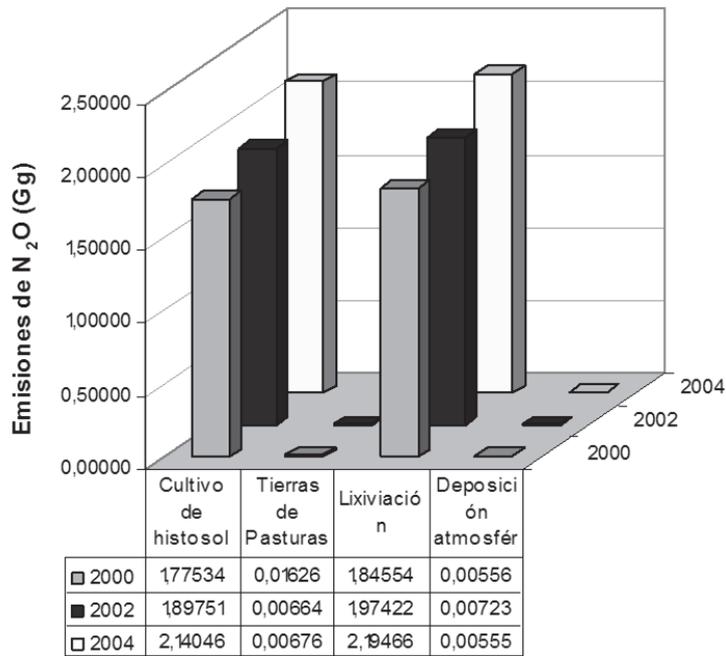
La mayor actividad de fuego en nuestro territorio producida el año 2004 ha sido en el oriente boliviano, que ha totalizado 50.464 focos de calor, todas identificadas en tierras de praderas, que en superficie ha representado 6.106.144,00 Ha aproximadamente que ha contenido 2.622.433,00 Ha de pastizales aproximadamente representando un incremento importante de más del 400% con relación al 2002 (518.068,28 Ha aproximadamente) (Superintendencia Agraria, 2006).

Los resultados de la estimación de las emisiones debidas a esta actividad en el sector agrícola del territorio boliviano se pueden observar en la Fig. 6. Las emisiones han representado 0,40 Gg de N<sub>2</sub>O, 14,42 Gg de NO<sub>x</sub>, 32,24 Gg de CH<sub>4</sub> y 846,38 Gg de CO. Las emisiones más importantes en este sector se han localizado en el departamento de Santa Cruz con el 63,57% (1.667.080,66 Ha) respecto del total de superficie con

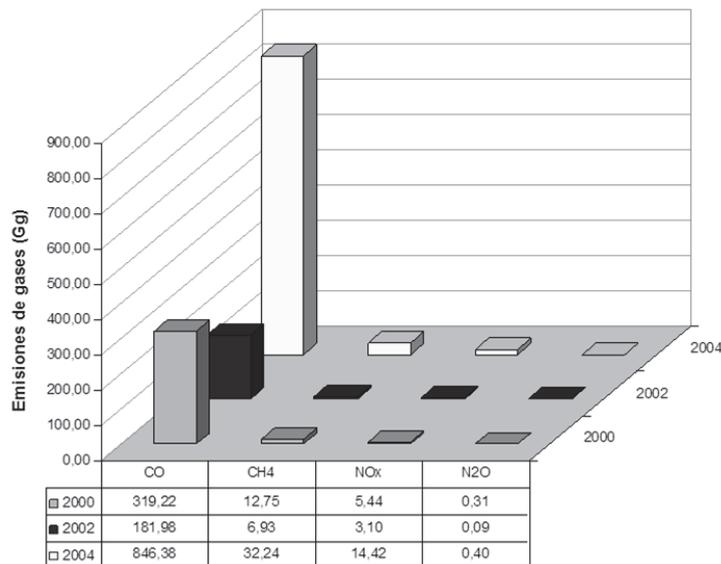
focos de calor localizados en el país. En segundo lugar, Beni ha tenido una presencia del 32,38%, y La Paz con el 1,74% de quemas realizadas en las sabanas en el país en este año de inventario.



