

# INVESTIGACIONES

## INVENTARIO DE GASES CON EFECTO INVERNADERO EMITIDOS POR LA ACTIVIDAD AGROPECUARIA CHILENA<sup>1</sup>

### Inventory of greenhouse gas emissions by Chilean agriculture

Rafael Novoa S-A.<sup>2</sup>, Sergio González M.<sup>2</sup>, Rosemary Novoa J.<sup>3</sup> y Rosa Rojas<sup>4</sup>

#### ABSTRACT

The greenhouse gas emissions from Chilean agriculture were estimated. The results showed that during 1994, Chilean agriculture emitted 321.92 Gg of methane; 21.80 Gg of N<sub>2</sub>O; 2.96 Gg of NO<sub>x</sub> and 51.97 Gg of CO. Also, agriculture generated 2.59 Gg year<sup>-1</sup> of non-methane volatile compound emissions (NMVOC). These figures as a percentage of the non-energy sector emissions are as follows: 74.3% for methane; 5.1% for CO; 93.8% for N<sub>2</sub>O; 9.8% for NO<sub>x</sub> and 4.9% for NMVOC. Taking into account the potential warming effects of methane and nitrous oxide as CO<sub>2</sub> equivalent amounts, agriculture is responsible for 10,504 Gg CO<sub>2</sub> year<sup>-1</sup>. Since forestry, land-use changes and handling of residues in Chile represent a net capture of 29,709 CO<sub>2</sub> Gg year<sup>-1</sup>, agriculture reduces this surplus to 35.4%. So, the total surplus is about 19.205 Gg year<sup>-1</sup>.

**Key words:** Greenhouse gases, emissions, agriculture, methane, nitrous oxides, carbon oxides.

#### INTRODUCCIÓN

El aumento de las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> y de otros gases que atrapan la energía electromagnética emitida por la superficie de la tierra está causando mucha preocupación, por el posible impacto que ello tenga sobre el clima del planeta. En efecto, la tierra mantiene su balance térmico emitiendo energía, día y noche,

en forma de radiación electromagnética. Así, por este proceso, gran parte de la energía solar incidente durante el día y absorbida por la superficie de la tierra es disipada. Esta emisión se produce principalmente en la banda de 4.000 a 15.000 nm. 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.

El vapor de agua absorbe en una banda entre los 5.000 y 80.000 nm con una ventana entre 8.000 y 12.000. Este tiene un gran "efecto invernadero" pero sus emisiones son poco influidas por el hombre. El CO<sub>2</sub> absorbe a los 2.000, 3.000, 4.300 y 15.000 nm; el ozono a los 9.600, el metano a los 3.000 y 7.100 nm, el N<sub>2</sub>O a los 4.300 a 4.600 y a los 7.200 nm. Todos ellos

<sup>1</sup>Recepción originales: 7 de abril de 1999.

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina, Casilla 439/3, Santiago, Chile.

E-mail: rnovoa@platina.inia.cl

sgonzale@platina.inia.cl

<sup>3</sup>Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Kampenaike, Casilla 277, Punta Arenas, Chile.

<sup>4</sup>Centro de Estudios Medición y Certificación de Calidad, Cesmec Ltda., Av. Marathon 2595, Santiago, Chile.

absorben dentro de la banda 4.000 a 15.000 nm (Gates, 1965; Montheith, 1973; Rosemberg, 1974). El efecto neto de estos procesos es aumentar la temperatura de la atmósfera baja y cerca de la superficie de la tierra pero enfría su parte alta, la estratósfera. Dado que este fenómeno es similar a lo que sucede en un invernadero de vidrio se habla de gases con efecto invernadero.

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 no 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.

Informaciones recientes entregan datos generales sobre el aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera en los últimos 1000 años (Amthor, 1998). Estos muestran que la concentración de este gas ha aumentado de 280 a más de 360 mg kg<sup>-1</sup> 200 años y que más del 50% del cambio se ha producido después de 1950, con una tasa de cambio de alrededor de 0,8 mg kg<sup>-1</sup> por año. También ha habido incrementos de aerosoles, especialmente de tipo azufrado, que tienen un efecto enfriador, por absorción de la radiación solar incidente y por su papel en la formación de nubes (Ciesla, 1996, Carter, 1996). Por este efecto de los aerosoles, por el de las erupciones volcánicas y por la remoción de grandes cantidades de CO<sub>2</sub> en forma de bicarbonato de calcio que son disueltas en el océano, hay investigadores que pronostican un enfriamiento en algunos lugares del mundo (Patterson, 1993, Sarimento, 1993, Pearce, 1994).

