

# Resultados del Sector Agricultura

*Sergio González Martineaux  
Francisco Salazar Sperberg  
Claudio Salas Figueroa  
Roxana Tessada Sepúlveda*

## 1. INTRODUCCIÓN

**E**n general, la importancia de la Agricultura en las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero, es una función directa, tanto del desarrollo económico del país como de las condiciones climáticas dominantes: tiende a ser alta en países en desarrollo y/o bajo climas mediterráneos, y baja en países desarrollados y/o climas fríos.

Independiente de ello, hay que consignar una constante: en el 100% de los inventarios de gases invernadero, elaborados por los países desarrollados, la fermentación entérica entra en el grupo de categorías claves, o sea, aquél grupo de categorías con mayores aportes individuales y que, en su conjunto, acumulan el 95% de las emisiones brutas del país <sup>A</sup>.

Otras categorías agrícolas, que frecuentemente se ubican entre las categorías claves, son los suelos agrícolas, con sus emisiones de óxido nitroso ( $N_2O$ ); generalmente, es la principal fuente individual de este gas invernadero, a nivel nacional. Con menor frecuencia, se incorporan a este grupo de categorías claves, las emisiones de metano ( $CH_4$ ) y óxido nitroso ( $N_2O$ ) generadas en el manejo del estiércol, bajo condiciones de plantales ganaderos confinados.

---

<sup>A</sup> La secretaría de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, más conocida por su sigla en inglés UNFCCC), publica los inventarios nacionales presentados por los países, en la página [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/items/3473.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/items/3473.php)

Algunas categorías agrícolas, como la quema *in-situ* de residuos agrícolas, han perdido toda importancia en los países desarrollados, debido a la prohibición del uso del fuego, como herramienta para la eliminación de esta biomasa residual. La quema, prescrita o no, de sabanas tiende a ser relevante sólo en países con condiciones climáticas tropicales y con una estación seca prolongada. De la misma manera, las emisiones por cultivo del arroz pueden ser importantes, solamente, para determinados grupos de países, en este caso, los del continente asiático, grandes productores de este cereal.

## 2. ANÁLISIS GLOBAL

El análisis se concentra en las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ ), únicos gases invernadero emergentes de la actividad agrícola, ya que las emisiones de anhídrido carbónico o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) se consideran en equilibrio con la síntesis de biomasa vegetal. Por tratarse de emisiones producidas, como resultado de procesos microbiológicos, la agricultura no genera emisiones de gases típicamente de origen industrial, como los CFC (clorofluorocarbonos), HCFC (hidroclorofluorocarbonos) y los halones (clorobromofluorocarbonos)

La **Figura 5.1.** indica, que la emisión total de gases invernadero del Sector Agricultura, que alcanzó 10.069 Gg  $\text{CO}_2$ -equiv.<sup>A</sup> en 1984, presentó un incremento relativamente constante, a lo largo del período analizado, hasta contabilizar 13.319 Gg  $\text{CO}_2$ -equiv., en 2003, lo que significa un incremento global del 32,3%; si se toma en cuenta los años 1990<sup>B</sup> y 2003, el incremento en las emisiones agrícolas alcanzó el 19%. En alguna medida, esto está reflejando la profunda transformación tecnológica que ha vivido la agricultura nacional en las últimas

---

<sup>A</sup> Para poder sumar las cantidades de distintos gases invernadero, es necesario multiplicar cada uno por su correspondiente factor de potencial de calentamiento (warming potencial factor, WPF), que entrega el PICC. Para el  $\text{CH}_4$ , es 21 y para el  $\text{N}_2\text{O}$ , 310, y su uso permite transformar las cantidades de cada gas específico en  $\text{CO}_2$ -equivalentes

<sup>B</sup> La casi totalidad de los países que ratificaron el Protocolo de Kyoto definieron este año, como el de base para la definición de las cantidades de emisiones que no deberán exceder durante el primer período de cumplimiento (2008 a 2012)

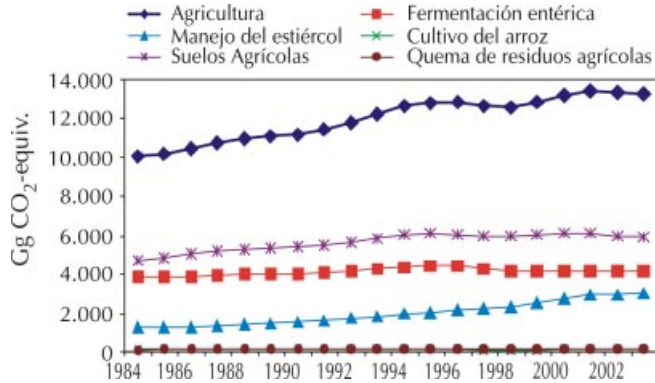


Figura 5.1. Evolución de las emisiones de gases invernadero del sector Agricultura

décadas, la que puede evaluarse positivamente desde una perspectiva productiva y económica pero que trae aparejada la externalidad ambiental negativa de incrementar las emisiones de gases invernadero.

Como se ve, la categoría que más aportó a las emisiones del sector fue la de los suelos cultivados, a través de las emisiones de óxido nítrico ( $N_2O$ ). Entre 1984 y 2003, las emisiones de esta categoría aumentaron de 4.725 a 5.913 Gg  $CO_2$ -equiv., significando un incremento del 25,1%. No obstante, la importancia de la categoría en el sector tendió a disminuir en el período estudiado: de 46,9% y 48,1%, en 1984 y 1990, respectivamente, se bajó a 44,4%, en 2003.

La segunda categoría en importancia fue la fermentación entérica, que aporta metano ( $CH_4$ ). Su importancia relativa se mantuvo a lo largo de la serie temporal, no obstante sufrir un descenso fluctuante entre el 38,1%, en 1984, y 31,2%, en 2003. Este descenso de la importancia relativa se verificó en un escenario de aumento de las emisiones absolutas, de 3.837,9 Gg  $CO_2$ -equivalentes, en 1984, a 4.151,4 Gg  $CO_2$ -equivalentes, en 2003, significando 8,2% de incremento absoluto.

La tercera categoría en importancia fue el manejo del estiércol, que aporta metano y óxido nítrico. Aunque no alcanzó a sobrepasar a la fermentación entérica, su importancia ascendió de 12,4 a 22,6%, entre

los años extremos, debido a un aumento de la emisión del 140,1%, de 1.251,1 a 3.003,5 Gg CO<sub>2</sub>-equivalentes.

El aumento de las emisiones agrícolas se debe a los suelos cultivados (25,1% desde 1984 y 9,7% desde 1990), la fermentación entérica (8,2% desde 1984 y 3,5% desde 1990), pero muy especialmente, al manejo del estiércol, con un incremento del 140,1%, desde 1984, y de 97,0%, desde 1990.

Las categorías menores del sector son el cultivo del arroz, que manifiesta una tendencia global descendente pero oscilante en sus emisiones de metano (CH<sub>4</sub>), producto de las variaciones interanuales de la superficie cultivada, y la quema de residuos de cultivos, que muestra una tendencia creciente aunque también oscilante. En todo caso, sus aportes combinados son bajos y decrecientes: de 2,5% de las emisiones sectoriales en 1984, se bajó a 1,9%, en 2003 (**Figura 5.2.**).

