

4

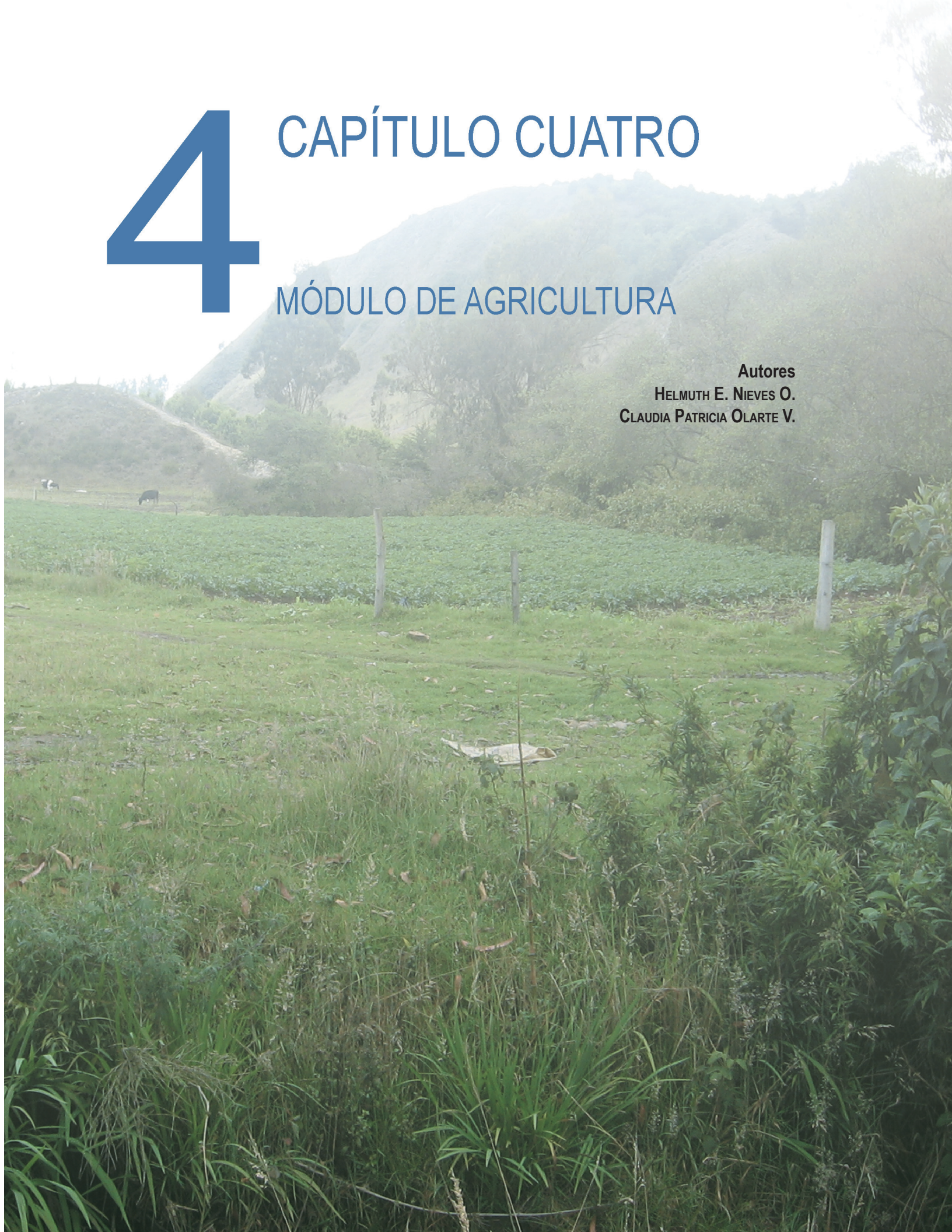
CAPÍTULO CUATRO

MÓDULO DE AGRICULTURA

Autores

HELMUTH E. NIEVES O.

CLAUDIA PATRICIA OLARTE V.



Mesa Técnica de Trabajo Interinstitucional

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT),
Pablo Manuel Hurtado.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural,
Juan Antonio Clavijo, Teresa Hernández, Carlos Sierra y Yesid Yucumá.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE),
Flor Sofía Roa y Mónica Rodríguez.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM),
Helmuth Nieves O., Claudia Patricia Olarte Villanueva y Esperanza Pardo Pardo.
- Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia (Corporinoquia),
Germán Riveros.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC),
José Samuel Botón Jiménez, Jorge Romero y Esperanza Pardo Pardo.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA),
Álvaro Camilo Arévalo y Sara Patricia Hurtado.
- Corporación Colombia Internacional (CCI),
Marco Fidel Pérez; Luis Eduardo Díaz y José Ignacio Torres.
- Federación Nacional de Ganaderos -Fedegan-,
Ignacio Amador Gómez.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), La Libertad -Villavicencio-,
Otoniel Pérez,
Corpoica Tibaitatá:
Rosa Beatriz Camelo Hurtado y Yolanda Páez Murillo.
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales (Fenalce),
Carlos Molina.

Colaboradores

- **Esperanza Pardo P.**, apoyo SIG (IDEAM).
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Centros de Investigación La Libertad y Turipaná.
- Fondo Ganadero de Córdoba. • Asociación de Ganaderos de Córdoba (Ganacor).
- Universidad de Córdoba, Departamento de Ciencias Pecuarias.
- Gobernación del Meta, Secretaría de Agricultura y Ganadería.
- Federación Ganadera y Fondo Ganadero del Meta.

Coordinadora del Capítulo

Claudia Patricia Olarte Villanueva

Supervisión

Luz Dary Yepes Rubiano

CONTENIDO

| | Página |
|---|------------|
| INTRODUCCIÓN | 179 |
| 4.1 GENERALIDADES DEL SECTOR AGRÍCOLA | 180 |
| 4.1.1 Indicadores macroeconómicos | 182 |
| 4.1.2 Importaciones y exportaciones | 183 |
| 4.1.3 Producción agropecuaria nacional | 184 |
| 4.2 CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI AGRICULTURA | 185 |
| 4.2.1 Fuentes de la información usada en el cálculo de GEI | 186 |
| 4.2.2 Proceso para el cálculo de emisiones de GEI | 187 |
| 4.3 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI | 187 |
| 4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS | 188 |
| 4.4.1 Emisiones totales de metano | 188 |
| 4.4.2 Emisiones totales de N ₂ O de los suelos agrícolas | 190 |
| 4.4.3 Emisiones totales de la quema prescrita de sabanas | 190 |
| 4.4.4 Emisiones totales de CH ₄ del cultivo de arroz | 191 |
| 4.4.5 Emisiones totales de la quema de residuos | 192 |
| 4.4.6 Reporte sectorial de emisiones de GEI en CO ₂ | 192 |
| 4.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 193 |
| BIBLIOGRAFÍA | 194 |
| CONTENIDO DE TABLAS | |
| Tabla 4.1 Distribución de la vocación de uso de las tierras y uso del suelo en Colombia, 2002 (miles de Ha) | 181 |
| Tabla 4.2 Gases Efecto Invernadero estimados por categoría para el Módulo agricultura ... | 185 |
| Tabla 4.3 Reporte sectorial de emisiones nacionales GEI, año 2000, Módulo agricultura ... | 187 |
| Tabla 4.4 Reporte sectorial de emisiones nacionales GEI, año 2004, Módulo agricultura ... | 188 |
| CONTENIDO DE FIGURAS | |
| Figura 4.1 Participación del PIB agropecuario en el PIB total | 183 |
| Figura 4.2 PIB agropecuario sin ilícitos a precios constantes de 1994 (millones de pesos) ... | 183 |



| | Página |
|--|--------|
| Figura 4.3 Estructura del cálculo de GEI procedentes de las actividades agrícolas | 186 |
| Figura 4.4 Emisiones totales de CH ₄ por categoría de fuente, 2000 | 189 |
| Figura 4.5 Emisiones totales de CH ₄ por categoría de fuente, 2004 | 189 |
| Figura 4.6 Emisiones de CH ₄ de la fermentación entérica | 189 |
| Figura 4.7 Emisiones de CH ₄ del Manejo del estiércol (Gg) | 189 |
| Figura 4.8 Emisiones de N ₂ O procedentes de suelos agrícolas | 190 |
| Figura 4.9 Comparativo de emisiones de la quema de sabanas | 191 |
| Figura 4.10 Emisiones de CH ₄ del cultivo de arroz (Gg) | 191 |
| Figura 4.11 Emisiones totales procedentes de la quema de residuos agrícolas | 192 |
| Figura 4.12 Emisiones de CO ₂ equivalentes para el año 2000 | 192 |
| Figura 4.13 Emisiones de CO ₂ equivalentes para el año 2004 | 193 |
| | |
| CONTENIDO DE CUADROS | |
| Cuadro 4.1 Impactos previstos del cambio climático en la agricultura de América Latina | 182 |
| Cuadro 4.2 Perfil de emisiones de CH ₄ entérico en países con vocación agropecuaria | 189 |
| | |
| CONTENIDO DE FOTOS | |
| Foto 4.1 Portada de capítulo. Finca de la sabana de Bogotá. Municipio de Villapinzón. Pedro S. Lamprea O., 2009 | 175 |

INTRODUCCIÓN

En el Módulo de agricultura se presenta una descripción general del sector, así como una explicación de la metodología y las variables usadas en el cálculo de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), además del análisis de los resultados obtenidos, producto del trabajo concertado entre las diferentes instituciones participantes.

De acuerdo con la metodología usada para la elaboración del inventario, el Módulo de agricultura considera las emisiones de GEI procedentes de cinco fuentes o categorías:

- Ganado doméstico.
- Cultivos de arroz de riego.
- Quema prescrita de sabanas.
- Quema en el campo de residuos agrícolas.
- Suelos agrícolas.

Cada una de estas categorías es fuente de diferentes tipos de GEI, óxido nitroso (N_2O), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y, principalmente, metano (CH_4), dado el potencial de calentamiento global¹.

Además, si se tiene en cuenta que dentro de los resultados obtenidos en la Primera Comunicación Nacional (PCN) y, específicamente, el inventario nacional de emisiones de GEI, las emisiones procedentes del Módulo de agricultura en términos de CO_2 equivalentes para los años 1990 y 1994, representan el 42,8 % y 40,9% respectivamente, del total nacional; dicho módulo se constituye en una fuente de información relevante para las diferentes instituciones involucradas en la gestión relacionada con la emisión de gases de efecto invernadero del país², y sirve de base para la toma de decisiones.