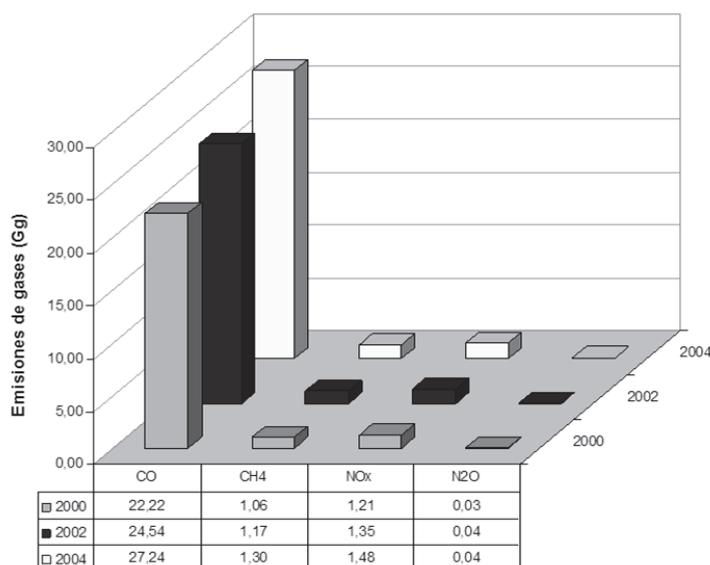
**Figura 4.** Emisiones directas de N<sub>2</sub>O provenientes de los suelos agrícolas (2000= Inventario de Gases de Efecto Invernadero –IGEI del 2000; 2002 y 2004 = IGEI de los años 2002 y 2004, respectivamente).



**Figura 5.** Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O provenientes de los suelos agrícolas (2000= Inventario de Gases de Efecto Invernadero –IGEI del 2000; 2002 y 2004 = IGEI de los años 2002 y 2004, respectivamente).



**Figura 6.** Emisiones de gases provenientes de la quema prescrita de sabanas (2000= Inventario de Gases de Efecto Invernadero –IGEI del 2000; 2002 y 2004 = IGEI de los años 2002 y 2004, respectivamente).



**Figura 7.** Emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la quema en campo de residuos agrícolas (2000= Inventario de Gases de Efecto Invernadero –IGEI del 2000; 2002 y 2004 = IGEI de los años 2002 y 2004, respectivamente).

#### *Emisiones provenientes de la quema de residuos agrícolas.*

Las emisiones de gases de efecto invernadero debidas a la quema en campo de residuos de los cultivos agrícolas consideran los siguientes aspectos: a) Cantidad de cultivos que han producido una cantidad de residuos que comúnmente se quema en el periodo, b) Índice residuo-cultivo, c) Fracción de residuo quemada, d) contenido de materia seca en los residuos, e) fracción oxidada en la quema, y f) contenido de carbono en el residuo.

Así como en las sabanas, la quema de residuos no es tomada en cuenta para emisiones de CO<sub>2</sub>, sino de CH<sub>4</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O. En Bolivia, se han tomado en cuenta los siguientes cultivos principales en los cuales se han verificado la presencia de quemadas como parte de las actividades agrícolas, sobre todo para eliminar los focos de plagas y enfermedades, y son: la caña de azúcar, maíz en grano, maíz choclero, trigo, arroz, y arveja. La cantidad de quema en el año 2004 se ha estimado en 423,42 Gg<sub>ms</sub>, siendo el mayor contribuyente a este, el arroz, con 157,06 Gg<sub>ms</sub>, aunque en la producción anual,

la caña de azúcar haya tenido mayores volúmenes, lo mismo que en el año 2002.

Las emisiones provenientes de la quema de residuos agrícolas han representado 0,04 Gg de N<sub>2</sub>O, 1,48 Gg de NO<sub>x</sub>, 1,30 Gg de CH<sub>4</sub> y 27,24 Gg de CO (Fig. 7). El cultivo que mayor liberación de nitrógeno ha tenido ha sido la caña de azúcar (1,53 Gg N) y la que menos ha liberado ha sido el maíz chocho (0,01 Gg N). Como resultado, se ha tenido una liberación de un total de 3,73 Gg N del total de cultivos identificados en esta actividad.