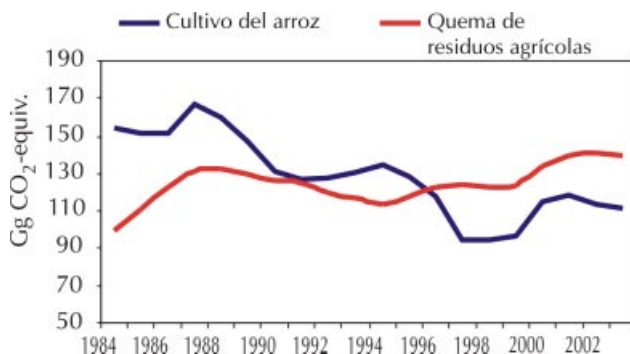


Figura 5.2. Evolución temporal de las emisiones de gases invernadero debidas a las categorías menores

Las emisiones agrícolas no se generan uniformemente desde todo el territorio nacional sino que de los espacios dedicadas a la agricultura y, dentro de estos, principalmente de aquellos que albergan a una agricultura intensiva. Como lo indica la **Figura 5.3.**, la zona con la máxima emisión es la X Región de Los Lagos <sup>^</sup>, debido fundamentalmente a

<sup>^</sup> En la actualidad, dividida en la X Región de Los Lagos y la XV Región de Los Ríos

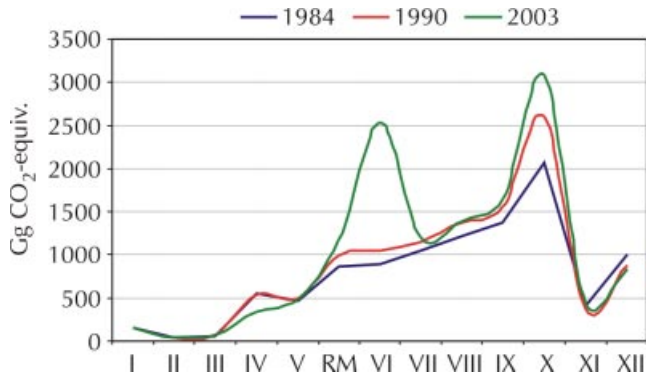


Figura 5.3. Perfil regional de las emisiones agrícolas de gases invernadero, para los años 1984, 1990 y 2003

la concentración del ganado vacuno que se produce en ella. Llama la atención que, en 2003, emergió como segunda zona emisora la VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins Riquelme, situación no verificada los para los años 1984 y 1990; esta mayor incidencia de esta región administrativa puede ser explicado por la creciente intensidad de los cultivos establecidos y, principalmente, por el crecimiento de la población porcina que se concentró en ella.

En el lado de las menores emisiones, las regiones extremas, tanto al norte como al sur, traducen sus bajas actividades agrícolas (debidas, una a la escasez de agua y otra a condiciones climáticas desmedradas) en emisiones de gases invernadero de baja magnitud.

La **Figura 5.4.** muestra que, si son expresadas en CO<sub>2</sub>-equivalente, queda en claro que las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) son similares, no obstante algunas variaciones interanuales. Llama la atención que, en 2003, las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) superaron en un 5% las de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), situación que empieza a delinear a partir del año 2000; antes de ese año, las emisiones de óxido nitroso son siempre ligeramente mayores a las de metano.

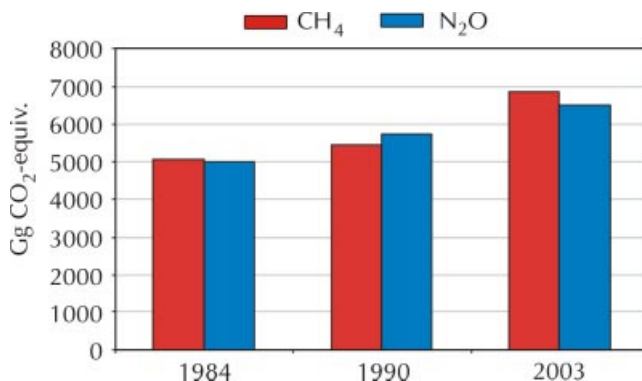


Figura 5.4. Comparación entre las emisiones de metano y óxido nitroso, para los años 1984, 1990 y 2003

En cuanto a las emisiones de metano, la **Figura 5.5.** muestra la contribución relativa de cada categoría, en los años 1984, 1990 y 2003. De ella, se desprende que la contribución principal provino siempre de la fermentación entérica, condición que se mantiene a lo largo de la serie temporal aunque su importancia decrece significativamente en 2003, debido al incremento experimentado por el manejo del estiércol. Las otras dos categorías (cultivo del arroz quema de residuos) hacen una contribución que, en ninguno de estos años, supera del 5%.

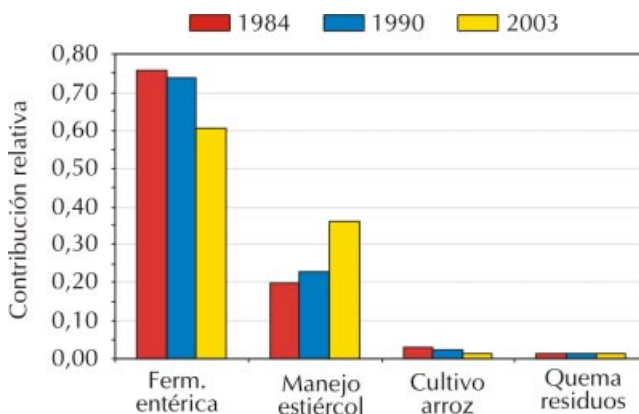


Figura 5.5. Contribución de categorías agrícolas a las emisiones de CH<sub>4</sub>

En cuanto a las emisiones de óxido nítrico, la **Figura 5.6.** muestra que la categoría que agrupa de los suelos cultivados monopoliza las emisiones sectoriales de óxido nítrico, con contribuciones anuales que se mantienen por sobre el 90%, no obstante la leve baja para el año 2003, la que responde al incremento experimentado por el manejo del estiércol. La otra categoría contribuyente –la quema de residuos de cultivos- se mantuvo siempre por debajo del 1%.

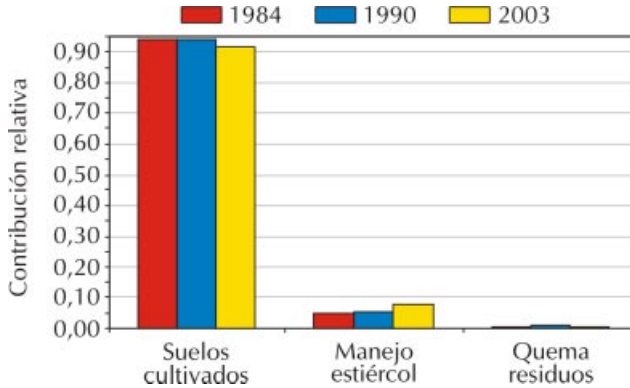


Figura 5.6. Contribución de categorías agrícolas a las emisiones de  $N_2O$

### 3. GANADO DOMÉSTICO

Para el Sector Agricultura, la ganadería doméstica es una de las actividades que más contribuyen a las emisiones de gases invernadero; de hecho, la ganadería doméstica contabiliza emisiones tanto por fermentación entérica como por manejo del estiércol, además de aportar significativamente a las emisiones desde la superficie de los suelos cultivados, a través de la incorporación de estiércol a los suelos. Por ello, es conveniente analizar la situación de las diversas especies domésticas ya que, debido al carácter lineal del método del PIVV, las tendencias poblacionales explican las tendencias en las emisiones de gases invernadero.

Evidentemente, la distribución de las poblaciones de animales domésticos no es uniforme por todo el país, sino que es función de la adaptación de las especies a las condiciones ambientales prevalentes y de variables económicas. Además, los sistemas de crianza son distintos, siendo más intensivos, con estabulación parcial o completa, en la zona centro norte y sistemas más extensivos a pastoreo con bovinos en la zona sur.

Cabe hacer notar que, en este análisis, no se incluyen algunas especies avícolas de reciente introducción, como el avestruz, o de mamíferos introducidos para fines de caza, como el ciervo rojo, de las cuales no hay estadísticas disponibles; por esta razón, no fueron incluidas en el inventario. Si embargo, se estima que su contribución a la generación de gases es baja dado por el bajo número de animales en estas categorías.