Como respuesta a dicha situación y con el objeto de superar las barreras e incertidumbres asociadas con el primer inventario del módulo (IDEAM, 2001), se adelantaron los procesos técnicos y gestiones necesarias en la recopilación de información para realizar los cálculos en un nivel de análisis más detallado (nivel 2), en materia de emisiones procedentes de la ganadería bovina destinada a la producción de carne y doble propósito. Tal proceso, permitió el cálculo de algunos factores de emisión (FE) para Colombia, dejando de utilizar los referidos por omisión o defecto (*default*) del IPCC para Sur América (nivel 1), los que de manera inherente adicionan alguna incertidumbre, no obstante ser usados en el primer inventario de GEI. Para las demás categorías se realizaron diferentes avances en términos de la depuración de la información, de tal manera que fue posible utilizar factores de emisión más ajustados que reflejaron el contexto colombiano, proceso que se explicará de manera detallada en el cuerpo principal del documento y en el anexo correspondiente.

¹ Véase la Tabla 1.1, del capítulo 1, Visión general del inventario nacional de GEI, donde se realiza la comparación del potencial de calentamiento global entre los diferentes gases, expresados en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO_2 eq).

² IPCC. Guías de las buenas prácticas. 2000.



En este contexto, el documento constituye una síntesis del proceso metodológico empleado en la estimación de las emisiones de GEI del sector agropecuario.

4.1 GENERALIDADES DEL SECTOR AGRÍCOLA

Para los fines de análisis económico, al igual que para el cálculo del inventario, el sector agropecuario en Colombia incluye dos actividades principales: la cosecha de productos de la agricultura y la obtención de productos de la ganadería, que comprende dentro de ella: «las tierras, los terrenos o grupos de terreno aprovechables, incluso los sembrados con semillas y/o plantas dedicados exclusivamente a la producción agropecuaria, referida a un ejercicio económico bajo la dirección de un mismo productor, independiente de su condición de tenencia, forma jurídica, tamaño o ubicación; la tierra y los terrenos pueden estar situados en una o más zonas, siempre que todas compartan una misma administración y un mismo conjunto de medios de producción (insumos, mano de obra y equipo) disponibles para toda la unidad y utilizados para ello en su conjunto» DANE (2005)³. Según esta misma clasificación, no se incluyen en el sector las «actividades de elaboración posterior de los productos agrícolas» como la elaboración de productos alimenticios y bebidas, y la fabricación de tabaco, entre otras.

Desde los inicios de la década de los noventa se presentaron para el sector agropecuario cambios significativos que repercutieron en el comportamiento del sector, en parte por la aplicación de un modelo proteccionista frente a una apertura económica⁴. Entre los efectos más relevantes que se registraron están: la profunda crisis sobre las economías campesinas, que representó una disminución gradual de las áreas cultivables, el impacto social sobre la ocupación de mano de obra no calificada y la pobreza rural. Ante la crisis, el gobierno en su momento implementó una política de desarrollo rural campesino mediante la Ley 160 de 1994⁵.

Si bien es conocida la importancia del sector agropecuario en el desarrollo económico y social del país, pues genera más del 20% del empleo nacional y representa alrededor del 50% del empleo en las áreas rurales, además del abastecimiento de alimentos, materias primas para la agroindustria y la generación de divisas en una posición superavitaria en la balanza comercial agropecuaria, el sector ha venido perdiendo dinamismo en su crecimiento a largo plazo. La participación del sector agropecuario en el PIB total ha venido descendiendo de unas cifras cercanas a 17% en 1990, a 12% en 2007, como resultado de un menor crecimiento sectorial frente al resto de la economía, puesto que mientras la economía creció a una tasa promedio anual de 3,5%, el sector agropecuario lo hizo a una tasa de 1,7% anual. Sólo en cuatro años (1990, 1991, 1999 y 2000), de un periodo de 17 años, el sector tuvo una tasa de crecimiento superior a la de la economía total⁶.

El bajo crecimiento del sector agropecuario está asociado con el escaso nivel de inversión que atrae. Hay una diversidad de 'cuellos de botella' que inhiben la inversión, tales como: la inseguridad, la indefinición de los derechos de propiedad, la infraestructura inadecuada, la falta de innovación y desarrollo tecnológico, la falta de acceso al financiamiento, entre otros. Tales cuellos de botella se agrupan en el estudio por su impacto sobre la inversión en dos causas básicas: 1) el retorno esperado sobre la inversión es bajo, y 2) el financiamiento de la inversión es muy costoso⁷.

3 Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Clasificación Industrial Internacional Uniforme –CIIU- de todas las actividades económicas. Revisión 3.1 adaptada para Colombia.

4 Machado A.. El cambio de un modelo proteccionista a otro abierto al comercio internacional, la política de modernización y reconversión del aparato productivo que acompaña a la apertura económica, el cambio político reflejado en la nueva Constitución de 1991 y sus implicaciones para la descentralización, la participación y la ampliación de la democracia, y los acuerdos de paz y desmovilización de grupos al margen de la Ley, generarán profundos cambios en la sociedad, 1991.

5 Machado, *et al.* Se crea el Sistema Nacional de Reforma Agraria y Desarrollo Rural Campesino; se establecen las bases para reformar la estructura social agraria por medio de procedimientos dirigidos a eliminar y prevenir la inequitativa concentración de la propiedad rústica o su fraccionamiento antieconómico y dotar de tierras a la población campesina; asimismo, crea las Zonas de Reserva Campesina (ZRC) como figura destinada a fomentar y estabilizar las economías campesinas de los colonos y evitar la concentración de la propiedad territorial. Posteriormente, con el documento Conpes 2723 de 1994, referente al Programa de modernización agropecuaria y rural, se orientó el desarrollo del sector a partir de un aumento de la competitividad para enfrentar la competencia internacional, garantizando el desarrollo sostenible y el mejoramiento de las condiciones de vida de las poblaciones rurales, superando condiciones de miseria y marginalidad. 2005.

6 Leibovich, J. y Estrada, L. Consejo privado de competitividad. Capítulo IV. Competitividad del sector agropecuario colombiano. Consultado en agosto de 2009. Disponible en: <http://www.rimisp.cl/boletines/bol42/>

7 Op. Cit. El enfoque de 'cuellos de botella al crecimiento', según el autor, es utilizado de Hausmann *et al.* (2005).

No obstante lo anterior, el gobierno colombiano, en los años 2003 y 2004, presentó una evolución favorable de la agricultura y la ganadería (sin contar café ni cultivos ilícitos), propiciada de forma notoria por tres factores: 1) progresos logrados en materia de seguridad democrática en el campo, 2) la solidez de las instituciones del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural encargadas de ejecutar bajo su rectoría la política sectorial, y 3) la protección que se le ha otorgado a la actividad frente a las importaciones de productos subsidiados en el exterior⁸.

Si se toma como referente el documento 2019 Visión Colombia, «desde la década de los noventa, el comportamiento del sector agropecuario se ha caracterizado por bajas tasas de crecimiento que han fluctuado entre: -1% y 4%, llegando a su nivel más crítico en 1998 y 1999».

El documento 2019 propone aprovechar las ventajas comparativas del campo a través de: a) Procesos de agregación de valor y; b) Desarrollo de formas de producción más competitivas. Asimismo, se basa en seis principios básicos: 1) Aprovechar las ventajas de la zona ecuatorial. 2) Cerrar la brecha entre la vocación y el uso de la tierra. 3) Mejorar la eficiencia de los sistemas de producción. 4) Diversificar la producción agropecuaria y rural. 5) Buscar mayor acceso a los mercados internacionales, y 6) Ajustar la ley y las instituciones para la eficiencia y transparencia en el funcionamiento de los mercados.

En relación con la ocupación y vocación de uso de las tierras en Colombia, se entiende que existe suficiente extensión de tierras apropiadas para el desarrollo de actividades productivas agrícolas, pecuarias y forestales. Véase la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Distribución de la vocación de uso de las tierras en Colombia⁹, 2002 (miles de Ha)

| Vocación de uso (*) | | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| Agrícola | Ganadera | Forestal | Agroforestal | Conservación | Total |
| 21.493 (18,9%) | 14.223 (12,5%) | 21.591 (19,0%) | 6.908 (6,1%) | 49.652 (43,5%) | 113.869 (100%) |

Fuente: IGAC-Corpoica, 2002. En el total no se incorpora el 0,08% de las tierras con construcciones (87.230 ha)

Según el IGAC y Corpoica (2002), citado por la Universidad de Antioquia (2007)¹⁰, el 0,4% de los propietarios de tierra poseen 61.2% del área predial registrada, equivalente a 47' 147.680 hectáreas; lo anterior, sumado con altos niveles de uso inadecuado de estos suelos.

Entre los años 2002 y 2006, la política sectorial se estructura bajo cinco ejes de acción: a) Fortalecer y modernizar la estructura de compensaciones, lo que incluye una adecuada administración de los riesgos asociados con la producción y comercialización; b) Acceso al crédito, a través de Finagro¹¹ con apoyo del Fondo Nacional de Garantías; c) Generación de visión empresarial para el campo y los agricultores; d) Apertura de mercados externos, y e) Acceso a la propiedad de la tierra (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006).

En materia de desarrollo ganadero, en el año 2005 se creó una línea especial de crédito que buscó mayores niveles de competitividad en la producción de carne y leche; además, se apoyaron los proyectos de adecuación de obras civiles de riego mediante créditos especiales.

8 Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Perspectivas del sector agropecuario. Consultado en agosto de 2009. Disponible en: <http://corpoica.gov.co/SitioWeb/Archivos/Publicaciones/Perspectivas2005.pdf>

9 Zonificación de los conflictos de usos de las tierras del país. Capítulo IV. Uso adecuado y conflictos de uso de las tierras en Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC-, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria –Corpoica– Bogotá, D.C., 2002.

10 Universidad de Antioquia. -Facultad de Ciencias Agrarias. Proyecto Plan de Desarrollo 2006-2016. Diagnóstico sector agrario. Consultado en agosto de 2009. Disponible en: <http://kogi.udea.edu.co/plan2006-2016/Plan%20de%20Desarrollo%20publicado.doc>

11 Fondo Financiero Agropecuario.



De otro lado, la Ley 939 de 2004 determina exenta la renta líquida procedente del aprovechamiento de nuevos cultivos de tardío rendimiento tales como: cacao, caucho, palma de aceite, cítricos, y frutales, con una exención vigente por diez años a partir de la producción.

En términos del acceso a la tierra para el periodo 2002 a 2006, la meta del gobierno nacional estableció la entrega de 150 mil hectáreas, con el objeto de garantizar el aprovechamiento y productividad de las tierras adjudicadas. La Ley 812 de 2003 definió un subsidio integral, el cual abarca el valor de la tierra y las inversiones complementarias. En dicho proceso normativo, el proceso de adjudicación se ejecutó bajo la coordinación del Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (Incoder), que por orientación del documento Conpes 3400, prioriza como beneficiarias las comunidades desplazadas por la violencia y las familias campesinas.