Además, se han hecho estimaciones del efecto relativo de los diferentes gases en el balance radiativo de la tierra, con ayuda de modelos de circulación general de la atmósfera. Las primeras

estimaciones indicaban aumentos de 4 a 5 °C en las temperaturas y, de 8 a 15% en las lluvias. Valores más recientes dados por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1994) indican incrementos de temperatura cercanas a 1,5 °C, desde la actualidad al año 2060 (Reilly, 1995).

Otro antecedente lo proveen mediciones de la radiación de onda larga que escapa al espacio, realizadas desde 1985 por el satélite ERBE (Raval y Ramanathan, 1989). Estas mediciones indican que la atmósfera tiene un efecto invernadero, efecto que hace posible el tener una temperatura media de 15 °C en la tierra y sin él sería de -18 °C; pero estas no establecen el origen del efecto, sólo indican que la atmósfera es la causante.

La agricultura, al nivel mundial, es responsable de sólo un 20% de las emisiones antropogénicas de gases con efecto invernadero, pero la importancia relativa de sus emisiones de metano y óxidos de N es más alta que la de otras fuentes.

Así, desde el punto de vista de la agricultura, las emisiones de CO<sub>2</sub> no son un problema, ya que se estima que para períodos de un año las emisiones se compensan con las captaciones. Sin embargo, hay estimaciones, según las cuales, del aumento total de la radiación anual forzada por efecto del CO<sub>2</sub>, el proveniente de la agricultura sólo sería responsable de un 4% de ese aumento y el resto proviene de los cambios de uso del suelo (12%) y de otras fuentes (54%), principalmente el sector energético.

El caso del metano y de los óxidos de N es diferente, ya que producen emisiones netas. La situación del metano es la siguiente: la concentración de metano ha aumentado de 0,8 partes por millón en volumen (ppmv) en 1850 m a 1,7 ppmv en la actualidad. Pero, su tasa de incremento ha disminuido desde 1970 en adelante desde 20 partes por miles de millones en volumen por año, a la mitad en 1992 (Ciesla, 1996). No se sabe el porqué de este descenso.

En cuanto a los óxidos de N, su contenido actual es de aproximadamente 0,3 ppmv, y está aumentando a tasas de un 0,2 – 0,3% al año.

Una estimación preliminar de las emisiones de estos gases para el caso de la agricultura chilena mostró que el metano era el principal gas emitido, con 273.361 Gg año<sup>-1</sup>, seguido del CO con 92.503 Gg año<sup>-1</sup>, y por los óxidos de N con 3.974 Gg año<sup>-1</sup> (González *et al.*, 1995). Estos mismos autores, al incluir el sector forestal, calcularon que el gas más emitido es el CO<sub>2</sub> con 573,5 Gg año<sup>-1</sup>, el CO aumentaba a 186 Gg año<sup>-1</sup> y el metano a 285 Gg año<sup>-1</sup>.

Por otra parte, la evidencia disponible sobre el efecto de los gases invernadero en el cambio climático ha sido usada para estimar los impactos de este en la agricultura (Mendelsohn *et al.*, 1994; Sanghi *et al.*, 1997). Un resumen de las conclusiones de diversos trabajos lo presentan Innes y Kane, 1995.

1.- Las estimaciones dependen del modelo de circulación de la atmósfera que se use, variando en órdenes de magnitud para los diferentes modelos (Reilly, 1995).

2.- Los países en desarrollo sufrirían impactos potencialmente mayores (Antle, 1995; Kaiser y Crosson, 1995; Reilly, 1995).

3.- La adaptación de los agricultores al cambio climático puede reducir los costos asociados, ya que hay disponibilidad de nuevas prácticas de cultivo posibles de ser adoptadas (Kaiser y Crosson, 1995; Reilly, 1995).

4.- Dado que el sector agrícola participa en una pequeña parte de la economía, en especial en países desarrollados, los impactos de la acumulación de gases con efecto invernadero en la agricultura serán pequeños, medidos en relación a la actividad económica general (Kaiser y Crosson, 1995; Reilly, 1995).

5.- El beneficio económico del aumento de CO<sub>2</sub>, que aumenta la producción agrícola por aumento de la fotosíntesis, puede ser importante en balancear otros costos. Pero este beneficio debe ser bien evaluado, en relación a otros, para no sobreestimarlos.

6.- Las innovaciones inducidas en respuesta al cambio de condiciones climáticas puede, potencialmente, mitigar los efectos adversos en la agricultura.

7.- Como los cambios previstos son desfavorables a la agricultura en algunas regiones, por mayores temperaturas y disminución de las lluvias en zonas áridas, por ejemplo, o favorables por aumento de temperaturas en zonas frías con suficiente agua, se piensa que al nivel de la tierra en su conjunto el impacto será poco o nulo, pero al nivel local puede ser grande.

En el presente trabajo se resumen los resultados obtenidos al hacer un inventario de las emisiones de gases con efecto invernadero para el caso de la agricultura chilena.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La confección del inventario de gases invernadero del sector agropecuario 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).