Las vacas lecheras se concentran en la X Región de Los Lagos (**Figura 5.7.**), unidad territorial que concentra, según los datos de 2003, el 58% de las 477 mil cabezas existentes en el país; igualmente, la masa de bovinos que no producen leche, compuesta por individuos juveniles, vacas de carne y machos, también se concentra en esa región representando el 36% de la masa bovina nacional. Su distribución es bastante más regular que la de las vacas lecheras. De acuerdo con estos

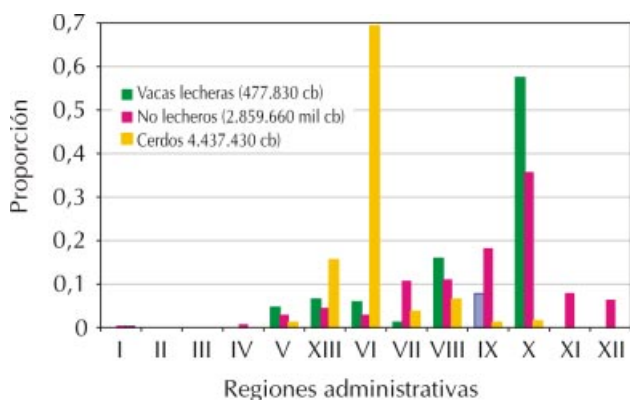


Figura 5.7. Distribución regional de la población bovina y porcina, en 2003



valores, se puede predecir que las emisiones por fermentación entérica del ganado bovino serán más abundantes en esta región.

Por su parte, la masa porcina está concentrada fuertemente en la VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins Riquelme, la que en 2003 contaba con el 69% de la población nacional; en segundo lugar se ubica la XIII Región Metropolitana de Santiago, que concentra el 16% de la población porcina. En 1990, la situación era distinta ya que la VI Región concentraba sólo el 35% de la población y la RM el 32%, lo que significa que, a partir de ese año, la población porcina creció básicamente concentrada en la VI Región..

En el caso de esta especie, cuya crianza es casi 100% confinada, su concentración en estas dos regiones obedece principalmente a condiciones económicas ventajosas, generadas por la cercanía y facilidad de acceso a puertos (para reopción de insumos alimenticios y/o exportación de productos) y al gran centro consumidor de Chile, que es la ciudad capital. Junto con ello existen condiciones ambientales favorables desde el punto de vista sanitario. La distribución de la población porcina está condicionando un perfil regional similar para las emisiones de óxido nitroso ( $N_2O$ ) por manejo del estiércol, ya que son su principal causa. Actualmente, por razones de normativas ambientales que tienden a proteger la población humana de olores desagradables y vectores de enfermedades, la política de las grandes empresas del rubro es su expansión hacia sectores menos habitados, como por ejemplo la III Región de Atacama.

Las razones señaladas para la crianza de cerdos, es también válida para las aves de corral, específicamente broilers, cuyo perfil de distribución regional se muestra en la **Figura 5.8**. Para las especies cuyas poblaciones son mantenidas bajo condiciones de pastoreo directo o de estabulación parcial, su distribución regional obedece principalmente a condiciones edafoclimáticas apropiadas para el desarrollo de este tipo de ganadería y un menor valor del suelo comparado con la zona centro norte, que permite competir a este rubro en esta área o otros rubros, condición que no se da en la zona centro norte con una alta tecnificación e intensificación de la agricultura, especialmente fruticultura.

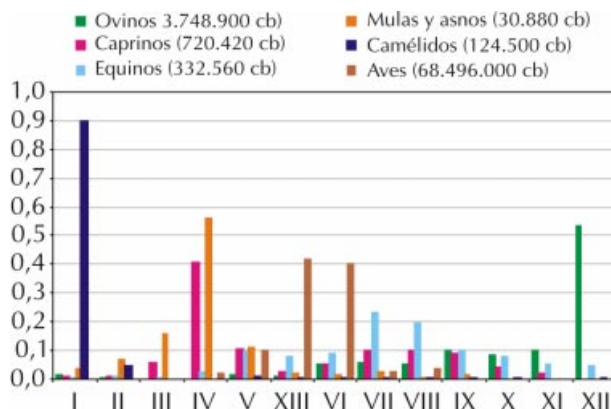


Figura 5.8. Distribución regional de otras especies animales, al año 2003

En cuanto a los camélidos de altura (alpacas, llamas), se puede observar en la Figura 5.8. que se concentran casi exclusivamente en la I Región de Tarapacá, específicamente en la zona altiplánica. La población de mulas y asnos, así como la de caprinos, animales adaptados a condiciones de aridez, muestran una fuerte concentración en la IV Región de Coquimbo (56 y 41%, respectivamente). Por su parte, los equinos, tienen una distribución más regular, concentrándose mayoritariamente en las regiones VII del Maule y VIII del Bío-Bío (23 y 19%, respectivamente). Finalmente, los ovinos están principalmente en la XII Región de Magallanes y la Antártica Chilena, con un 53% de la población nacional, esta especie habita en la pampa magallánica, especialmente en Tierra del Fuego (Figura 5.8.).

Como muestra la **Figura 5.9.**, de las dos especies con mayor impacto en las emisiones de gases invernadero (bovinos y porcinos), la porcina es la que ha experimentado el mayor crecimiento en el período estudiado. Su población fue incrementada de 1,2 millones de cabezas, en 1984, a 4,4 millones de cabezas, en 2003, significando un crecimiento real del 267%; sin embargo, en los últimos tres años, la tasa de crecimiento se ha reducido, quizás indicando un inicio de tendencia a la estabilización la que se mantendría a no mediar algún cambio relevante del mercado.

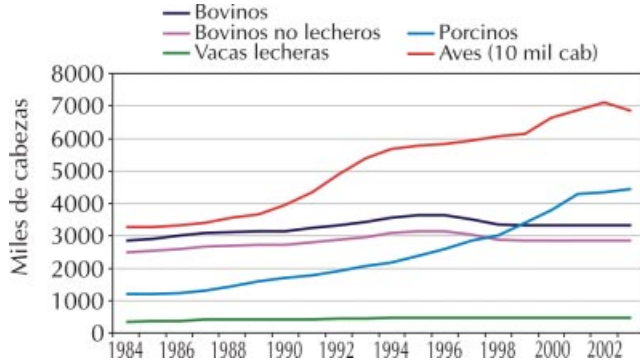


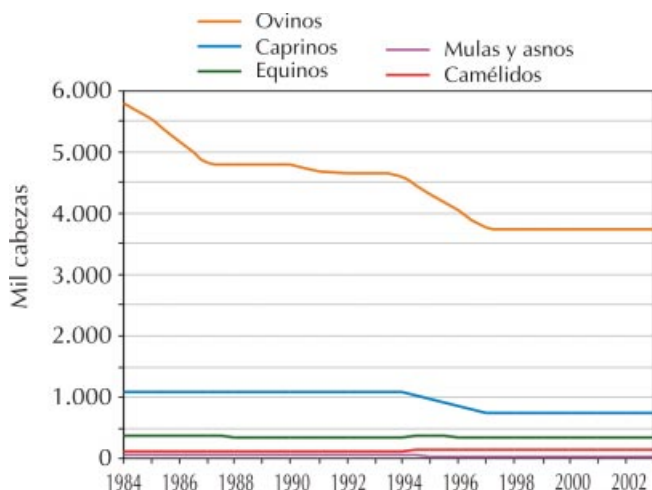
Figura 5.9. Evolución de las poblaciones bovinas, porcinas y de aves

El ganado bovino presentó una condición más o menos estable, con un incremento menos pronunciado. Así, entre 1984 y 2003, la población de vacas lecheras subió un 32% (de 362 mil a 478 mil cabezas) mientras que la no lechera lo hizo en un 15% (de 2,5 a 2,9 millones de cabezas), principalmente en la X Región. Para el análisis debe tenerse presente que no se contó con datos de poblaciones bovinas, para los últimos cinco años de la serie temporal, habiéndose adoptado el mismo valor existente para 1998; es posible, por tanto, que esta situación cambie cuando se disponga de estadísticas poblacionales actualizadas generadas a partir del VII Censo Nacional Ganadero 2007.