Con base en las anteriores generalidades del sector agropecuario colombiano, resulta prioritaria la gestión de las instituciones involucradas de cara a los impactos previstos del cambio climático en la agricultura en América Latina, a pesar de que el aporte de Colombia de GEI (0,37%), es reducido si se compara con los valores reportados a escala mundial. Véase el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1 Impactos previstos del cambio climático en la agricultura de América Latina

Para el decenio de 2050, es muy probable que el 50% de las tierras agrícolas se enfrenten a la desertificación y a la salinización en algunas zonas (confianza alta). Existe el riesgo de pérdida importante de biodiversidad debido a la extinción de especies en muchas zonas tropicales de América Latina; en la que se encuentran siete de las veinticinco regiones más críticas del mundo por concentraciones altas de especies endémicas y estas zonas están padeciendo la pérdida de hábitat.

Los cambios proyectados en la frecuencia y severidad de fenómenos meteorológicos extremos, unidos con el aumento de los riesgos de incendios, plagas y brotes de enfermedades, tendrán consecuencias considerables en la producción alimentaria y forestal, y en la inseguridad alimentaria. Los pequeños agricultores, los agricultores de subsistencia, los pastores y los pescadores artesanales padecerán los efectos complejos y localizados del cambio climático.

Se prevé la disminución de la productividad de algunos cultivos importantes y de la ganadería con consecuencias adversas para la seguridad alimentaria.

Fuente: IPCC. Cambio climático 2007. Impacto, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas y resumen técnico. Contribución del Grupo de trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC. Cambridge, R.U.: Parry, O., et al. 2007. p. 51, 63.

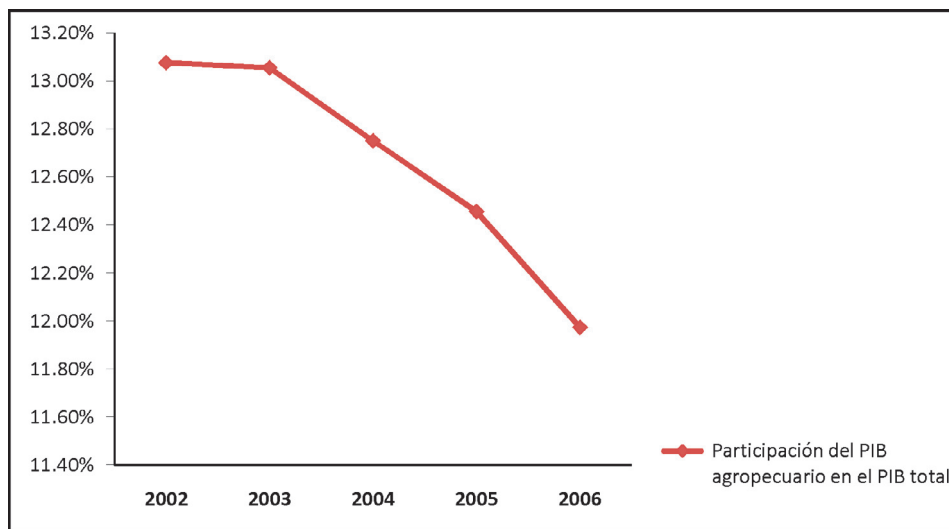
4.1.1 Indicadores macroeconómicos

El sector agropecuario presentó en 1999 un crecimiento nulo. Este bajo desempeño resultó en parte del crecimiento negativo de la producción cafetera y del sector pecuario, lo cual se tradujo en cultivos sin café. A partir de 1999 se inicia la recuperación del sector agrícola de la crisis profunda originada por el proceso de apertura económica y que conllevó a la contracción de las áreas cultivadas y al incremento de las importaciones sectoriales. A pesar de lo anterior, algunos productos como la papa, los frutales y la palma de aceite incrementaron sus áreas sembradas y sus exportaciones¹².

De otra parte, si bien el sector agropecuario representó entre el 12% y el 13% del PIB nacional entre los años 2002 y 2006, se advierte una disminución de esta participación, lo cual se puede observar en la Figura 4.1. Dentro del PIB sectorial, el rubro con mayor participación es 'Otros productos agrícolas', seguido por 'Animales vivos y productos animales' y 'Café sin tostar no descafeinado' véase la Figura 4.2, donde se muestra de manera gráfica el PIB agropecuario sin ilícitos a precios constantes de 1994.

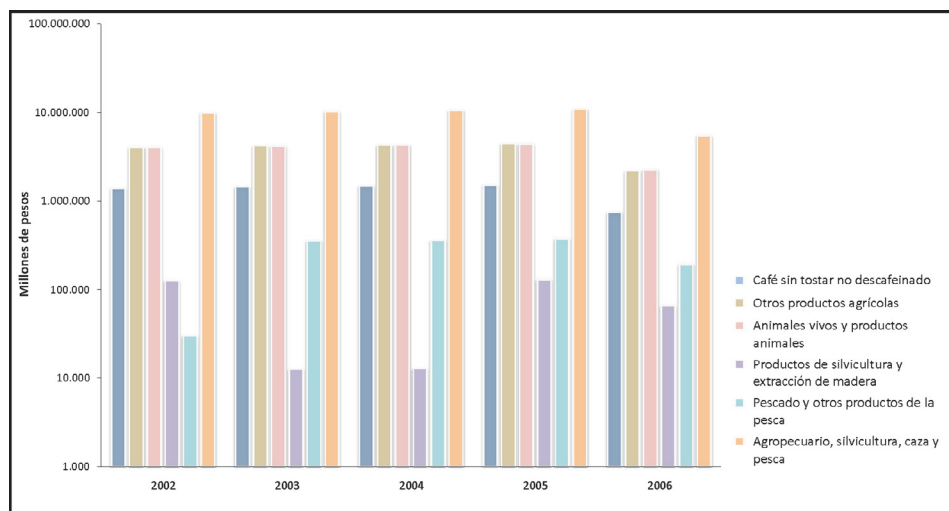
¹² Departamento Nacional de Planeación, documento Conpes 3181 de 2002.

Figura 4.1 Participación del PIB agropecuario en el PIB total



Fuente: DANE, 2006. PIB sin ilícitos.

Figura 4.2 PIB agropecuario sin ilícitos a precios constantes de 1994 (millones de pesos)



Fuente: DANE, 2006. PIB sin ilícitos.

4.1.2 Importaciones y exportaciones

En materia de exportaciones, los productos agropecuarios y agroindustriales para el periodo 2000-2005, presentaron un aumento medio anual de 8,97% en valor¹³ y 3,5% en volumen¹⁴. El café es el renglón que más contribuye con esta dinámica de crecimiento¹⁵; le siguen las exportaciones de animales vivos, productos lácteos, leche y carne¹⁶.

13 Información del Anuario Estadístico (Información de Comercio Exterior 1996-2007) del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, con base en información DIAN – DANE. Valor de las exportaciones a precios Franco a Bordo –FOB– en miles US\$. El término de comercialización internacional FOB, indica el precio de la mercancía a bordo de la nave o aeronave (Free on Board). Esto no incluye fletes, seguros y otros gastos de manipulación después de embarcada la mercancía.

14 Información del Anuario Estadístico (Información de Comercio Exterior) del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, con base en información DIAN – DANE. Volumen de exportaciones en toneladas.

15 Fedecafé. 2005.

16 Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Anuario Estadístico del Sector Agropecuario y observatorio de competitividad, con base en información de DIAN - DANE.

En cuanto a las importaciones de productos de origen agropecuario y agroindustrial, los registros muestran un crecimiento anual del 4,25% en el lapso 2000 a 2005, con mayores rangos de compras en los años 2001, 2003 y 2004.

Los cereales se mostraron como el rubro de mayor crecimiento, dada su importancia como materia prima en la industria de alimentos y en la elaboración de concentrados para consumo animal. Otros productos que se importan son: pescados, crustáceos y moluscos; azúcares y artículos de confitería; grasas y aceites¹⁷.

Del análisis de los niveles de empleos registrados en el sector agrícola se observa una disminución del 8,73% entre el año 2002 y el año 2005; al reducirse de 2.031.884 empleos en el año 2002 a 1.861.690 empleos en el año 2005. Alrededor del 70% de estos empleos se ubican en los cultivos permanentes y un 30% en los cultivos transitorios.

4.1.3 Producción agropecuaria nacional

4.1.3.1 Superficie cosechada

Según cifras del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural¹⁸, en Colombia se utilizan cerca de cuatro millones de hectáreas (ha) en la actividad agrícola; de ellas, aproximadamente el 44% corresponde a cultivos transitorios o de economía campesina (algodón, arroz total, papa, tabaco rubio, cebada, fríjol, maíz total, sorgo y trigo), el 39% a cultivos comerciales (banano de exportación, cacao, caña de azúcar, tabaco negro de consumo interno y exportación, palma africana, caña panelera, cocotero, plátano, yuca, frutales y cacao), y un 17% al cultivo de café.

Entre los años 2000 y 2005 se registró un incremento de 38.855 ha de la superficie cosechada en cultivos permanentes y transitorios. Los años 2002, 2003 y 2004 fueron los de mayor incremento¹⁹. La dinámica de crecimiento se interrumpió en el 2005, por la depreciación del peso frente al dólar, las bajas cotizaciones internacionales y el aumento del precio sostenido de los agroquímicos²⁰.

4.1.3.2 Producción agrícola nacional

Este indicador evaluado a partir de la producción de los cultivos transitorios y permanentes²¹, muestra un comportamiento creciente del 10,2% entre el año 2000 y 2005; es decir, un aumento de 2.282.357 toneladas (t), que corresponde a una producción absoluta de 24.700.803 t en el 2005. Entre los años 2000 y 2003 se presentó un crecimiento sostenido anual de 2,3 %, mientras que en el año 2004 alcanzó su mayor crecimiento (4,1%), que responde al año de mayor cosecha y producción. Para el año 2005, se observa una caída en el área cosechada, que representa una disminución en la producción nacional (-1,32%), respecto al año 2004.

En la Tabla 5.2, del Módulo de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (USCUSS), el lector podrá encontrar la evolución de la superficie agropecuaria para los años 1999 a 2002.

Del total de la producción, los cultivos transitorios aportaron en promedio el 35,5% y los cultivos permanentes el 64,5%. Es decir, los cultivos de ciclo largo presentaron una producción promedio anual de 15.303.709 t, y los cultivos transitorios llegaron a 8.440.333 toneladas.