#### **Resumen general de las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero del sector agrícola por categorías de fuente**

La tabla 1 muestra el resumen de las emisiones del sector agrícola en el país. Se observa que las emisiones han incrementado respecto de 1990 en ambos años, el 2002 y 2004.

**Tabla 1.** Resumen general de emisiones de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO y NO<sub>x</sub> del sector agrícola (Gg).

Sector	GEI	1990	1994	1998	2000	2002	2004
		Gg CO <sub>2</sub> eq.					
Agricultura	CH <sub>4</sub>	9.132,64	10.158,19	11.191,99	11.876,65	11.475,48	13.663,69
	N <sub>2</sub> O	399,97	636,54	617,52	664,94	1.544,33	1.820,82
	Subtotal	9.532,61	10.794,73	11.809,51	12.541,59	13.019,81	15.484,51

Fuente: Elaboración propia y en base a MDS (2003).

## CONCLUSIONES

De lo expuesto se puede concluir que:

El sector agrícola (que incluye las actividades agrícolas y pecuarias) emite es responsable de emitir un total de 14.062,76 Gg de CO<sub>2</sub>-eq año<sup>-1</sup>, el cual es un 16,48% respecto del total de emisiones en Bolivia.

Los dos principales gases con efecto invernadero emitidos en el sector agrícola Boliviano son el CH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub>O.

La principal fuente de metano es la fermentación entérica del ganado bovino.

Las principales fuentes de N<sub>2</sub>O son los sistemas de manejo del estiércol y el uso de fertilizantes nitrogenados.

Las quemadas de rastrojos son el origen de las emisiones de CO y del COVNM.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen y agradecen el importante apoyo del Programa Nacional de Cambio Climático y el financiamiento proporcionado por el Fondo Mundial de Medio Ambiente (GEF por sus siglas en inglés) a través de la administración del Programa de las Naciones

Unidas para el Desarrollo (PNUD) sin cuya participación hubiese sido imposible contribuir con este trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

- Amthor, J. S. 1998. Perspective on the relative insignificance of increasing atmospheric CO<sub>2</sub> concentration to crop yield. *Field Crop Research* 58: 109-127.
- Centro Tecnológico Agropecuario en Bolivia (CETABOL). 2006. Manual de manejo para engorde de ganado bovino. CETABOL. 17 pag.
- Ciesla, W. M. 1996. Cambio climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. FAO. Estudio FAO Montes 126. Roma, Italia. 146 p.
- Domínguez, M. 2006. Química: la ciencia básica. Thomson-Paraninfo. Madrid, 2006.
- Fundación Exportar. 2004. Plan de promoción sectorial: análisis estratégico 2004: sector arrocerero. 228 pag.
- Gates, D. M. 1965. Energy exchange in the biosphere. New York., USA. Harper & Row, 151 p.
- Hoben JP, Gehl RJ, Millar N, Grace PR, Robertson GP. 2011. Nonlinear nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) response to