### Método de cálculo

El método estima las emisiones debidas al cultivo del arroz, la fermentación ruminal del ganado, las quemadas de residuos de cultivos, el

uso de fertilizantes nitrogenados, el uso de guano y la fijación biológica de N inducida por cultivos de leguminosas y praderas establecidas, siguiendo un modelo lineal. Esta suposición de linealidad no es siempre válida y debe ser considerada como una primera aproximación. El modelo puede ser descrito por la siguiente ecuación:

$$E \text{ (Gg/ha/año)} = A * (b * c * d)$$

Donde E es la emisión, A representa la biomasa (número de animales) o la superficie ocupada por un rubro, y los factores b, c y d, son coeficientes de transformación adecuados del valor A al gas en cuestión. El origen de estos valores son las estadísticas del país o región sobre estos temas.

Cada factor que multiplica a A representa una de las etapas en que se subdivide al proceso de cálculo, lo que permite dar flexibilidad para ajustar las tasas de los procesos a las condiciones locales. Los valores de los factores para cada caso pueden ser aquellos propuestos por defecto por el manual, u otros que los consultores consideren más apropiados. Los valores de A y de los factores de conversión requeridos y usados en este estudio se discuten a continuación.

#### Valores A

Son los datos estadísticos sobre superficies y producciones de los principales cultivos y de número de cabezas de las diversas especies de ganado del país; estos datos se recopilaron a nivel del país y de cada una de las regiones.

Se usaron los datos entregados por el Instituto Nacional de Estadísticas en sus informes anuales (INE 1993, 1994, 1995) y en los Censos Agropecuarios de 1976 y 1997 (INE 1976, 1997). Para los cálculos se usó un promedio de los valores de los tres años como una manera de reducir el error debido a fluctuaciones de las superficies sembradas y de errores en las estadísticas.

Desafortunadamente la información estadística tanto sobre superficies y producción de los cultivos, como del número de animales por especies sufrió de varias imperfecciones en el año 1994, ya que no concuerdan con la variación normal esperada o deducida de los censos. Por otra parte, se contó con el censo del sector agrícola publicado a comienzos de 1997, que contiene datos actualizados y muy confiables de las estadísticas agropecuarias para el año 1996. Para obtener datos más cercanos a la realidad de los años y rubros con antecedentes poco confiables, de las estimaciones que figuran en los anuarios INE o de especies animales (camélidos, cabras, asnos, por ejemplo) que no figuran en los anuarios, se tomaron los valores del censo de 1976 y de 1997 y se ajustó proporcionalmente los valores suponiendo una variación lineal de ellos.

#### Valores de los factores de conversión

Los factores de conversión usados para cada cálculo, se discuten a continuación. Estos valores pueden ser los dados por defecto, obtenidos en los manuales del método, o los más adecuados que se disponga para el país, región, especie o proceso.

#### Valores para las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>)

Las emisiones de CH<sub>4</sub> son generadas por el cultivo del arroz, la quema de residuos agrícolas, la fermentación ruminal y el manejo del guano. En el caso de las emisiones de metano por el arroz, la estimación usó los datos de superficies cultivadas con arroz y el factor integrado promedio, por defecto, propuesto por el IPCC para arroz cultivado bajo régimen de inundación: 20 g/m<sup>2</sup>. En este caso no se hace el ajuste por temperatura del método usado en 1990 (González, Novoa y Blazer, 1995). El cultivo de arroz en Chile, se hace 100% inundado, con siembra a mediados del mes de octubre, y cosecha entre mediados de marzo y primeros días de abril, según la zona, siendo más tarde hacia el sur; por ello se usó los factores dados para esta condición.

Los factores requeridos para las quemas de residuos agrícolas son: los residuos, el contenido de materia seca, la fracción quemada, la fracción oxidada, el contenido de C en el residuo y la tasa de emisión de  $\text{CH}_4$ . El factor residuos usado por cultivo, se estableció de acuerdo a la opinión de expertos del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). El contenido de materia seca se estimó de los valores de contenido del grano o paja dados en la Tabla Auxiliar Química Proximal de Alimentos (Ciudad y Rodríguez, 1982). El valor de la paja se usó en el caso de cultivos donde el residuo es esencialmente paja, como los cereales, y, en otros casos, se usó el valor para el grano o tubérculo, ya que los datos de producción se dan para estos productos, y el factor residuos es la relación entre peso seco de producto y peso seco de residuos. La fracción quemada se estableció de la opinión de los investigadores de INIA sobre las fracciones de superficie que se quema en cada cultivo. Los factores para la fracción oxidada, para el contenido de C y para la emisión de metano usados, fueron aquellos por defecto.