17 Ibid.

18 Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Anuario estadístico del sector agropecuario, 2005.

19 Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Anuario estadístico del sector agropecuario. Bogotá: MADR, 2005.

20 Sociedad de Agricultores de Colombia. Bogotá: SAC, 2006.

21 No incluye la producción de caña de azúcar para molienda y fruto de palma africana, ya que su producción se evalúa en términos del producto terminado 1/ azúcar. 2/ aceite. 3/ miel. 4/ panela.

4.1.3.3 Producción pecuaria nacional, ganado bovino de leche y carne

En Colombia, el 74% de la superficie de uso agropecuario (37.609.795 ha) se destina a pastos y supera en nueve veces el área dedicada a la agricultura (8,15%), ésta representa una superficie de 4.135.021 hectáreas del área en uso agropecuario a nivel nacional²².

Con respecto a la producción de leche, se presentó un aumento continuo. En el periodo de mayor desempeño (2000 a 2003), la producción creció a una tasa anual promedio de 2,75%, mientras para el periodo 2003 a 2004, el crecimiento fue menor (0,57%). En promedio la producción anual fue de 6.369 millones de litros²³.

Aunque la ganadería de leche, según cifras del DANE, registra a partir de 2002 y hasta 2005, una disminución anual del hato ganadero de 142.495 cabezas en promedio, no significa una baja en la producción, sino el desarrollo de ganaderías más productivas, apoyadas en los instrumentos de política en materia de investigación, innovación, transferencia tecnológica y manejo sanitario.

4.2 CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI AGRICULTURA

El proceso metodológico empleado en el cálculo de emisiones de GEI del módulo de agricultura se realizó bajo las directrices establecidas por el panel o grupo intergubernamental de cambio climático (IPCC, 1996), así como en las orientaciones de las buenas prácticas (IPCC, 2000). En consecuencia, en el anexo A4.1 se presentan las principales categorías y/o actividades definidas como fuentes antropogénicas de GEI derivadas del Módulo de agricultura, las variables que lo componen y los métodos establecidos para el cálculo de GEI.

En general, el Módulo de agricultura se divide en seis grandes categorías: población de ganado doméstico (fermentación entérica y manejo de estiércol), cultivos de arroz, suelos agrícolas, quema de sabanas y quema de residuos agrícolas en campo (excluye aquellos utilizados como combustible). Cada una de estas categorías es fuente de diferentes gases de efecto invernadero como el metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO). Véase la Tabla 4.2, donde se muestra la clasificación.

Tabla 4.2 Gases Efecto Invernadero estimados por categoría para el Módulo agricultura

| Módulo agricultura / Categorías | | Gases de efecto invernadero | | | |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------|-----------------|----|
| | | CH ₄ | N ₂ O | NO _x | CO |
| 1. Población de ganado: | Fermentación entérica | x | | | |
| | Manejo de estiércol | x | x | | |
| 2. Cultivos de arroz | | x | | | |
| 3. Suelos agrícolas | | | x | | |
| 4. Quema de sabanas | | x | x | x | x |
| 5. Quema de residuos agrícolas | | x | x | x | x |

Fuente: Los autores, con metodología de: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

A partir de estas categorías se analiza cada una de las variables básicas, consiguiendo así la información y datos necesarios para su cálculo; tarea que implicó el establecimiento y búsqueda de fuentes oficiales de información a nivel nacional y diversas investigaciones en materia agrícola.

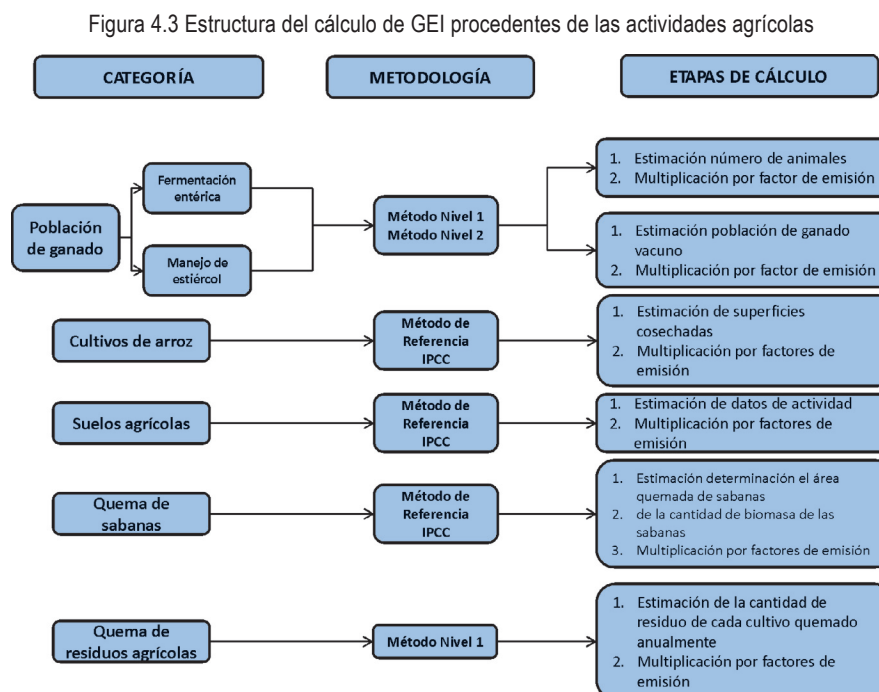
El procedimiento de cálculo desarrollado para este módulo comprende cinco etapas:

22 Departamento Nacional de Estadística. Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA). Bogotá: DANE, 2001.

23 Este comportamiento obedece a las políticas sobre las licencias previas de importación de leche (leche y nata-crema, concentradas, o con adición de azúcar u otro edulcorante), con la finalidad de mantener la estabilidad del mercado interno de la leche y frenar las importaciones de leche en polvo. Estas políticas se establecieron a través de los decretos 1310 de 2003 y 1963 de 2004.

- a) Identificación de las categorías de emisión del módulo.
- b) Establecer la intensidad de la actividad en el país.
- c) Establecer el nivel de análisis de cálculo de emisiones.
- d) Determinar los factores de emisión.
- e) Efectuar el cálculo de la emisión neta.

En la Figura 4.3, se presenta la estructura de cálculo de los GEI procedentes de las actividades agrícolas.



Fuente: Los autores, con metodología de: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

4.2.1 Fuentes de la información usada en el cálculo de GEI

La información necesaria en el cálculo de gases de GEI se obtuvo a través de la mesa técnica de trabajo interinstitucional, encabezada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Dicho Ministerio, como entidad rectora del sector, recopila, analiza y difunde diversa información y estadísticas oficiales, entre las cuales se destacan: la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA), el Anuario Estadístico del Sector Agropecuario, así como las memorias e informes al Congreso de la República. Otras entidades integrantes de la mesa fueron: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT); Departamento Nacional de Estadística (Dane); Corporación Colombia Internacional (CCI); Instituto Colombiano Agropecuario (ICA); Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) (en especial los Centros de Investigación La Libertad y Turipaná); Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia (Corporinoquia), autoridad ambiental; Fondo Ganadero de Córdoba; Asociación de Ganaderos de Córdoba (Ganacor); Universidad de Córdoba, Departamento de Ciencias Pecuarias; Gobernación del Meta, Secretaría de Agricultura y Ganadería; Federación Ganadera y Fondo Ganadero del Meta y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

La selección de la metodología más apropiada para realizar el cálculo de las emisiones de GEI de este módulo, con sus diferentes categorías, involucró la evaluación de la consistencia, calidad y atributos de la información disponible.

4.2.2 Proceso para el cálculo de emisiones de GEI

El cálculo de emisiones para este módulo se fundamenta en las Guías del IPCC, de los años 1996 y 2000. Bajo estas directrices y considerando las observaciones formuladas por expertos nacionales en la mesa de trabajo del módulo, se desarrollaron los análisis que se detallan en el Anexo 4.1, en el que se presenta el cálculo de los GEI para las diferentes categorías o actividades agropecuarias, usando diferentes niveles de información.

Es procedente mencionar que a partir de los resultados obtenidos en la 'Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático' y específicamente en el Inventario Nacional de GEI para los años 1990 y 1994, las emisiones procedentes del Módulo de agricultura en términos de CO₂ eq (promedio para la década de los años noventa), constituyeron la principal fuente de GEI a nivel nacional. Asimismo, se estableció la necesidad de fortalecer el proceso de análisis en términos de calidad y pertinencia de la información base con miras a generar mejores estimativos de las emisiones provenientes de este módulo.

4.3 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI

Los resultados obtenidos se relacionan en las tablas 4.3 y 4.4 de reporte de los gases de GEI estimados en el módulo de agricultura para los años 2000 y 2004, respectivamente.

Tabla 4.3 Reporte sectorial de emisiones nacionales GEI, año 2000

| REPORTES SECTORIAL PARA INVENTARIOS NACIONALES DE GAS EFECTO INVERNADERO (2004) | | | | | | | |
|---|-----------------|------------------|-----------------|---------------|-------|-----------------------|-----------------------------------|
| FUENTE GAS EFECTO INVERNADERO Y CATEGORÍAS DE SUMIDEROS | (Gg) | | | | | Gg CO ₂ eq | Participación dentro del módulo % |
| | CH ₄ | N ₂ O | NO _x | CO | COVDM | | |
| Total agricultura | 1.580,49 | 103,16 | 3,18 | 115,79 | | 65169,5 | |
| A fermentación entérica | 1.472,7 | | | | | 30.928,8 | 47,46 |
| 1. Ganado bovino lechero | 54,99 | | | | | 1154,79 | |
| 2. Ganado bovino no lechero | 1.322,51 | | | | | 27.772,71 | |
| 3. Búfalo | 8,81 | | | | | 185,01 | |
| 4. Ovejas | 13,45 | | | | | 282,45 | |
| 5. Cabras | 17,91 | | | | | 376,11 | |
| 6. Camellos y llamas | 0 | | | | | | |
| 7. Caballos | 44,88 | | | | | 942,48 | |
| 8. Mulas y asnos | 7,06 | | | | | 148,26 | |
| 9. Cerdos | 3,19 | | | | | 66,99 | |
| 10. Aves de corral | 0 | | | | | | |
| B Manejo del estiércol | 42,07 | 0,82 | | | | 1137,67 | 1,75 |
| 1. Ganado bovino lechero | 1,45 | | | | | 30,45 | |
| 2. Ganado bovino no lechero | 23,22 | | | | | 487,62 | |
| 3. Búfalo | 0,31 | | | | | 6,51 | |
| 4. Ovejas | 0,48 | | | | | 10,08 | |
| 5. Cabras | 0,75 | | | | | 15,75 | |
| 6. Camellos y llamas | 0 | | | | | | |
| 7. Caballos | 4,76 | | | | | 99,96 | |
| 8. Mulas y asnos | 0,76 | | | | | 15,96 | |
| 9. Cerdos | 4,14 | | | | | 86,94 | |
| 10. Aves de corral | 6,2 | | | | | 130,20 | |
| 11. Anaeróbico | | 0 | | | | | |
| 12. Sistemas líquidos | | 0 | | | | | |
| 13. Almacenamiento en sólido | | 0,82 | | | | 254,2 | |
| 14. Otro (especificar) | | 0 | | | | | |
| C Cultivos de arroz | 60,71 | | | | | 1274,91 | 1,96 |
| 1. Irrigado | 37,94 | | | | | 796,74 | |
| 2. Secano | 22,77 | | | | | 478,17 | |
| 3. Agua profunda | 0 | | | | | | |
| D Suelos agrícolas | | 102,25 | | | | 31.697,50 | 48,64 |
| E Quema prescrita de sabanas | 2,5 | 0,03 | 1,12 | 65,64 | | 61,80 | 0,09 |
| F Quema en campo de residuos agrícolas ⁽¹⁾ | 2,39 | 0,06 | 2,06 | 50,15 | | 68,79 | 0,11 |

Fuente: Los autores, 2007.