Otra especie con crecimiento temporal importante es la de aves de corral, casi exclusivamente, broilers. Esta población más que se duplicó para el año 2003 (32,5 millones en 1984, y 68,5 millones de cabezas en 2003), aunque en este año mostró un descenso relativamente importante respecto del año inmediatamente anterior. Se trata de una especie con nulo aporte a la fermentación entérica y bajo aporte al manejo del estiércol.

También es importante considerar, que hubo carencia de series completas de datos poblacionales publicados para algunas otras especies, específicamente cabras, mulas y asnos, y equinos; ello no tiene gran influencia en la precisión de las emisiones estimadas por cuanto se trata de poblaciones con mínimo impacto en las emisiones de gases

invernadero. Para reducir la incertidumbre, en todo caso, se trabajó con el criterio de aplicar el último dato estadístico publicado a todos los años posteriores, hasta contar con un nuevo dato publicado. Los cambios temporales en las poblaciones de estas especies menores (ovinos, caprinos, equinos, mulares y ásnidos, y camélidos de altura, son mostradas en la **Figura 5.10**.



*Figura 5.10. Evolución de las poblaciones de ovinos, caprinos, equinos, mulares y asnales, y camélidos de altura*

De esta figura, se desprende que la población ovina muestra un decrecimiento del 35,6% entre 1984 (5,8 millones de cabezas) y 2003 (3,8 millones de cabezas). Esta tendencia decreciente también se verifica con la población caprina, la que alcanza el 34,4%, aunque en cifras poblacionales menores y con mayor incertidumbre de los datos poblacionales. Las otras especies (equinos, mulares y asnales, camélidos) muestran tendencias poblacionales estables.

#### 4. ANÁLISIS POR CATEGORÍA

Como se indicó en capítulos anteriores, el inventario de gases de efecto invernadero del Sector Agricultura contempla:

- emisión de metano ( $\text{CH}_4$ ), por fermentación entérica,
- emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), por manejo del estiércol,
- emisión de metano ( $\text{CH}_4$ ), por cultivación de arroz,
- emisión de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), desde suelos cultivados (llamados, suelos agrícolas), y
- emisiones de gases no- $\text{CO}_2$  ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$  y COVNM), por:
  - quema prescrita de sabanas, categoría inexistente en el país, y
  - quema *in-situ* de residuos de cultivos, existentes en el país.

#### 4.1. Fermentación entérica

Como ya se mostró en la Figura 5.1., en términos de  $\text{CO}_2$ -equivalentes, las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) por fermentación entérica son las segundas en importancia del Sector Agricultura, sólo superadas por la emisión de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) desde la superficie de los suelos cultivados. El rango de la emisión de metano ( $\text{CH}_4$ ) fluctuó entre 181,3 y 209,6 Gg  $\text{CH}_4$ /año; se detectó una tendencia temporal creciente, con un incremento total del 8,2 y 4,2%, respecto de 1984 y 1990, respectivamente, aunque registró un incremento intermedio, en 1996, del 14,6%, respecto de 1984, y 9,6%, respecto de 1990.

Estas emisiones, generadas por procesos microbiológicos al interior del sistema gástrico de los animales, provienen en su gran mayoría de los rumiantes. Ello se ve corroborado por la **Figura 5.11.**, que muestra que las dos principales especies responsables de estas emisiones, son la bovina y la ovina; entre ambas, acumulan el 90% de las emisiones de esta categoría. La importancia relativa de las restantes especies, incluyendo porcinos, caprinos, equinos, molares, asnos y camélidos, es mínima. El PICC no proporciona factor de emisión para las aves, por lo que sus emisiones no fueron estimadas; de todas formas, se estima que su aporte debiera ser mínimo.

La **Figura 5.12.**, muestra la forma como se distribuyen estas emisiones por las regiones administrativas. Es evidente que, siempre, la máxima emisión se produce en la X Región, donde se concentra la mayor parte de la población bovina, por lejos la principal especie responsable de estas emisiones. Esta región, es la única desde donde estas emisiones

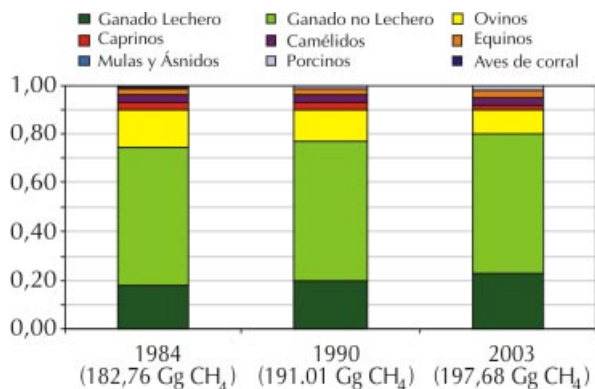


Figura 5.II. Contribución de especies animales a la emisión de CH<sub>4</sub> por fermentación entérica

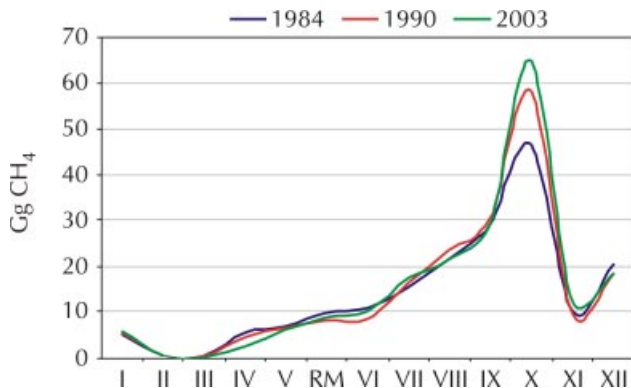


Figura 5.I2. Perfil de distribución regional del CH<sub>4</sub> emitido por fermentación entérica

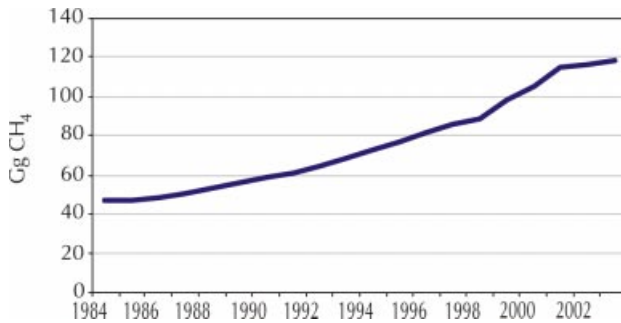
experimentan aumentos a través de los años, lo cual se explica por el incremento de la población bovina en esta región. En el otro extremo, la figura indica que las emisiones son mínimas desde las regiones II y III.

#### 4.2. Manejo del estiércol

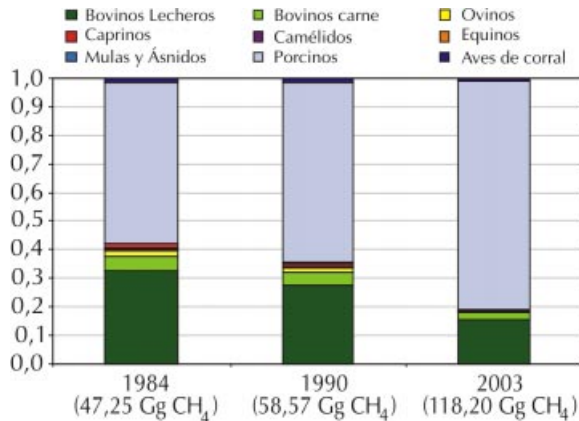
El apilamiento del estiércol, que se produce en plantales ganaderos de producción confinada, genera las condiciones anaeróbicas óptimas para la emisión de gases reducidos, siendo dos de ellos -el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)- gases de efecto invernadero.