Los factores de emisión de  $\text{CH}_4$  usados para el caso del ganado, corresponden a los necesarios para estimar los producidos por la fermentación ruminal y por el manejo del guano. El método no habla de fermentación ruminal sino que de entérica, pero se ha preferido el término ruminal para dejar claramente establecido que éste es un proceso que ocurre en el rumen de las especies poligástricas y no en el estómago. Los valores usados son aquellos por defecto para Oceanía o para Europa del Este, prefiriéndose estos valores por estimar que las condiciones climáticas, las producciones y de manejo del ganado en Chile, se asemejan más a esas condiciones que a otras. Los valores de Europa del Este fueron usados para las regiones I a VII, IX y X; los de Oceanía para las otras regiones. Además, se ajustaron los valores, según la proporción de clima templado (temperatura media anual entre 15 a 25 °C) o frío (media anual menor de 15 °C) de cada región.

Para el manejo del guano se usaron los valores por defecto de Oceanía, para las regiones I a VIII y, más al sur, las de Europa del Este. También en este caso se ajustó por temperatura. Puede llamar la atención que para una región dada, se haya usado factores de emisión de Oceanía para la fermentación ruminal, y de Europa del Este para el manejo del guano, o viceversa. Ello se hizo por considerar que en las emisiones de  $\text{CH}_4$  producidas por la fermentación ruminal, influye más el tipo de manejo y las producciones obtenidas que el clima, mientras que en el manejo del estiércol es más dominante el clima.

Ejemplo de cálculo del Factor de Emisión (F.E.) de manejo del guano para el ganado no lechero de la I Región:

F.E. para ganado no lechero en Australia	6 en clima templado
	5 en clima frío

Se consideró que la ganadería de esa región está en un 20% en clima templado y un 80% en clima frío.

Por lo tanto, el factor usado es igual a:  $(0,8 * 5 + 0,2 * 6)$ .

#### Valores para la emisión de $\text{CO}$

Para este caso se usó el valor por defecto aplicado a partir de las estimaciones del contenido de C de los residuos quemados, y cuyo cálculo detallado se presentó en el párrafo sobre emisiones de  $\text{CH}_4$  por quema de residuos agrícolas.

#### Valores para la emisión de $\text{N}_2\text{O}$

Esta emisión resulta de los procesos quemas de residuos, aplicaciones de fertilizantes, fijación simbiótica de N y aplicaciones de guano.

Para estimar las emisiones por las quemas, se requiere conocer la relación N/C de los residuos y el factor de emisión. Los primeros se obtuvie-

ron de los valores de N derivados de los porcentajes de proteína dados por la Tabla Auxiliar Química Proximal de Alimentos (Ciudad y Rodríguez, 1982). El valor usado para el factor de emisión fue aquel por defecto. Los usados para estimar las emisiones desde el suelo derivan de los factores aplicados para las emisiones que producen la aplicación de fertilizantes, la fijación simbiótica de N y las aplicaciones de estiércol.

Para estimar las emisiones derivadas de las aplicaciones de fertilizantes, se debe conocer las tasas de aplicación de N promedio por cultivo y el factor de emisión. Las tasas de aplicación de N para cada cultivo fueron estimadas por los expertos del INIA, las que fueron comprobadas estimando la cantidad de N requerida para aumentar los rendimientos sobre cultivos no fertilizados, y las eficiencias de aprovechamiento del N. También, se usó información de los Anuarios FAO (FAO 1993, 1994, 1995) sobre uso de fertilizantes. Para la emisión se usó el factor por defecto.

Las emisiones derivadas de la fijación simbiótica requieren de una estimación de la cantidad de N fijado por los cultivos de leguminosas, las praderas de leguminosas y las mezclas forrajeras; en este último caso y en el de las praderas naturales, se requiere, además, conocer las fracciones de las superficies ocupadas con leguminosas; y los factores de emisión. La cantidad de N fijado por los cultivos y las praderas se basó en la opinión de expertos del INIA y en valores de N aportados por el suelo y la fertilización deducidos de la absorción de N. Esta fue estimada de las biomásas producidas y de los contenidos de N de ella, y que fueron calculadas para el caso de las quemas.

El  $N_2O$  producido por las aplicaciones de estiércol requiere de datos sobre cabezas de ganado, la producción por cabeza, porcentaje de N en el guano y factor de emisión. Los datos de las poblaciones animales fueron los dados por INE y ajustados según lo discutido anteriormente sobre

valores A. La producción de guano por cabeza y el porcentaje de N en el guano fueron establecidos de acuerdo a la opinión de expertos del INIA e información de la Universidad de Chile (1994). Los factores de emisión fueron aquellos dados por defecto.

En el método de cálculo de las emisiones de  $N_2O$  se estimaron también las emisiones por procesos directos e indirectos, no considerados anteriormente:

A las emisiones directas producidas por el uso de fertilizantes nitrogenados sintetizados, por uso de guano y residuos vegetales, quemas de residuos vegetales y fijación biológica de N, se agregaron las emisiones producidas por el cultivo de suelos orgánicos, histosoles, suelos que en Chile son muy poco cultivados.