Tabla 4.4 Reporte sectorial de emisiones nacionales GEI, año 2004

| REPORTES SECTORIAL PARA INVENTARIOS NACIONALES DE GAS EFECTO INVERNADERO (2000) | | | | | | | |
|---|-----------------|------------------|-----------------|---------------|--------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| FUENTE GAS EFECTO INVERNADERO Y CATEGORÍAS DE SUMIDEROS | (Gg) | | | | | Gg CO ₂ eq | Participación dentro del módulo % |
| | CH ₄ | N ₂ O | NO _x | CO | CO ₂ DM | | |
| Total agricultura | 1.699,38 | 106,06 | 3,9 | 132,71 | | 68.565,58 | |
| A fermentación entérica | 1.583,74 | | | | | 33.258,54 | 48,51 |
| 1. Ganado bovino lechero | 43,8 | | | | | 919,80 | |
| 2. Ganado bovino no lechero | 1.441,26 | | | | | 30.266,46 | |
| 3. Búfalo | 9,27 | | | | | 194,67 | |
| 4. Ovejas | 14,15 | | | | | 297,15 | |
| 5. Cabras | 18,86 | | | | | 396,06 | |
| 6. Camellos y llamas | | | | | | | |
| 7. Caballos | 46,64 | | | | | 979,44 | |
| 8. Mulas y asnos | 6,58 | | | | | 138,18 | |
| 9. Cerdos | 3,18 | | | | | 66,78 | |
| 10. Aves de corral | | | | | | | |
| B Manejo del estiércol | 44,61 | 0,81 | | | | 1187,91 | 1,73 |
| 1. Ganado bovino lechero | 1,15 | | | | | 24,15 | |
| 2. Ganado bovino no lechero | 24,15 | | | | | 507,15 | |
| 3. Búfalo | 0,32 | | | | | 6,72 | |
| 4. Ovejas | 0,51 | | | | | 10,71 | |
| 5. Cabras | 0,79 | | | | | 16,59 | |
| 6. Camellos y llamas | | | | | | | |
| 7. Caballos | 4,95 | | | | | 103,95 | |
| 8. Mulas y asnos | 0,71 | | | | | 14,91 | |
| 9. Cerdos | 4,13 | | | | | 86,73 | |
| 10. Aves de corral | 7,9 | | | | | 165,90 | |
| 11. Anaeróbico | | | | | | | |
| 12. Sistemas líquidos | | | | | | | |
| 13. Almacenamiento en sólido | | 0,81 | | | | 251,10 | |
| 14. Otro (especificar) | | | | | | | |
| C Cultivos de arroz | 65,34 | | | | | 1.372,14 | 2,00 |
| 1. Irrigado | 34,98 | | | | | 734,58 | |
| 2. Secano | 30,36 | | | | | 637,56 | |
| 3. Agua profunda | | | | | | | |
| D Suelos agrícolas | | 105,14 | | | | 32.593,40 | 47,54 |
| E Quema prescrita de sabanas | 2,5 | 0,03 | 1,12 | 65,64 | | 61,80 | 0,09 |
| F Quema en campo de residuos agrícolas ⁽¹⁾ | 3,19 | 0,08 | 2,78 | 67,07 | | 91,79 | 0,13 |

Fuente: Los autores, 2007.

4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Teniendo en cuenta la información de las hojas de reporte, se presenta en los siguientes acápite un análisis de los resultados obtenidos por fuente de categoría.

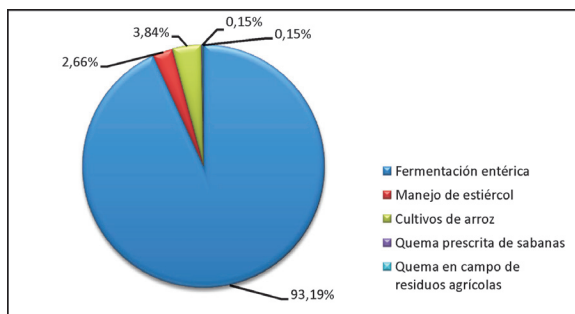
4.4.1 Emisiones totales de metano

Las emisiones totales de metano para el Módulo de agricultura en el año 2000 representaron un total de 1.580,48 Gg, mientras que para el año 2004 fueron de 1.699,39 Gg. Por categoría de fuente, las actividades que mayor influencia tienen en este comportamiento son, en orden de importancia: ganadería (fermentación entérica y manejo de estiércol), cultivo de arroz bajo riego, quema de residuos agrícolas y quema de sabanas. En las Figuras 4.4 y 4.5 se ilustran las emisiones totales de metano por categoría fuente para los años 2000 y 2004, respectivamente.

En la década de los noventa²⁴ las emisiones de metano procedentes de la actividad ganadera representaron un promedio de 1.334,4 Gg, de las cuales la fermentación entérica fue la que más influyó en este comportamiento. Entre los años 2000 y 2004 se registró un aumento de estas emisiones en un promedio de 1.528,27 Gg, del cual la gran mayoría corresponde a la fermentación entérica. En el Cuadro 4.2 se presentan unas consideraciones generales sobre el perfil de emisiones de metano obtenido en países donde las actividades agropecuarias tienen importancia económica sobre el uso del suelo.

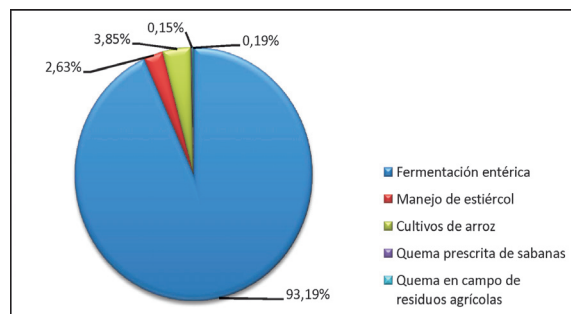
24 IDEAM. Años base del inventario 1990 y 1994. Bogotá: El autor, 2001.

Figura 4.4. Emisiones totales de CH₄ por categoría de fuente, 2000



Fuente: Los autores, 2008.

Figura 4.5. Emisiones totales de CH₄ por categoría de fuente, 2004



Fuente: Los autores, 2008.

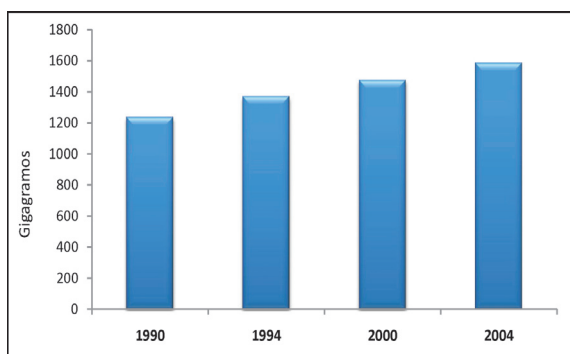
Cuadro 4.2 Perfil de emisiones de CH₄ entérico en países con vocación agropecuaria

En relación con el perfil de las emisiones, es posible observar que en el nivel regional las emisiones de CO₂ son, en unidades de CO₂ equivalentes, similares a la suma de las emisiones de CH₄ y N₂O, a saber: 52% para el CO₂ y 48% para los otros dos GEI considerados. Este perfil de emisiones difiere fuertemente del perfil mundial (global) de emisiones. En este caso, las emisiones de CO₂ representan el 73% de las emisiones totales. Ese perfil de distribución de las emisiones globales está altamente influenciado por las emisiones de los países con fuerte desarrollo económico, gran dependencia de combustibles fósiles y/o menor peso relativo de actividades territoriales como las agro-ganaderas. Para muchos de los países con mayor desarrollo económico, las emisiones de CO₂ son superiores al 80% de las emisiones totales. Otros países, como Nueva Zelanda, presentan perfiles de emisión similares al del Mercosur, debido, entre otros motivos, a la gran importancia económica de las actividades relacionadas con el uso del territorio, en el caso mencionado, la ganadería.

Fuente: Argentina. Actividades habilitantes para la 2ª Comunicación Nacional a las Partes de la CMNUCC. PP No. 5cB. Buenos Aires: 2006. p. 41-42. [On Line] disponible en: [aplicaciones.medioambiente.gov.ar / archivos / web / UCC / File / comunicaciones_nacionales / metano_entérico_final](http://aplicaciones.medioambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/comunicaciones_nacionales/metano_entérico_final).

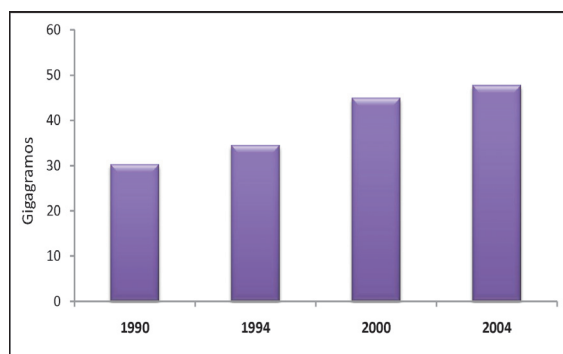
De otro lado, el manejo del estiércol frente a las emisiones totales de CH₄, representó el 2,04 % entre 1990 y 1994, mientras que para el año 2000 y 2004 su contribución fue de 2,64%. Este comportamiento corresponde con el aumento del hato ganadero, que pasó de un promedio de 24.114.450 cabezas de ganado bovino para la década de los noventa, a un promedio de 24.550.834 reportado para los años 2000 y 2004. Véase las figuras 4.6 y 4.7.