**A. Emisión de metano (CH<sub>4</sub>)**

La **Figura 5.13.** indica que la emisión total de metano (CH<sub>4</sub>), por manejo del estiércol, muestra un incremento consistente, a lo largo de la serie temporal, llegando a acumular 150.2 y 101,8% de incremento, respecto de 1984 y 1990, respectivamente. Es evidente la similitud de la curva temporal de emisión de metano con la de la población porcina (ver Figura 5.9.), lo que refrenda el hecho de ser esta especie la principal contribuyente a las emisiones de esta categoría: 56,7% en 1984, 63,8% en 1990, y 79,9% en 2003 (ver **Figura 5.14.**).



*Figura 5.13. Evolución temporal de la emisión de CH<sub>4</sub> por manejo del estiércol*



*Figura 5.14. Contribución de las especies animales a la emisión de CH<sub>4</sub> por manejo del estiércol*

De acuerdo a la Figura 5.14., los bovinos disminuyeron su participación drásticamente en el período estudiado. El aporte de las vacas lecheras, que fue del 32,5% en 1984, cayó a 27,5% en 1990, para terminar siendo del 15,3% en 2003. Por su parte, el ganado bovino no lechero varió su contribución del 5,4%, en 1984, al 2,4%, en 2003, pasando por el 4,7%, en 1990. En caso de los broilers, su mayor contribución absoluta, por efecto del incremento poblacional, quedó enmascarado en términos relativos por el crecimiento porcino: 1,2% en 1984 y 1990, y 1,0%, en 2003.

Por su parte, la **Figura 5.15.** muestra el perfil longitudinal de la emisión de metano, por manejo del estiércol. De esta figura, sobresale el hecho que la VI Región se consolida, en el tiempo, como la región desde donde más metano se emite, hecho que se debe al incremento de la población porcina y a su concentración relativa en esta región administrativa. Los máximos secundarios están reflejando tanto el aporte porcino creciente (regiones Metropolitana y VIII) como el bovino (X Región).

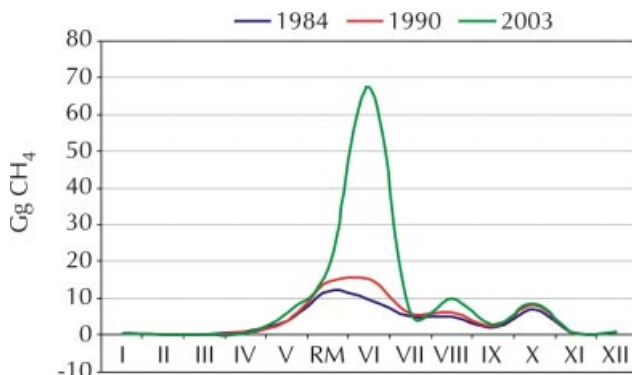


Figura 5.15. Perfil regional de la emisión de CH<sub>4</sub> por manejo del estiércol

## B. Emisión de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)

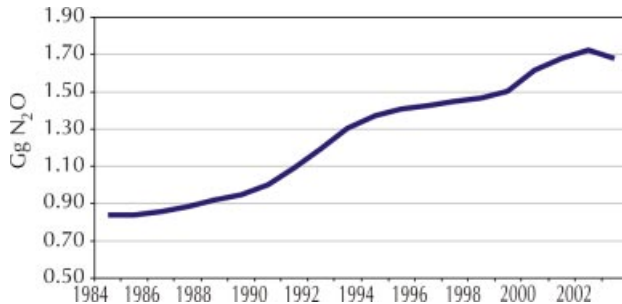
La emisión a la atmósfera de gases nitrogenados, incluyendo el óxido nitroso, es función del sistema de tratamiento de los residuos orgánicos producidos en sitios de animales confinados. Para evitar una doble contabilidad del óxido nitroso emitido, para esta categoría se debe ex-



cluir el nitrógeno contenido en las deyecciones de animales a campo abierto así como también el del guano producido por animales confinados que es esparcido diariamente; ambas fuentes de nitrógeno deben ser contabilizadas en la categoría “Suelos Agrícolas”.

Chile no cuenta con información que permita una asignación precisa de los animales a los diferentes sistemas de tratamiento, por lo que se hizo una estimación basada en juicio experto, lo que implica que esta asignación puede ser mejor acotada en estimaciones posteriores.

Según la **Figura 5.16.**, la emisión de óxido nitroso por manejo del estiércol ha mantenido un constante incremento, durante el período de estudio, habiendo acumulado un aumento del 100%, entre 1984 y el 2003, y de 68%, entre 1990 y 2003. La emisión anual máxima fue registrada en 2002 con 1,73 Gg  $N_2O$ , decreciendo a 1,69 Gg al año siguiente.



*Figura 5.16. Evolución de emisión de  $N_2O$ , por manejo del estiércol*

Para este gas, no sólo la especie animal es importante sino que, también, el tipo de tratamiento al que se somete el estiércol producido por plantales animales confinados. Según la **Figura 5.17.**, el tratamiento sólido es el principal –y casi exclusivo– contribuyente a las emisiones de esta categoría, con una importancia superior al 95% de estas. Llama la atención el crecimiento experimentado por las emisiones desde las anaeróbicas, entre 1984 y 2003, lo que refleja no sólo el crecimiento de la masa porcina sino que, también, la importancia relativa de este sistema de tratamiento: su importancia sube de 2,9%, en 1984, a 5,3%, en 2003.

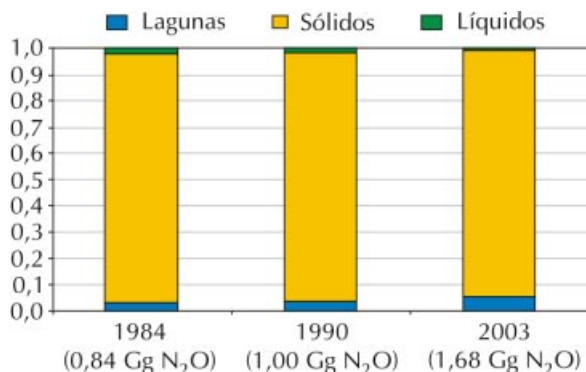


Figura 5.17. Contribución de fuentes a emisión de N<sub>2</sub>O por manejo del estiércol

En términos de distribución regional, la **Figura 5.18.** muestra que el perfil longitudinal de las emisiones de óxido nitroso ha sufrido cambios significativos a lo largo de la serie temporal, reflejando los cambios experimentados por las poblaciones de animales. Así, la condición de máxima emisión en la Región Metropolitana, seguida por la VI Región, en los años 1984 y 1990, cambió a una máxima emisión desde la VI Región, seguida por la RM, en 2003. Ello se debe, substancialmente, al incremento experimentado por la población porcina y a su concentración en esta región.

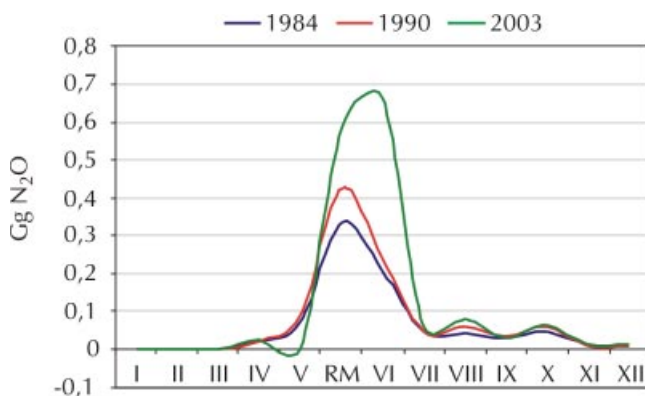


Figura 5.18. Perfil regional de la emisión de N<sub>2</sub>O, por manejo del estiércol

### 4.3. Emisión de metano ( $\text{CH}_4$ ), por cultivación del arroz

En Chile, el cultivo del arroz se hace bajo condiciones de anegamiento permanente y continuo, durante todo el período del cultivo. Bajo esta condición, la descomposición de materiales orgánicos conduce a la formación de metano, el cuál escapa a la atmósfera, principalmente, por su transporte a través de las plantas aunque también participa la emisión directa desde la superficie del agua.