Además, se consideraron las emisiones indirectas, no consideradas en los cálculos preliminares anteriores e incluidas en este: volatilización y subsecuente depósito de amoníaco y  $NO_x$  que se origina por la aplicación de fertilizantes, N lixiviado, y N presente en aguas servidas.

Para los cálculos, en todos estos procesos, se usaron los valores de los factores de emisión por defecto.

#### **Valores para las emisiones de $NO_x$ y Compuestos Volátiles No Metano (COVNM)**

Estos óxidos representan la suma de  $NO_2$ ,  $NO$  y otros similares. Se producen por la quema de residuos agrícolas. Los datos necesarios para su estimación son similares a los dados para el N y el factor de emisión es aquel por defecto.

Para estimar las emisiones de los COVNM, y dado que los manuales IPCC/OECD no proporcionan valores por defecto, se usó valores de emisión deducidos de los entregados por el programa europeo de Coordination of Information on the Environment (CORINE), 1994.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Las emisiones de metano

En el Cuadro 1 se muestran las estimaciones de las emisiones de metano que generó la agricultura chilena en 1994. Como se puede observar asciende a 321,92 Gg año<sup>-1</sup> resultando un 18% más alta que la estimación preliminar para el año 1990 (González *et al.*, 1995). La diferencia se debe a mayores valores por fermentación ruminal y manejo del guano. Por su parte, las emisiones del sector energía (transporte, industria y generación de energía) para este mismo año fueron 76,2 Gg año<sup>-1</sup> (PRIEN, 1999), las de la actividad forestal, cambio de uso del suelo y gestión de residuos fue de 111,3, por lo tanto, de las emisiones totales nacionales de este gas llegan a 509,4 Gg año<sup>-1</sup> y de ellas la agricultura contribuye con el 63%.

Dado que las emisiones totales de metano del sector no energético, esto es la suma de la agricultura, la actividad forestal, el cambio de uso

de los suelos y la gestión de residuos llegó ese mismo año a 433,2 Gg, implica que la agricultura aporta el 74,3% de las emisiones de este sector.

Dado el factor 11 para el potencial de recalentamiento relativo del metano, con respecto al CO<sub>2</sub>, el equivalente en CO<sub>2</sub> para la agricultura sería de 3.541,12 Gg año<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>. También se puede apreciar que la principal actividad emisora de metano es la ganadería, generando un 97% de las emisiones, y siendo la fermentación ruminal el proceso responsable del 82% de las emisiones. Las contribuciones del cultivo del arroz alcanzan al 2%, y las de las quemas al 0,8%.

Por otra parte, y dada la importancia de la ganadería, es lógico que estas emisiones se concentren en las regiones ganaderas. Así, vemos que las emisiones combinadas de las regiones VII a X producen el 72%, y que la X región es la más emisora, generando un 32,5% del total.

Una consecuencia interesante de estos resultados dice relación con la eventual aplicación de

Cuadro 1. Emisiones de metano por región, rubro y procesos para el año 1994. Gg año<sup>-1</sup>

Table 1. Methane emissions by region, commodity and process. 1994. Gg year<sup>-1</sup>

Región	Arroz	Bovinos de leche		Otro ganado			Total
		F. R.*	Guano	F. R.	Guano	Quemas	
I	0,00	0,05	0,02	1,53	0,29	0,00	1,88
II	0,00	0,01	0,00	0,21	0,05	0,00	0,27
III	0,00	0,14	0,05	0,61	0,06	0,01	0,88
IV	0,00	0,35	0,14	4,19	0,33	0,04	5,05
V	0,00	3,43	1,33	6,37	1,48	0,08	12,68
RM	0,00	3,23	1,26	7,76	5,70	0,14	18,09
VI	1,21	2,41	0,94	9,41	6,38	0,55	20,90
VII	4,05	2,37	0,92	20,45	3,28	0,61	31,68
VIII	1,14	5,47	2,51	27,94	4,87	0,44	42,36
IX	0,00	7,08	0,76	39,01	5,99	0,48	53,31
X	0,00	24,31	1,80	69,71	8,75	0,14	104,71
XI	0,00	0,86	0,05	10,59	0,57	0,00	12,07
XII	0,00	0,24	0,01	17,28	0,52	0,00	18,05
<b>Total</b>	<b>6,40</b>	<b>49,95</b>	<b>9,80</b>	<b>215,05</b>	<b>38,26</b>	<b>2,47</b>	<b>321,92</b>

\*F.R. Fermentación ruminal.

medidas de mitigación de emisiones. No cabe duda que ella debería focalizarse en aquellas medidas que puedan reducir la fermentación ruminal y como primera prioridad en la X Región.