- nitrogen fertilizer in on-farm corn crops of the US Midwest. *Global Change Biology*, 17, 1140–1152.
- IPCC. 1996. Intergovernmental panel for climatic change. *Climate Change 1995. The science of climate change. Contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel for Climate Change.* Houghton, J.T.(Ed.). Cambridge, United Kingdom. Cambridge University Press. 572 p.
- IPCC/OECD. 1996. Intergovernmental Panel For Climatic Change/ Organization For Economical Country Development. Paris, Francia. Manual de Referencia. USA. Volumen I. 410 p.
- IPCC/OECD. 1996. Intergovernmental panel for climatic change/ organization for economical country development. Paris, Francia. Manual de Trabajo. Volumen II. 190 p. Volumen III. 75 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2000. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.* OECD, Paris [J. Penman, D. Kruger, I. Galbally, T. Hiraishi, B. Nyenzi, S. Emmanul, L. Buendia, R. Hoppaus, T. Martinsen, J. Meijer, K. Miwa, and K. Tanabe, eds. (Japan: Institute for Global Environmental Strategies)].
- JICA. 2003. Estudio de la cadena de comercialización del Arroz. Agencia de Cooperación internacional del Japón, Comité Integrador de Organizaciones Económicas Campesinas de Bolivia. 120 pag.
- Ma BL, Wu TY, Tremblay N et al. 2010. Nitrous oxide fluxes from corn fields: onfarm assessment of the amount and timing of nitrogen fertilizer. *Global Change Biology*, 16, 156–170.
- McMichael A, Githeko A, Akhta R, Carcavallo R, et al. Human Health. En: Mc Carthy JJ, Canziani OF, Leary NA, Dokken DJ, White KS, eds. *Climate Change. 2001. Impacts, Adaptation and Vulnerability.* Cambridge: Cambridge University Press; 2001. Págs.451-85.
- Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios (MACA). 2004. Estudio de identificación, mapeo y análisis competitivo de la cadena productiva del trigo. Ingeniería de Proyectos y Desarrollo Económico Social (INPRODES s.r.l.). 174 pag.
- Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios (MACA)- Unidad de Coordinación del Programa de Servicios Agropecuarios (UCPSA). 2004. Estudio de Identificación, Mapeo y Análisis Competitivo de la Cadena del Arroz y Derivados. Fundación Trópico Húmedo, Sistema Boliviano de Tecnología Agropecuaria, Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios. 57 pag.
- Ministerio de Desarrollo Sostenible, Viceministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Programa Nacional de Cambios Climáticos (MDS-VRNMA-PNCC). 2003. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Bolivia para la Década 1990-2000 y su Análisis Tendencial. 218 pag.
- Ministerio de Desarrollo Rural, Agropecuario y Medio Ambiente (MDRAyMA) – Viceministerio de Desarrollo Rural y Agropecuario (VDRA). 2006. Estadísticas Pecuarias 1995 – 2005. Documento trabajo del MDRAyMA-VDEA. La Paz. 70 pag.
- Ormachea, E. 1987. Beni y Pando: Latifundio y minifundio en el norte boliviano. Talleres, No.3. La Paz: CEDLA.
- Ota, T., y Sakaguchi, I. 2003. Estudio de la técnica de asociación de leguminosas con sorgo forrajero en un terreno pesado. *Artículos de Investigación: Centro Tecnológico Agropecuario en Bolivia* No. 2, 2003: 37-39.
- Patterson, D. 1993. Did Tibet cool the world? *New Scientist* 139:29-33.
- Pattie, P., y Merry, F. 1999. Bosques vs. Ganado: Una evaluación económica de las alternativas para los propietarios de tierras en los llanos bolivianos. Documento Técnico 74/1999. BOLFOR. Santa Cruz de la Sierra.

- Pearce, F. 1994. Forest destined to end in the mire. *New Scientist* 143:37-41.
- PRODISA-UAGRM. 2002. Diagnostico cadena de valor de la leche en Santa Cruz Bolivia. UAGRM. Santa Cruz, 2002. 169 pag.
- Reilly, J. 1995. Climate change and global agriculture: recent findings and issues. *Amer. J. Agr. Econ.* 77: 727-733.
- Reilly, J., W.E. Baethgen, F.E. Chege, S.C. van de Geijn, Lin Erda, A. Iglesias, G.Kenny, D.Patterson, J. Rogasik, R. Ritter, C. Rosenzweig, W. Sombroek and J. Westbrook. 1996. Agriculture in a changing climate: impacts and adaptation, IN: *Changing Climate: Impacts and Response Strategies*, Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Sarimento, J.L. 1993. Atmospheric CO<sub>2</sub> stalled. *Nature* 365 : 697-698.
- Smith P, Martino D, Cai Z. 2007. Agriculture. In: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds Metz B, Davidson OR, Bosch PR, Dave R, Meyer LA), pp. 497–540. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Superintendencia Agraria (SIA). 2006. Resultados de regulación de los 10 años del proceso agrario: 1996 – 2006. 24 pag.
- TROPICO-SIBTA-MACA. 2003. Estudio de identificación, mapeo y análisis competitivo de la cadena bovinos. 462 pag
- Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas (UDAPE). 2004. Documentos sectoriales: Sector agropecuario (1990-2004). 61 pag.
- van Groenigen JW, Velthof GL, Oenema O, van Groenigen KJ, van Kessel C. 2010. Towards an agronomic assessment of N<sub>2</sub>O emissions: a case study for arable crops. *European Journal of Soil Science*, 61, 903–913.