El cultivo del arroz tiene baja importancia en Chile, con tendencia a la reducción de la superficie cultivada anualmente. Como indica la **Figura 5.19.**, esta situación queda reflejada en las emisiones anuales de metano, por esta categoría, que muestran una tendencia decreciente, aunque con algunas fluctuaciones intermedias.

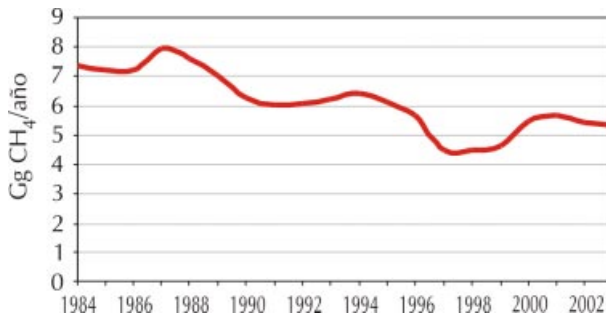


Figura 5.19. Evolución temporal de la emisión de  $\text{CH}_4$  por el cultivo de arroz,

Este cultivo, sólo es producido entre las regiones VI y VIII, con máximo en la VII Región, la que concentra el 76% de la superficie total. Dado que se produce una cosecha al año, la superficie cultivada es igual a la superficie anualmente destinada a este cultivo; se hace esta salvedad, dado que la estimación de las emisiones, según el método PICC, debe considerar la superficie cosechada anualmente (igual a la superficie cultivada multiplicada por el número de cosechas anuales).

### 4.4. Emisión de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) desde suelos agrícolas

Las guías metodológicas del PICC hablan de “suelos agrícolas”, pero en realidad incluye todos los suelos que reciben aplicaciones

antropogénicas de nitrógeno y que, mayoritaria pero no exclusivamente, son dedicados a cultivos agrícolas. De acuerdo con la metodología 1996 del PICC, se contabilizan las siguientes emisiones de óxido nítrico desde la superficie de estos suelos:

- *directas*, que identifican las que se generan por transformación del nitrógeno aportado por el ser humano, desde el mismo sitio de aplicación,
- *indirectas*, que identifican las que se generan por transformación del nitrógeno aportado por el ser humano pero que, por procesos de desplazamiento natural, se verifica desde sitios distintos a los de aplicación, y
- *directas por animales criados a campo abierto*, que identifican las que ocurren por transformación del nitrógeno contenido en las excretas que son depositadas sobre la superficie de los suelos.

En Chile, se trata de la categoría agrícola más contribuyente de gases invernadero, como lo muestra la Figura 5.1. En la serie temporal, sus aportes fluctúan entre 46,9%, en 1984, y 44,4%, en 2003. No obstante esta leve tendencia al descenso, esta categoría se mantiene siendo la más importante del sector Agricultura, a lo largo de toda la serie temporal.

En términos absolutos, la **Figura 5.20.** señala que emisiones de la categoría aumentaron en un 25,1%, entre 1984 y 2003, y en un 9,7%, si se considera el tramo entre 1990 y 2003. Ello significa que, de 15,2 Gg N<sub>2</sub>O emitidos en 1984, se llegó a 17,4 Gg N<sub>2</sub>O en 1990, y a 19,1 Gg N<sub>2</sub>O en 2003. Esta figura, también, indica que la principal sub-categoría es la de las emisiones indirectas, en tanto que las emisiones directas, que fue la sub-categoría menos importante entre 1984 y 1992, pasó a ser la segunda más contribuyente de la categoría desde 1993, producto de la declinación experimentada por las de los animales criados a campo abierto.

La **Figura 5.21.** muestra que el perfil regional de las emisiones de óxido nítrico desde los suelos ha sufrido cambios a lo largo de la serie temporal analizada. Así, aunque la condición de máxima emisión desde la X Región se mantiene en el período analizado, la importancia

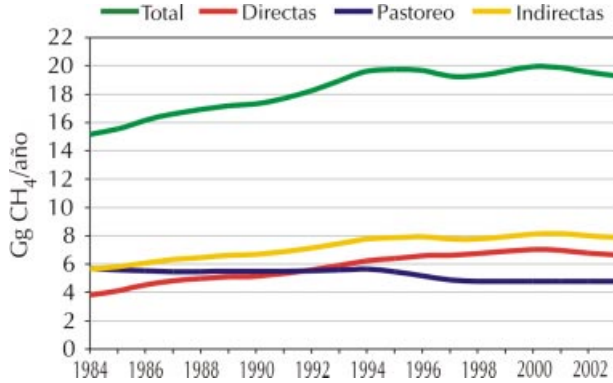


Figura 5.20. Evolución de las emisiones de N<sub>2</sub>O desde suelo agrícolas

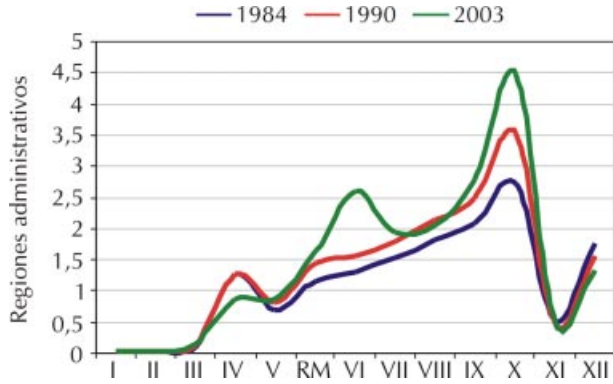


Figura 5.21. Perfil regional de las emisiones de N<sub>2</sub>O, desde suelo agrícolas

relativa de la VI Región ha manifestado un alza importante llegando a ser en 2003 la tercera región más emisora. Este aumento relativo de la VI Región tiene su origen en el crecimiento porcino y a su concentración en esta región.

### A. Emisiones directas

Como indican las guías metodológicas, las emisiones directas de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) se generan a partir del nitrógeno aportado a los suelos y contenido en:

- fertilizantes minerales,
- abonos orgánicos, incluyendo el estiércol animal y lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas,
- residuos de cultivos,
- cultivo de plantas leguminosas (fijadoras de nitrógeno atmosférico), y
- cultivación de suelos orgánicos (histosoles), fuente no estimada por no contarse con datos de actividad confiables.

En cuanto a los abonos orgánicos, en el país no es común ni masiva la práctica del compostaje, como en otros países (Japón, por ejemplo), por lo que no cuenta con datos de actividad confiables. Por ello, los datos de actividad de esta subcategoría fueron generados por estimaciones del estiércol distribuido superficialmente, que corresponde a la estrategia de disposición de residuos desde planteles ganaderos confinados más frecuentemente aplicada y aceptada por las autoridades correspondientes.