### Las emisiones de CO

Si bien el CO no es un gas con efecto invernadero, influye en las mayores concentraciones de metano, ozono y óxidos nitrosos que si lo son.

En el Cuadro 2 se muestra las emisiones de CO, NO<sub>x</sub> y de compuestos volátiles no metano. Estas emisiones son producto de la quema de rastrojos.

Las estimaciones de las emisiones de CO dan un total de 51,97 Gg año<sup>-1</sup>, correspondiendo a las regiones VI a IX el grueso de ellas, 43,5 Gg, un 84% del total. En estas regiones la quema de rastrojos es una práctica habitual. La Región Metropolitana se consideró con baja emisión, ya que rige una prohibición de hacer quemas durante los meses de verano y otoño. Aún así, hay quemas clandestinas, pero las hemos estimado poco significativas. Las estimaciones del total de CO generado por el sector no energético chileno llegan a 1.026 Gg año<sup>-1</sup>. Por lo tanto, la contribución de la agricultura a estas emisiones corresponde a un 5,1% del sector, y un porcentaje mucho menor si se considera el sector energía, que es un gran emisor de CO (896,2 Gg, según PRIEN, 1999).

### Las emisiones de NO<sub>x</sub> y de Compuestos Volátiles no Metano

En lo referente a los NO<sub>x</sub> podemos apreciar en el Cuadro 2, que las emisiones alcanzan a 2,96 Gg/año. Ello representa un 9,6% del total emitido por el sector no energético, 30,6 Gg. Al igual que el caso del CO, las principales regiones donde se producen estas emisiones son de la VI a la IX y por el mismo proceso. Las emisiones del sector energía son 165,6 Gg/año (PRIEN, 1999) luego las emisiones del sector agropecuario sólo representan el 1,5% de las emisiones totales del país.

Por otra parte, las emisiones de COVNM llegan a 2,59 Gg año<sup>-1</sup> y representan un 4,9% de las emisiones el sector no energético. Las regiones de mayores emisiones van de la VI a la IX. El sector energía emite 253,70 Gg año<sup>-1</sup> y el forestal 50,16 Gg año<sup>-1</sup> por lo tanto, el total emitido por el país, alcanza a 306,45 Gg año<sup>-1</sup>. Así, las emisiones del sector agropecuario sólo representan un 0,8% de las del país.

### Las emisiones de N<sub>2</sub>O

En el Cuadro 3 se resumen las emisiones de N<sub>2</sub>O generadas por la agricultura. Como lo indican las cifras el total de las emisiones de N<sub>2</sub>O producidas por la agricultura chilena llega a los 21,80 Gg/ha. Ello representa un 93,8% de las

Cuadro 2. Emisiones de CO, NO<sub>x</sub> y COVNM<sup>1</sup> por región para 1994. Gg año<sup>-1</sup>

Table 2. CO, NO<sub>x</sub> and NMVOC emissions by region, 1994. Gg year<sup>-1</sup>

Gas	Región												País	
	I	II	III	IV	V	RM	VI	VII	VIII	IX	X	XI		XII
CO	0,00	0,00	0,27	0,79	1,66	2,86	11,46	12,85	9,16	10,04	2,86	0,02	0,00	51,97
NO <sub>x</sub>	0,00	0,00	0,01	0,04	0,08	0,14	0,64	0,75	0,52	0,61	0,17	0,00	0,00	2,96
COVNM	0,00	0,00	0,01	0,04	0,09	0,06	0,59	0,66	0,47	0,52	0,15	0,00	0,00	2,59

<sup>1</sup>Compuesto Volatil No Metano.



emisiones de este gas producidas por el sector no energético. Las del sector energía ascienden a 2,5 Gg año<sup>-1</sup> y las del forestal 0,77 Gg año<sup>-1</sup> las que sumadas a las anteriores da un total, para el país, de 25,07 Gg año<sup>-1</sup>. Ello significa que las emisiones del sector agropecuario son las más importantes contribuyendo en un 87% a ellas.

Si expresamos las primeras, en término del potencial de recalentamiento, ellas son equivalentes a 6.963 Gg de CO<sub>2</sub>, valor cercano al anhídrido carbónico generado en los incendios forestales, 7.855 Gg año<sup>-1</sup>. Se puede apreciar también que el proceso que más genera N<sub>2</sub>O es el uso de guano, llegando a un 39% del total del N<sub>2</sub>O emitido por la agricultura. Además, este uso es principalmente importante en las regiones Metropolitana y VI que, en conjunto, generan el 45% del total emitido por el guano. Le sigue en importancia las emisiones producidas por el uso de fertilizantes nitrogenados, un 22% de las emisiones totales. Ellas son significativas entre las regiones Metropolitana a la IX cuya suma representa un 80% de total de las producidas por fertilizantes en el país.