Figura 4.6. Emisiones de CH₄ de la fermentación entérica



Fuente: Los autores, 2007

Figura 4.7. Emisiones de CH₄ del manejo del estiércol (Gg)



Fuente: Los autores, 2007.

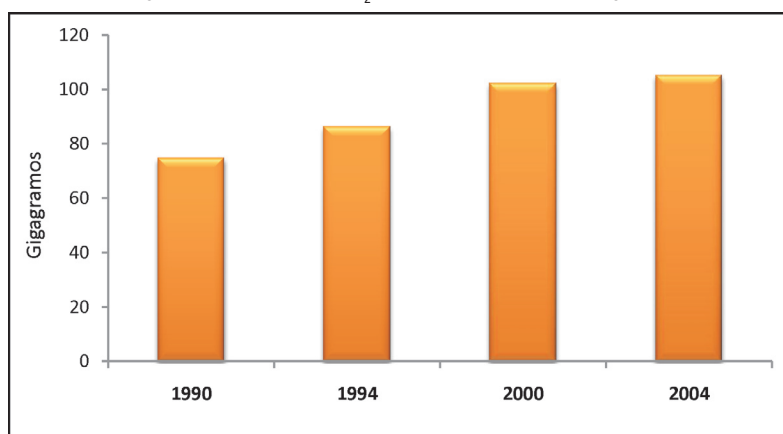
Es oportuno resaltar la importancia de los resultados presentados y el grado de avance alcanzado en relación con el primer inventario de GEI (IDEAM, 2001). De acuerdo con el IPCC (2000), la incertidumbre al usar el nivel 1 está alrededor de $\pm 30\%$ a $\pm 50\%$; mientras que el uso de factores de emisión nacionales calculados por el nivel 2, que reflejan la intensidad y características de la producción pecuaria nacional, presentan una disminución significativa en la incertidumbre, alrededor de $\pm 20\%$ (IPCC, 2006). En el anexo del presente módulo se presentan las emisiones obtenidas por tipo de ganado con las dos metodologías (nivel 1 y 2).

4.4.2 Emisiones totales de N_2O de los suelos agrícolas

Para los años 2000 y 2004, las emisiones totales de N_2O procedentes de suelos dedicados a la actividad agrícola alcanzaron: 102,25 Gg y 105,14 Gg, respectivamente. De estas emisiones, las actividades que más aportaron óxido nitroso en orden decreciente son: suelos agrícolas, manejo de estiércol, quema de residuos agrícolas y quema de sabanas.

Si se comparan con las emisiones obtenidas para los años 1990 y 1994 (74,7 y 86,2 Gg, respectivamente), se encuentra un aumento significativo de las emisiones de N_2O , el cual se interpreta en parte por el refinamiento en la estimación del nitrógeno (N) incorporado al suelo como fertilizantes sintéticos. Véase la Figura 4.8.

Figura 4.8 Emisiones de N_2O procedentes de suelos agrícolas



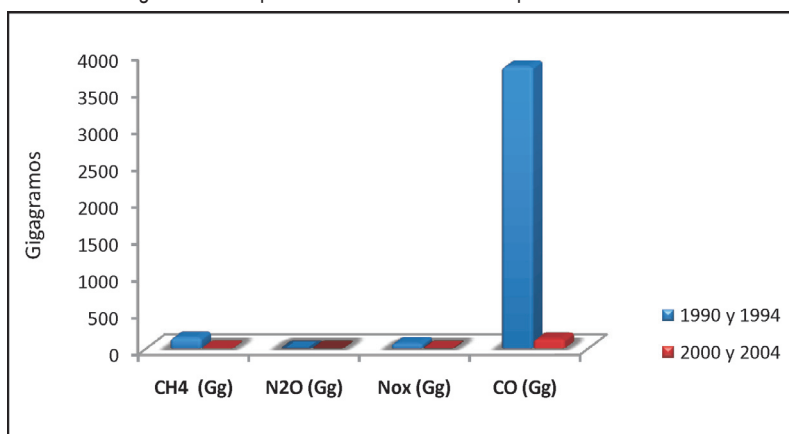
Fuente: Los autores, 2007.

4.4.3 Emisiones totales de la quema prescrita de sabanas

La quema de sabanas aporta el 0,15% de las emisiones totales de metano del Módulo de agricultura; 49,46% de la emisión de monóxido de carbono; 0,03 % de la emisión de óxido nitroso, y 28,69 % de la emisión de óxidos de nitrógeno.

Si se elabora un paralelo entre las emisiones registradas para los años 2000 y 2004, frente a los resultados obtenidos en el inventario de los años 1990 y 1994, se observa una disminución significativa en los resultados del cálculo de las emisiones como consecuencia directa del cambio en la metodología aplicada en la estimación de la fracción de sabanas que anualmente se quema. En la Figura 4.9 se presentan las emisiones de la categoría por tipo de GEI emitido.

Figura 4.9 Comparativo de emisiones de la quema de sabanas

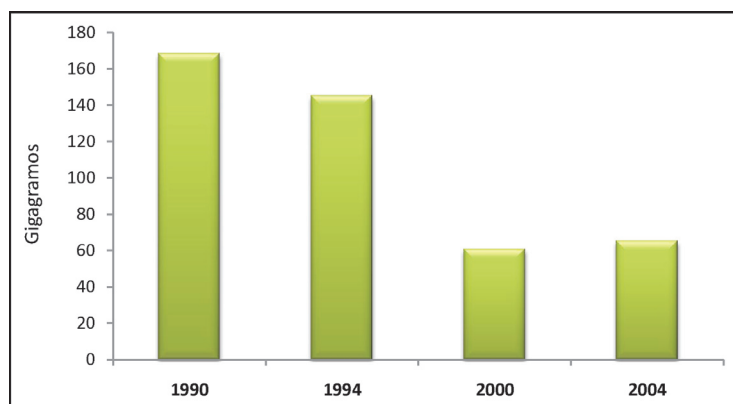


Fuente: Los autores, 2007.

4.4.4 Emisiones totales de CH₄ del cultivo de arroz

Las emisiones de metano provenientes del cultivo de arroz para el año 2000 fueron de 60,71 Gg y de 65,34 Gg para 2004; equivalentes al 3,84 % de las emisiones totales de metano del Módulo de agricultura para el año 2000 y 3,85% para el año 2004. En los inventarios de los años 1990 (168,3Gg) y 1994 (145,1 Gg), en promedio se registró una disminución de 40,22 % en las emisiones totales, a pesar del aumento de las áreas sembradas (49,7 % en promedio). Véase la Figura 4.10.

Figura 4.10 Emisiones de CH₄ del cultivo de arroz (Gg)



Fuente: Los autores, 2007.

Tal situación obedece principalmente a los datos empleados en las estimaciones del inventario para 1990 y 1994; teniendo en cuenta que se utilizó la información de las áreas sembradas, y para calcular el área cosechada, se parte del supuesto de que el cultivo "se distribuye más o menos por mitad en cada semestre (marzo-agosto, septiembre-febrero), asumiendo por consiguiente dos cosechas al año"²⁵. Esta condición conlleva a sobre estimar las emisiones, pues de acuerdo con datos estimados por la Corporación Colombia Internacional, la diferencia en promedio a nivel nacional entre una hectárea sembrada y cosechada es de 13,08%²⁶.

25 IDEAM. Documento técnico para el cálculo del inventario nacional de gases de efecto invernadero generados en el Módulo de agricultura, años: 1990 y 1994. Bogotá: El autor, 2001.

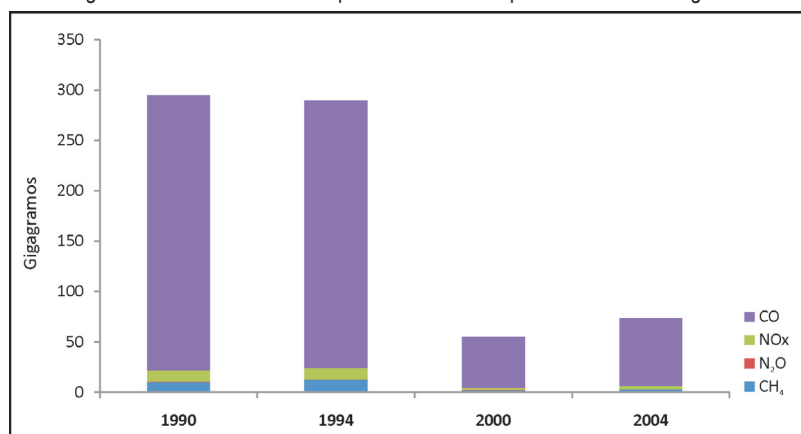
26 Comunicación personal con Marco Fidel Pérez. Corporación Colombia Internacional. Promedio obtenido a partir de estadísticas nacionales de áreas sembradas contra áreas cosechadas, datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2000 y 2004.

De otro lado, al retomar los inventarios calculados para los años 1990 y 1994, se encuentra la aplicación de un ajuste en la adición de materia orgánica como fertilizantes, empleando para ello un factor de 2, con lo cual se aumentan las emisiones en un 100%. Teniendo en consideración la información suministrada por Fedearroz²⁷, esta actividad es mínima y los promedios de uso de fertilizantes por las principales zonas no reportan las adiciones orgánicas.

4.4.5 Emisiones totales de la quema de residuos

La quema de los residuos agrícolas participa en el total de las emisiones de GEI del Módulo de agricultura de la siguiente manera: metano con 0,15% en los dos años de evaluación; óxido nitroso con 0,06% (2000) y 0,03% (2004); monóxido de carbono con 43,31% (2000) y 49,46% (2004), y óxidos de nitrógeno con 64,78% (2000) y 28,69 % (2004). En la Figura 4.11 se presenta la comparación de las emisiones en gigagramos, registradas para el inventario de 1990 y 1994 frente a 2000 y 2004.

Figura 4.11 Emisiones totales procedentes de la quema de residuos agrícolas

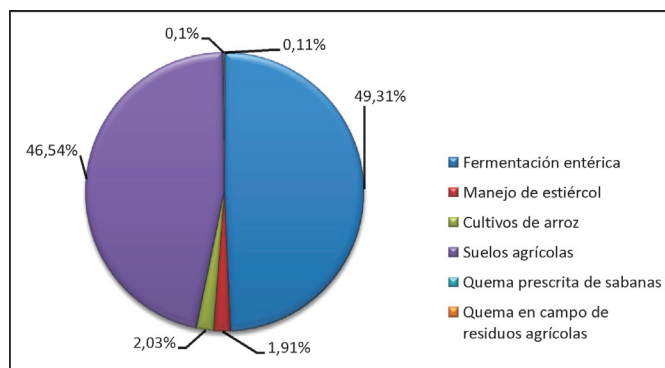


Fuente: Los autores, 2007.