Los resultados indican que la emisión directa de óxido nitroso desde la superficie de los suelos agrícolas, aumentó un 73,4% entre los años extremos del período estudiado y 29,2% a contar de 1990. Como indica la **Figura 5.22.**, la principal fuente contribuyente fue el uso de fertilizantes minerales, con una importancia creciente del 44% al 54%, en el mismo período. La segunda fuente en importancia -las plantas fijadoras- descendió su contribución del 34 al 24%, en el mismo período de tiempo. La

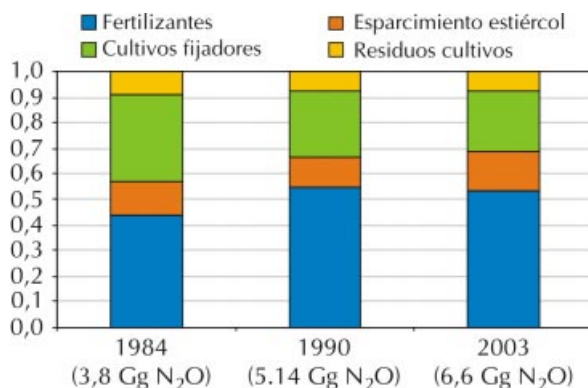
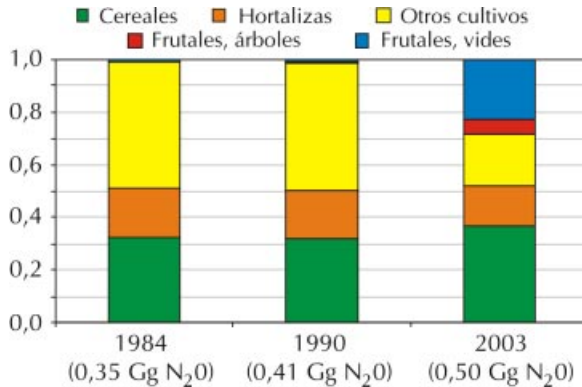


Figura 5.22. Contribución de las fuentes a las emisiones directas de N<sub>2</sub>O desde suelos agrícolas

tercera fuente en importancia -la aplicación de estiércol- incrementó levemente su participación en el período estudiado, del 13 al 15%.

Finalmente, la fuente menos importante -la incorporación de residuos de cultivos- mantuvo su importancia relativa, mostrando un leve descenso del 9 al 8%, entre 1984 y 2003. Sin embargo, la **Figura 5.23.** señala que la composición de los residuos ha cambiado substancialmente durante el período, específicamente en el aporte de los cultivos permanentes, como árboles frutales y viñas que, en el último año de la serie temporal, llegaron a un aporte del 28% de las emisiones debidas a la incorporación de residuos. Ello se debe al cambio en el hábito de disposición de los residuos de poda que, anteriormente, eran quemados y que hoy son chipeados e incorporados a los suelos.

La evolución temporal de la emisión directa de óxido nitroso está fuertemente influenciada por el consumo regional de fertilizantes, desagregado según la superficie cultivada de cada región <sup>^</sup>, así como también a la aplicación de estiércol. El máximo de la VI Región (**Figura 5.24.**) es atribuible, principalmente, a la disposición sobre los suelos de purines de cerdo mientras que el máximo en la X Región se debe tanto al estiércol bovino como a la aplicación de fertilizantes minerales.



**Figura 5.23.** Contribución de cultivos a la emisión de N<sub>2</sub>O, por residuos de cultivos

<sup>^</sup> Chile no cuenta con estadísticas nacionales, ni menos regionales, de uso de fertilizantes; por ello, el consumo total, tomado de FAOSTAT, fue desagregado regionalmente, siguiendo este criterio

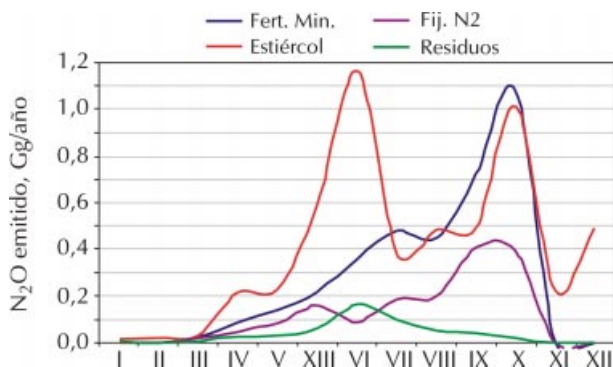


Figura 5.2.4. Emisión directa de N<sub>2</sub>O en 2003, desagregada por sub-categorías

## B. Emisiones por animales pastoreo directo

En esta sub-categoría, se contabiliza la emisión de óxido nitroso desde el guano que depositan sobre el suelo los animales que son criados a campo abierto. Para evitar duplicidades, se tuvo cuidado de asignar a esta sub-categoría, sólo la fracción del guano producido por animales no estabulados. Para asignar la proporción de la población animal no estabulada, se consideró tanto los animales que son mantenidos en esta condición el 100% del tiempo (caprinos, equinos, ovinos) como aquellos animales que no están confinados una fracción del año (bovinos).

La reducción del 15,6% de la emisión de esta sub-categoría, registrada en la serie temporal analizada (ver Figura 5.20.), queda explicada por la disminución que vienen experimentando las poblaciones de animales en pastoreo directo, como caprinos y ovinos, en desmedro de otras especies cuyas poblaciones son preferentemente manejadas bajo confinamiento, como aves y cerdos.

## C. Emisiones indirectas

Las emisiones indirectas se deben al nitrógeno que, habiendo sido aportado a los suelos por la actividad humana, sufre un proceso de transporte por medios naturales y termina siendo emitido a la atmósfera desde sitios diferentes de aquellos donde ocurrió la aplicación. El método del PICC considera las siguientes tres fuentes de emisiones indirectas, a saber:



- volatilización a la atmósfera y depositación del nitrógeno de fertilizantes y abonos orgánicos,
- lixiviación y escorrentía del nitrógeno de fertilizantes y abonos orgánicos, y
- descarga de excretas humanas o de aguas servidas en ríos o estuarios.

No obstante que el PICC recomienda incluir bajo esta categoría las emisiones debidas a este último punto, en esta ocasión se prefirió hacerlo bajo el Sector Residuos. Por tanto, para esta sub-categoría, se contabilizaron las emisiones desde las otras dos fuentes.

En la Figura 5.20., se ve que la emisión indirecta es la principal contribuyente a las emisiones de óxido nítrico desde la superficie de los suelos, con una participación creciente en 4 puntos entre 1984 y 2003 (37,3% en 1984; 38,8% en 1990; 41,7% en 2003). Su tendencia temporal es también creciente a lo largo de la serie temporal, experimentando un 39,3% de aumento entre 1984 y 2003 y un 18,1% entre 1990 y 2003.

Dentro de las fuentes de emisión indirecta, puede verse en la **Figura 5.25.** que la principal fuente corresponde a la lixiviación del nitrógeno, con un aporte fluctuante cercano al 82% y que se mantiene a lo largo de la serie temporal. La otra fuente, por consiguiente, mantiene un aporte alrededor del 18%.

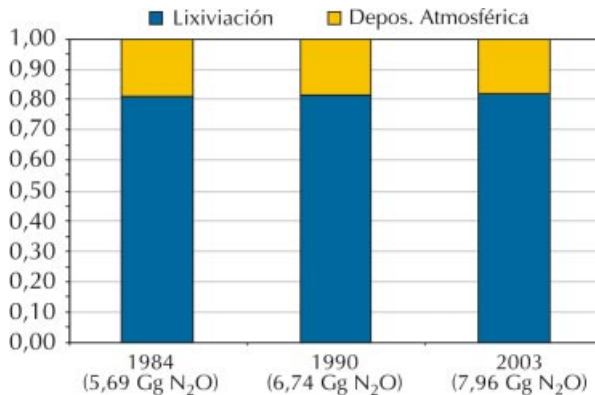


Figura 5.25. Contribución de las fuentes de emisión indirecta de N<sub>2</sub>O desde suelos agrícolas

#### 4.5. Emisión de gases no-CO<sub>2</sub>, por quema de residuos de cultivos

Una práctica generalizada en la agricultura nacional y prácticamente obsoleta en países de Unión Europea, es la eliminación de los residuos vegetales de los cultivos, mediante el uso del fuego directo en el campo. Es lo que se conoce como la quema *in-situ*, para diferenciarla de la quema de residuos que pueda ocurrir fuera del campo (quema *off-situ*), generalmente para generación de calor a nivel de casas de campo. Para evitar una doble contabilidad, se procedió a descontar aquella fracción de los residuos, por cultivo, con distinto destino final (ver balances de masa, en Capítulo 3).

La Figura 5.3. muestra la curva temporal de emisión de gases invernadero, normalizadas como CO<sub>2</sub>-equivalentes, por la quema *in-situ* de los residuos de los cultivos. Aunque se registró un incremento del 39%, a lo largo del período, la curva muestra bastante irregularidad interanual lo que refleja la variabilidad de las actividades agrícolas.