### Potencial de calentamiento total de las emisiones de la agricultura

No todos los gases con efecto invernadero poseen igual capacidad para calentar la atmósfera, tanto por su poder intrínseco para absorber radiación, como por su vida media en la atmósfera. Así se ha desarrollado una escala relativa que compara los diferentes gases con el CO<sub>2</sub>. De acuerdo a esta, si el CO<sub>2</sub> tiene un poder 1, el metano tiene un 11, los óxidos de N un 320 y los CFC entre 1.300 y 4.000 (Ciesla, 1996).

Si sumamos el potencial de calentamiento de las emisiones de metano y del N<sub>2</sub>O, y lo expresamos en equivalentes Gg de CO<sub>2</sub>, resulta que la agricultura estaría emitiendo un total equivalente a 10.504 Gg de CO<sub>2</sub> año<sup>-1</sup>. Dado que la silvicultura, el cambio de uso del suelo y la gestión de residuos del país, generan una captación neta de CO<sub>2</sub> de 29.888,9 Gg año<sup>-1</sup> (INIA, 1999) la agricultura estaría reduciendo este excedente en un 32%, el que quedaría en 19.205 Gg.

Cuadro 3. Resumen de las emisiones de N<sub>2</sub>O por Región y proceso, 1994. Gg año<sup>-1</sup>

Table 3. Summary of N<sub>2</sub>O emissions by region and process. 1994. Gg year<sup>-1</sup>

Región	Quemas	Fertilización	Fijación	Guano	Histosoles	Lixiviación	Total
I	0,00	0,03	0,00	0,11	0,00	0,01	0,15
II	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03
III	0,00	0,03	0,02	0,04	0,00	0,01	0,10
IV	0,01	0,12	0,05	0,23	0,00	0,06	0,47
V	0,04	0,27	0,17	0,48	0,00	0,20	1,16
RM	0,13	0,56	0,24	1,96	0,00	0,63	3,52
VI	0,46	0,98	0,24	1,91	0,00	0,88	4,47
VII	0,30	0,84	0,60	0,64	0,00	0,53	2,91
VIII	0,39	0,75	0,61	0,88	0,00	0,54	3,17
IX	0,48	0,65	0,73	0,72	0,00	0,46	3,04
X	0,15	0,44	0,22	0,82	0,00	0,31	1,94
XI	0,00	0,03	0,00	0,19	0,00	0,01	0,23
XII	0,00	0,06	0,00	0,54	0,00	0,01	0,61
<b>Total</b>	<b>1,96</b>	<b>4,77</b>	<b>2,88</b>	<b>8,54</b>	<b>0,00</b>	<b>3,65</b>	<b>21,80</b>

## CONCLUSIONES

De lo expuesto podemos concluir que:

1. La agricultura emite gases con efecto invernadero por un equivalente a 10.504 Gg de CO<sub>2</sub> año<sup>-1</sup>.
2. Los dos principales gases con efecto invernadero emitidos por la agricultura chilena son el metano y el N<sub>2</sub>O.
3. La principal fuente de metano es la fermentación ruminal del ganado.
4. Las principales fuentes de N<sub>2</sub>O son el uso y manejo del guano y el uso de fertilizantes nitrogenados.
5. Las quemas de rastrojos son el origen de las emisiones de CO y del COVNM.

## RESUMEN

Se realizó una estimación de los gases con efecto invernadero emitidos por la agricultura chilena. Los resultados indican que el año 1994, la agricultura chilena emitió 321,92 Gg de metano, 21,80 Gg de N<sub>2</sub>O; 2,96 Gg de NO<sub>x</sub> y 51,97 Gg de CO. Además, se estimó que las emisiones de COVNM llegan a 2,59 Gg año<sup>-1</sup>. Estas cifras expresadas como porcentaje de las emisiones del sector no energía chileno llegan a un 74,3% para el metano, un 5,1% para el CO; un 93,8% para el N<sub>2</sub>O; un 9,8% para los NO<sub>x</sub> y un 4,9% para los COVNM. Al sumar el potencial de calentamiento de las emisiones de metano y óxidos de N resulta que la agricultura estaría emitiendo un total equivalente a 10.504 Gg de CO<sub>2</sub> año<sup>-1</sup>. La silvicultura, el cambio de uso del

suelo y la gestión de residuos del país, generan una captación neta de CO<sub>2</sub> de 29.709 Gg año<sup>-1</sup>, por ello se reduce este excedente en un 32%, el que quedaría en 19.205 Gg.

**Palabras claves:** Gases invernadero, emisiones, agricultura, metano, óxidos nitrosos, óxidos de carbón.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen y agradecen el importante apoyo de CONAMA-CHILE y al financiamiento proporcionado por el U.S. Country Studies Programm sin cuya participación hubiese sido imposible realizar este trabajo.