4.4.6 Reporte sectorial de emisiones de GEI en CO₂

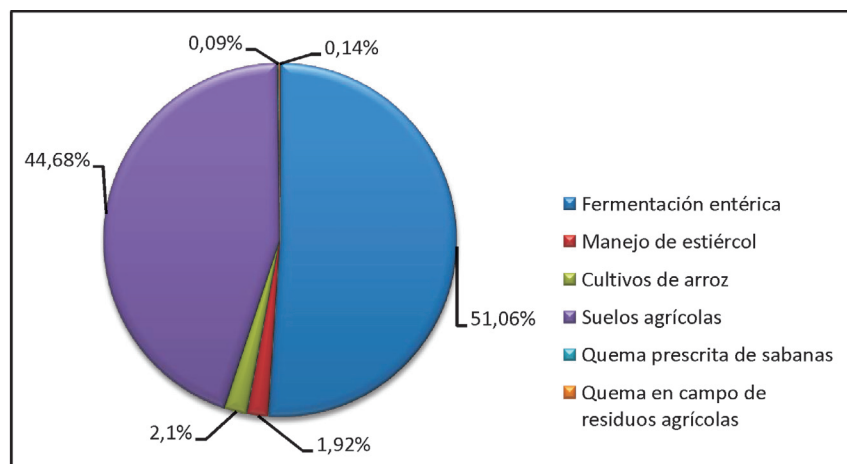
Las figuras 4.12 y 4.13, muestran el reporte sectorial de las emisiones de GEI expresadas en CO₂ equivalentes por categoría de fuente para el Módulo de agricultura.

Figura 4.12 Emisiones de CO₂ equivalentes para el año 2000



Fuente: Los autores, 2007.

27 DURÁN-DUEÑAS, Juan, C. Proyecto fase II. Con base en el Informe de Consultoría No. 3.

Figura 4.13 Emisiones de CO₂ equivalentes para el año 2004

Fuente: Los autores, 2007.

4.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos en la categoría de manejo de ganado doméstico, se observa un avance importante en el cálculo de emisiones provenientes de esta categoría de fuente con respecto a los valores utilizados en el inventario de los años 1990 y 1994. Tal avance permitió hacer una estimación más precisa de los factores de emisión empleados, llegando incluso a definir algunos factores específicos para Colombia. Éste es un progreso representativo en la gestión de la información, generado tanto por la utilización de metodologías del nivel 2, bajo la cual se dedicó un gran esfuerzo en obtener la información necesaria para caracterizar, como por los datos y análisis de la población ganadera en el país.

En el caso de otras categorías fuente como: cultivos de arroz, suelos agrícolas, quema de sabanas, y quema de residuos, la información disponible no permitió el mismo desarrollo metodológico (nivel 2), por lo que se emplearon factores de emisión por defecto dados en las guías del IPCC. A pesar de lo anterior, se mejoró la información base, necesaria para el inventario en lo relacionado con su calidad y cobertura.

Para los cultivos de arroz, dada la complejidad en la relación suelo-agua-cultivo (la cual determina la producción de metano), es conveniente adelantar investigaciones en la determinación de factores de emisión para las condiciones nacionales.

La quema de sabanas, si bien no constituye una fuente principal de emisiones, si es la categoría que contiene la mayor incertidumbre del módulo, esta falencia obedece al poco conocimiento respecto a la dinámica de los ecosistemas de sabanas en Colombia sobre la generación de emisiones de GEI. Por lo tanto, los resultados que se presentan en este módulo constituyen una aproximación a las emisiones específicas generadas por esta categoría, las que deben ser afinadas en la medida en que se disponga de información de investigaciones de base.

Teniendo en cuenta la baja disponibilidad de datos para la estimación de la quema de residuos agrícolas, se hace necesario aunar esfuerzos dirigidos a mejorar la investigación relacionada con la ocurrencia e intensidad de dicha actividad a nivel nacional. Tal gestión deberá permitir en un futuro la obtención de valores promedio para desperdicios a partir de la relación residuos/producción, fracción de materia seca, fracción quemada en campo y oxidada para los principales cultivos reportados por la Encuesta Nacional Agropecuaria; tal es el caso de cereales como arroz, maíz, trigo, sorgo e, igualmente, para la caña panelera y de azúcar.

Es necesario exhortar a las diferentes instituciones y gremios del sector agropecuario para que apoyen y aporten en la consecución de información con más detalle para cada una de las categorías fuentes de emisión del sector agropecuario. Tales gestiones permitirán una caracterización más exacta y precisa, con el fin de evitar potenciales sesgos en la información y los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- Aprovechar las potencialidades del campo. En: *Visión Colombia II Centenario: 2019. Propuesta para discusión*. Bogotá: Planeta Colombiana, 2005. 16 p.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. CIAT. *Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los llanos orientales de Colombia*. Cali: Georges Rippstein, Germán Escobar, Francisco Motta, CIAT. 2001. 302 p.
- COLOMBIA. COLCIENCIAS. *Plan estratégico Programa Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria 2005-2015 [en línea] 2005*. [Consultado en agosto 2009]. Disponible en: URL: www.dnp.gov.co/archivos/documentos/2019_Documentos/documento_ciencia_tecnologia.pdf
- COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de Todas las Actividades Económicas. Revisión 3.1 adaptada para Colombia*. Bogotá: DANE. 2005?
- COLOMBIA. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. *Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Bogotá: IDEAM. 2001. p. 221
- COLOMBIA. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. *Mapa de suelos de Colombia*. Escala 1: 500.000. Bogotá: IGAC. 2003.
- _____. *Mapa de cobertura y usos de las tierras de Colombia*. Escala 1: 500.000. Bogotá: IGAC. 2002
- _____. *Zonificación de los conflictos de usos de las tierras del país. Capítulo IV. Uso adecuado y conflictos de uso de las tierras en Colombia*. Bogotá: IGAC-, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria -Corpoica- 2002.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, Y DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. *Sistema de información del sector agropecuario y pesquero colombiano. Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA). Resultados 2001 en cifras*. Bogotá: MADR - DANE. 2001. p. 206.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. *Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Sistema de información del sector agropecuario y pesquero colombiano. 2004. Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) Resultados 2004 en cifras*. Bogotá: MADR - DANE. p. 219.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. INSTITUTO INTERAMERICANO PARA LA AGRICULTURA [en línea]. [Consultado en enero 2007]. Disponible en URL: <http://www.agrocadenas.gov.co/home.htm>
- COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. *Perspectivas del sector agropecuario*. [en línea]. Consultado en agosto de 2009. Disponible en: <http://corpoica.gov.co/SitioWeb/Archivos/Publicaciones/Perspectivas2005.pdf>
- COLOMBIA. UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. Facultad de Ciencias Agrarias. *Proyecto Plan de Desarrollo 2006-2016. Diagnóstico sector agrario*. [en línea]. Consultado en agosto de 2009. Disponible en: <http://kogi.udea.edu.co/plan2006-2016/Plan%20de%20Desarrollo%20publicado.doc>

- CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA. Producción bovina en la llanura inundable de Arauca. Boletín Técnico No. 28. Regional 8. Santa Bárbara de Arauca. Corpoica. 2001. p. 40.
- CORREA, S. A. Efecto de las quemadas sobre algunas propiedades de los suelos de los llanos orientales. En: Colombia Geográfica, Vol. 9, No. 2, (1982); p. 56-80.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE. Revised 1996. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual. IPCC. 1997. p. 140.
- _____. 2006. Estrategia de reducción de incertidumbres de las variables básicas en la estimación de gases efecto invernadero (GEI). Bogotá: IDEAM. p. 178.
- _____. Good Practices Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 4. Agriculture. 2000. p. 106
- _____. Guidelines for national greenhouse gas inventories. Volume 4. Agriculture, forestry and other land use, part 2. Chapter 10. 2006.
- _____. Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Work Book. IPCC. 1997. p. 66
- KURIHARA, M., et al. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. British Journal of Nutrition, 81, (1999); p. 227 - 234.
- LEIBOVICH José y Estrada Laura. Capítulo IV. Basado en el estudio: Diagnóstico y recomendaciones de política para mejorar la competitividad del sector agropecuario colombiano. Consejo privado de competitividad. Competitividad del sector agropecuario colombiano. [En línea]. [Consultado en agosto de 2009]. Disponible en: <http://www.rimisp.cl/boletines/bol42/>
- MULLENAR, Charles, M. Adecuación y manejo de sabanas naturales en la altillanura de los Llanos Orientales. En: Carta Agraria No. 27. Caja de Crédito Agrario.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. Consultative group of experts on national communications from parties not included in Annex I to the convention. Handbook on agriculture sector, general issues. UNFCCC. 2007. p. 33.



ANEXO

| | Página |
|---|------------|
| ANEXO 4.1 CÁLCULO DE EMISIONES PARA EL MÓDULO DE AGRICULTURA | 199 |
| 4.1 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN USADA PARA EL CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE GEI | 200 |
| 4.1.1 Información para las emisiones de metano, óxido nitroso de la fermentación entérica y manejo de estiércol | 200 |
| 4.1.2 Emisiones de N ₂ O procedentes del pastoreo de animales | 205 |
| 4.1.3 Emisión de CH ₄ , N ₂ O, CO y NOx por quema de residuos agrícolas | 206 |
| 4.1.4 Emisión de CH ₄ , N ₂ O, CO y NOx por quema prescrita de sabanas | 206 |
| 4.1.5 Emisiones directas e indirectas de N ₂ O provenientes de suelos agrícolas | 207 |
| 4.1.6 Emisiones indirectas de N ₂ O procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura | 208 |
| 4.2 PROCESO PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI | 209 |
| 4.2.1 Emisiones de metano del manejo de ganado doméstico, fermentación entérica y manejo de estiércol | 209 |
| 4.2.2 Cálculo de emisiones procedentes de suelos agrícolas. | 216 |
| 4.2.3 Cálculo de emisiones de metano del cultivo de arroz | 216 |
| 4.2.4 Cálculo de emisiones por la quema prescrita de sabanas. | 219 |
| 4.2.5 Cálculo de emisiones por la quema de residuos agrícolas | 221 |
| 4.3 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI1 | 222 |
| CONTENIDO DE TABLAS DEL ANEXO 4.1 | |
| Tabla A4.1 GEI estimados por categoría en el Módulo agricultura | 199 |
| Tabla A4.2 Variables necesarias para la estimación de CH ₄ por el Nivel 1 | 202 |
| Tabla A4.3 Variables para ganado vacuno para la estimación de metano por fermentación entérica Nivel 2 | 203 |
| Tabla A4.4 Variables para ganado vacuno para la estimación de metano por manejo de estiércol Nivel 2 | 204 |
| Tabla A4.5 Variables para ganado vacuno para la estimación de óxido nitroso por manejo de estiércol Nivel 1 | 205 |
| Tabla A4.6 Variables para la estimación de las emisiones de N ₂ O procedentes del pastoreo de animales | 205 |