De la amplia gama de cultivos existentes en el país, sólo dos grupos son los que contribuyen significativamente a las emisiones de esta categoría: los cereales y los frutales; ello queda refrendado en la información entregada en la **Figura 5.26**. Es evidente que la importancia relativa de ambos grupos ha sufrido un cambio substancial dentro del período, debido a la decreciente importancia de los frutales, como generadores de residuos quemados en el campo. Este hecho, ya explicado anteriormente, justifica la caída de su importancia relativa, de alrededor de 65%, entre 1984 y 1990, a un valor no superior al 3%, en 2003.

El modelo de distribución regional de las emisiones de esta categoría, presentado en la **Figura 5.27.**, para los años 1984, 1990 y 2003, tiene está fuertemente influenciada por el modelo de distribución espacial de los cereales, por este el principal grupo de cultivos generador de residuos vegetales que son quemados en el campo; ello explica que las mayores emisiones ocurran desde la IX Región, seguida por sus dos regiones vecinas (VIII y X Región, en ese orden), correspondientes a las regiones con las mayores superficies dedicadas a cereales.

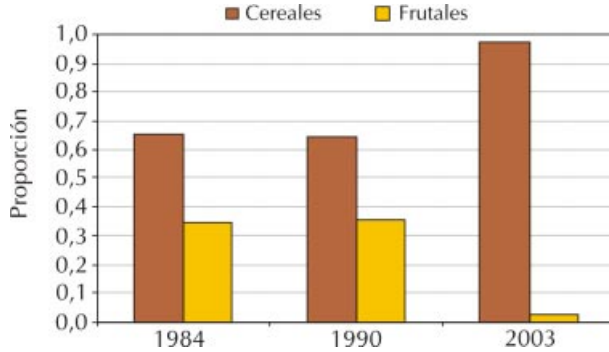


Figura 5.26. Contribución de fuentes a las emisiones  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ , por quema *in-situ* de residuos de cultivos

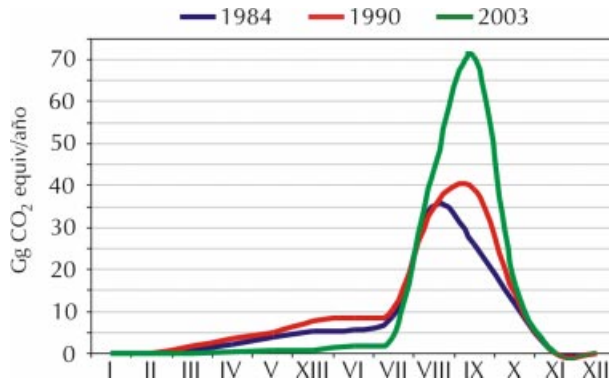


Figura 5.27. Distribución regional del emisiones por quema *in-situ* de residuos

## 5. CONCLUSIONES

El análisis de los resultados obtenidos, para el Sector Agricultura y de las circunstancias tenidas para su elaboración, permite señalar las siguientes conclusiones:

- de los sectores que componen el inventario de gases de efecto invernadero, según la metodología del PICC, la Agricultura es uno de los que cuenta con el mejor aporte de datos de actividad, no sólo de los de tipo estadístico (que se coleccionan periódicamente) sino que también de los de tipo paramétrico (constantes),

- en consecuencia, es uno de los sectores que permite la generación de valores de emisión de gases de efecto invernadero, con la mayor confiabilidad; entre los sectores no-energía, es claramente el de mayor confiabilidad y exactitud,
- de todas formas, hay algunas áreas en que el país debería invertir para mejorar la información de base; entre estas áreas, debe mencionarse los destinos finales de residuos de cultivos y la distribución de las poblaciones animales por sistema de manejo,
- el país cuenta con información publicada y con expertos nacionales suficientes para estimar las emisiones desde dos categorías claves, las emisiones de  $\text{CH}_4$  por fermentación entérica y por el manejo del estiércol, con un método superior al nivel 1; no obstante, debería invertir para determinar factores de emisión país específicos,
- las emisiones anuales del sector son crecientes, siendo para el 2003, un 33% mayores a las estimadas para 1984; ello se explica, fundamentalmente, por la creciente intensidad de las prácticas agrícolas, que conlleva un mayor uso de insumos agroquímicos, entre los que están los fertilizantes nitrogenados,
- expresadas como  $\text{CO}_2$ -equivalente, las emisiones más abundantes fueron las de  $\text{N}_2\text{O}$  desde la superficie de los suelos cultivados, seguidos por las de  $\text{CH}_4$  por fermentación entérica y las emisiones conjuntas de  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  por manejo del estiércol, siendo esta última la categoría con mayor tasa de crecimiento, principalmente debido a la intensificación de los sistemas de crianza con confinamiento, en desmedro de otras que se mantienen en pastoreo a campo abierto (cabras, equinos),
- al 2003, las emisiones por manejo del estiércol fueron mayoritariamente  $\text{CH}_4$ , gas que acumuló el 70% de lo emitido, lo que difiere substancialmente de lo ocurrido al año 1984, cuando el  $\text{N}_2\text{O}$  fue el gas mayoritario, correspondiendo al 61% de lo emitido; este cambio se explica por los cambios poblacionales en las especies animales,
- las categorías con menores aportes a las emisiones globales de sector, son la cultivación del arroz y la quema directa de residuos de los cultivos; con respecto a esta última, existe la tendencia a una menor quema, en beneficio de una mayor incorporación a los suelos la que, sin embargo, no fue registrada en este ejercicio, por falta de información objetiva (con excepción de los residuos de la poda frutal),

- el hecho que las emisiones del sector se distribuyan regionalmente con máximos en dos regiones (X y VI) está señalando claramente el impacto que la ganadería doméstica y la agricultura intensiva tienen sobre las emisiones de gases de efecto invernadero,
- las especies animales, con mayores aportes a las emisiones de gases invernadero del sector, fueron los bovinos en cuanto a  $\text{CH}_4$  por fermentación entérica y los porcinos, dominantes, en cuanto a emisiones por manejo del estiércol. A su vez la población porcina es la segunda especie con mayor incremento poblacional, después de las aves de corral (broilers) en el período evaluado,
- la aplicación del método nivel 2, para la fermentación entérica y el manejo del estiércol, en cuanto a emisión de  $\text{CH}_4$ , condujo a estimados de emisión más precisos, para las especies significativas (bovinos y porcinos), debido a la generación de factores de emisión específicos para grupos de animales homogéneos y macrorregión ambiental,
- las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  desde los suelos agrícolas son la principal categoría que contribuye a las emisiones del Sector Agricultura y dentro de ella, las emisiones indirectas fueron la principal sub-categoría emisora, llegando a contribuir con el 41% de las emisiones al año 2003; las emisiones por las deyecciones directas de animales en pastoreo, vienen perdiendo participación, con un descenso relativo del 38%, en 1984, al 25%, en 2003,
- las principales fuentes de emisiones directas de  $\text{N}_2\text{O}$  desde la superficie de suelos cultivados, fueron los fertilizantes nitrogenados minerales (que acumulan prácticamente el 50% de las emisiones de la sub-categoría) y la cultivación de las plantas leguminosas, con capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, aunque esta última mostró un retroceso, en su importancia relativa, entre 1984 y 2003,
- por su parte, la lixiviación del nitrógeno antrópico (mayoritariamente, nitrógeno de fertilizantes minerales solubles) es la fuente con mayor aporte a las emisiones indirectas de  $\text{N}_2\text{O}$  desde los suelos cultivados, y
- los cultivos con mayor contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero, por la quema de residuos, son los cereales; los residuos de los restantes cultivos tienden a ser escasamente quemados en el campo y, mayoritariamente, enterrados en los suelos o empleados para la alimentación animal, ya sea por consumo directo como a través de forraje conservado.