## LITERATURA CITADA

- 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.
- ANTLE, J. M. 1995. Climate change in developing countries. *Amer. J. Agr. Econ.* 77: 741-746.
- CARTER, T. R. 1996. Developing scenarios of atmosphere, weather and climate for northern regions. *Agricultural and Food Science in Finland* 5: 235-249.
- CIESLA, W. M. 1996. Cambio climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. FAO. Estudio FAO Montes 126. Roma, Italia. 146 p.
- CIUDAD, C. Y RODRÍGUEZ, O. 1982. Tabla auxiliar química proximal de alimentos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental La Platina. Santiago, Chile. 36 p.

- CORINE. 1994. Coordination of information on the environment. Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero. CORINE - AIRE e IPCC. Madrid, España. 250 p.
- FAO. 1993. Food and Agriculture Organization. Anuario de uso de fertilizantes. FAO. Roma, Italia. 143 p.
- \_\_\_\_\_. 1994. Food and Agriculture Organization. Anuario de uso de fertilizantes. FAO. Roma, Italia. 121 p.
- GATES, D. M. 1965. Energy exchange in the biosphere. New York, USA. Harper & Row, 151 p.
- GONZÁLEZ M., S.; NOVOA S-A., R. Y BLASER G., C. 1995. Preliminary inventory of greenhouse gases in Chile: agriculture, land-use change and forestry. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela 10 (1-2): 130-147
- INE. 1976. Instituto Nacional de Estadísticas. Censo Agropecuario, 1975/1976. Total País. Santiago, Chile. 208 p..
- \_\_\_\_\_. 1976. Instituto Nacional de Estadísticas. Estadísticas pecuarias. Santiago, Chile. 104 p
- \_\_\_\_\_. 1994. Instituto Nacional de Estadísticas. Estadísticas pecuarias. Santiago, Chile. 95 p.
- \_\_\_\_\_. 1995. Instituto Nacional de Estadísticas. Estadísticas pecuarias. Santiago, Chile. 79 p.
- \_\_\_\_\_. 1997. Instituto Nacional de Estadísticas. VI Censo Nacional Agropecuario. Resultados preliminares. Santiago, Chile. 443 p.
- INIA. 1999. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Informe final para la Comisión Nacional del Medio Ambiente. Finalización del Inventario de gases invernadero y análisis de opciones de mitigación. Sector no energía. Santiago, Chile. 155 p.
- INNES R. AND KANE, S. 1995. Agricultural impacts of global warming. Amer. J. Agr. Econ. 77: 747-750.
- 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. París, Francia. Manual de Referencia. USA. Volumen I. 410 p.
- IPCC/OECD. 1996. Intergovernmental Panel for Climatic Change/Organization for Economical Country Development. París, Francia. Manual de Trabajo. Volumen II. 190 p.
- IPCC/OECD. 1996. Intergovernmental Panel for Climatic Change/Organization for Economical Country Development. París, Francia. Manual de Instrucciones de Informes. Volumen III. 75 p.
- KAISER, H. M. AND CROSSON, P. 1995. Implications of climate change for U.S. Agriculture. Amer. J. Agr. Econ. 77: 734-740.
- MENDELSON, R.; NORDHAUS, W. AND SHAW, G. D. 1994. The impact of global warming on agriculture: a Ricardian analysis. American Economic Review 84 (4): 753-771.

- MONTHEITH, J. L. 1973. Principles of environmental physics. London.U.K. Edward Arnold Limited. 241 p.
- PATTERSON, D. 1993. Did Tibet cool the world? New Scientist 139: 29-33.
- PEARCE, F. 1994. Forest destined to end in the mire. New Scientist 143: 37-41.
- PRIEN. 1999. Programa de Investigación en Energía. Universidad de Chile. Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero del sector energía Universidad de Chile. Santiago, Chile. 73 p.
- RAVAL, A. AND RAMANATHAN, V. 1989. Observational determination of the greenhouse effect. Nature 342: 758 -761.
- REILLY, J. 1995. Climate change and global agriculture: recent findings and issues. Amer. J. Agr. Econ. 77: 727-733.
- ROSEMBERG, N. J. 1974. Microclimate: the biological environment. New York. USA. John Wiley and Sons. 315 p.
- SANGHI, A.; ALVES, D.; EVENSON, R. AND MENDELSON, R. 1997. Global warming impact on Brazilian agriculture: estimates of the Ricardian model. Economía aplicada 1(1): 7-33.
- SARIMENTO, J. L. 1993. Atmospheric CO<sub>2</sub> stalled. Nature 365: 697-698.
- UNIVERSIDAD DE CHILE. 1994. Sistemas de manejo de estiércol e instalaciones de ordeña para rebaños lecheros de alta producción. Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias. Escuela de Post-Grado. Departamento de Fomento de la Producción Animal. Santiago, Chile. 27 p.