| | Página |
|--|--------|
| Tabla A4.7 Variables relacionadas para la estimación de GEI por quema de residuos agrícolas | 206 |
| Tabla A4.8 Variables relacionadas para la estimación de GEI por quema de sabanas | 207 |
| Tabla A4.9 Variables relacionadas en la estimación de NO ₂ emisiones directas del suelo | 208 |
| Tabla A4.10 Variables relacionadas con la estimación de NO ₂ por cultivos de arroz | 208 |
| Tabla A4.11 Ejemplo de la caracterización de ganado | 209 |
| Tabla A4.12 Inventario ganadero, factores de emisión y emisiones totales de CH ₄ para el año 2000 | 210 |
| Tabla A4.13 Inventario ganadero, factores de emisión y emisiones totales de CH ₄ para el año 2004 | 211 |
| Tabla A4.14 FE para el manejo del estiércol por distribución climática del inventario pecuario, Nivel 1 | 211 |
| Tabla A4.15 Inventario pecuario por departamento y peso promedio para el año 2000 | 213 |
| Tabla A4.16 Inventario pecuario por departamento y peso promedio para el año 2004 | 214 |
| Tabla A4.17 FE y emisiones de metano para ganado vacuno no lechero por departamento, años 2000 y 2004 | 216 |
| Tabla A4.18 Fuentes de N y emisiones totales (directas/indirectas) de N ₂ O de los suelos agrícolas | 217 |
| Tabla A4.19 Emisiones de CH ₄ asociadas con las superficies sembradas y cosechadas de arroz | 219 |
| Tabla A4.20 Emisiones de GEI procedentes de la quema de sabanas | 220 |
| Tabla A4.21 Parámetros para la estimación de GEI de la quema de sabanas | 220 |
| Tabla A4.22 Producción anual de los principales cultivos evaluados a nivel nacional | 221 |
| Tabla A4.23 Parámetros para la estimación de GEI de la quema de residuos agrícolas | 221 |
| Tabla A4.24 Emisiones de GEI procedentes de la quema de residuos agrícolas | 221 |
| Tabla A4.25 Emisiones totales de metano para el año 2000 | 222 |
| Tabla A4.26 Emisiones totales de metano para el año 2004 | 222 |
| Tabla A4.27 Estimación del consumo de N por fertilizantes sintéticos a partir de las ventas nacionales, año 2000. | 223 |
| Tabla A4.28 Estimación del consumo de N por fertilizantes sintéticos a partir de las ventas nacionales, año 2004. | 223 |

CONTENIDO DE MAPAS DEL ANEXO 4.1

| | |
|---------------------------------------|-----|
| Mapa A.1 Histosoles en Colombia | 218 |
|---------------------------------------|-----|

ANEXO 4.1 CÁLCULO DE EMISIONES PARA EL MÓDULO DE AGRICULTURA

En este anexo se presenta el proceso metodológico empleado en el cálculo de emisiones de GEI del módulo de agricultura bajo las directrices establecidas por el panel intergubernamental de cambio climático (IPCC, 1997) así como en las orientaciones de las buenas prácticas (IPCC, 2000).

El Módulo de agricultura se divide en seis grandes categorías: población de ganado doméstico (fermentación entérica y manejo de estiércol), cultivos de arroz, suelos agrícolas, quema de sabanas, y quema de residuos agrícolas en campo (excluye aquellos utilizados como combustible); cada una de estas categorías es fuente de diferentes gases de efecto invernadero como el metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO). Véase la Tabla A4.1.

Tabla A4.1 GEI estimados por categoría en el Módulo agricultura

| Módulo agricultura / Categorías | | Gases de efecto invernadero | | | |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------|-----------------|----|
| | | CH ₄ | N ₂ O | NO _x | CO |
| 1. Población de ganado: | Fermentación entérica | x | | | |
| | Manejo de estiércol | x | x | | |
| 2. Cultivos de arroz | | x | | | |
| 3. Suelos agrícolas | | | x | | |
| 4. Quema de sabanas | | x | x | x | x |
| 5. Quema de residuos agrícolas | | x | x | x | x |

Fuente: Los autores, 2007. Adaptado de Revised 1996, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 1997

La base conceptual para estimar las emisiones GEI de este módulo parte del análisis de cada una de las variables que componen las categorías de fuente mencionadas, proceso que implica la definición y búsqueda de fuentes oficiales de información a nivel nacional, incluyendo diversas investigaciones en materia agrícola.

El procedimiento de cálculo para este módulo comprende cinco etapas:

- Identificación de las categorías de emisión del módulo.
- Establecer la intensidad de la actividad en el país.
- Establecer el nivel de análisis de cálculo de las emisiones.
- Determinar los factores de emisión.
- Efectuar el cálculo de la emisión neta.



4.1 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN USADA PARA EL CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE GEI

La información utilizada en el cálculo de gases de GEI se acopió a través de la una mesa técnica de trabajo interinstitucional. Los detalles del proceso y las instituciones participantes en la misma pueden ser revisados en el documento principal del Módulo de agricultura.

4.1.1 Información para las emisiones de metano, óxido nitroso de la fermentación entérica y manejo de estiércol

La producción pecuaria y las emisiones inherentes están determinadas por su intensidad, definida ésta en términos generales por el número de cabezas de ganado y por la caracterización de la población ganadera existente en el país (especies y subespecies). La caracterización se emplea para estimar las emisiones en categorías de fuentes como fermentación entérica, manejo del estiércol y emisiones directas e indirectas de óxido nitroso (N_2O) desde suelos agrícolas.

A continuación se presentan los cálculos realizados para obtener las emisiones de metano y óxido nitroso derivadas del manejo de ganado, fermentación entérica y manejo del estiércol.

4.1.1.1 Fermentación entérica

Durante el proceso digestivo, los herbívoros (ruminantes) producen metano por acción de la fermentación de la celulosa, proveniente del alimento consumido. La descomposición se origina en el rumen, órgano del sistema digestivo que hace parte del estómago, en el cual microorganismos (bacterias) producen la encima celulasa que descompone la celulosa contenida en la dieta en moléculas más simples (D-glucosa), las cuales van directamente al torrente sanguíneo. Los gases producidos en este proceso (metano y anhídrido carbónico) son expulsados al eructar (Kurihara *et al.*, 1999). Dentro de los ruminantes se encuentra el ganado vacuno (productores de leche, carne y doble propósito), búfalos, cabras y ovejas, siendo todos ellos una fuente significativa de metano; en menor proporción están los pseudoruminantes (caballos, mulas y asnos) y los monogástricos (cerdos).

La cantidad de metano producido depende principalmente del número de animales, tipo de aparato digestivo, además del tipo y cantidad de alimento consumido. Esta caracterización del ganado permite definir las variables para la valoración del metano emitido.

El cálculo del metano producido por una población de animales se obtiene del producto de la tasa de emisión por animal y el número de animales. Con el fin de valorar la cantidad de emisiones para una población de ganado, el cálculo debe ser dividido en subgrupos, aplicando para cada uno de estos las diferentes tasas de emisiones. Véase tabla No. A4.2, donde se muestran los valores de referencia para los diferentes grupos de animales que componen la población de ganado.

4.1.1.2 Manejo del estiércol

El manejo de grandes cantidades de ganado en espacios limitados (tambos, granjas porcinas y de aves de corral, corrales para engorde de ganado de carne, etc.), donde el estiércol es almacenado, origina la descomposición anaeróbica de la materia orgánica generando emisiones de metano¹. A su vez, durante el almacenamiento y tratamiento del estiércol antes de su disposición en campo, se producen emisiones de óxido nitroso (N_2O); éste es producido cuando el nitrógeno contenido en el estiércol es nitrificado o desnitrificado.

¹ El estiércol del ganado está compuesto principalmente por materia orgánica que al descomponerse bajo condiciones anaeróbicas (en ausencia de oxígeno), y bajo la acción de poblaciones de microorganismos (bacterias metanogénicas) produce metano (IPCC, 1997).

Hay que tener en cuenta que la cantidad de metano emitido está en función de la producción total de estiércol y de la proporción descompuesta anaeróbicamente, así como de la cantidad de estiércol producido por animal y la cantidad de estos. La proporción de estiércol que se descompone anaeróbicamente finalmente depende de cómo se almacene o maneje el estiércol, por lo tanto, son tales condiciones las que definen las variables a considerar para el cálculo de la emisión de GEI. Adicionalmente, para adelantar una correcta contabilización del metano, la población de animales debe ser dividida en subgrupos que reflejen la variación en la cantidad producida de estiércol por animal y la manera como éste es manejado.

En el caso del óxido nitroso, las cantidades emitidas de este gas dependen del contenido de carbono y nitrógeno presente en el estiércol, además del tiempo de almacenamiento y el tipo de tratamiento.

4.1.1.3 Metodologías para la estimación de emisiones de metano de la fermentación entérica y manejo de estiércol.

El modelo para la estimación de CH_4 por fermentación entérica y manejo de estiércol se desarrolló en tres etapas, como se describe a continuación:

- a) Se caracterizó la población del ganado en subgrupos con la determinación cuantitativa de cada uno, ejemplo: número de cabezas de ganado lechero, de engorde, búfalos, etc. En el cálculo se utilizaron datos promedio de tres años con el objeto de evitar tendencias atípicas², en el evento de que el año base del inventario (2000 y 2004) hubiese poca representatividad de la actividad (UNFCCC, 2007).
- b) En el ejercicio se estimaron y/o usaron los factores de emisión (FE) predeterminados para cada subgrupo en términos de producción de $\text{kg de CH}_4 \cdot \text{animal}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$; de tal manera que para las categorías fermentación entérica y manejo de estiércol se utilizarán diferentes factores de emisión.
- c) Con el producto obtenido entre el FE para cada subgrupo y la población de éste, se estimó la emisión por subgrupo para luego establecer las emisiones totales al sumar las emisiones de cada subgrupo.

Cada uno de estos pasos se desarrolló bajo dos metodologías: el nivel 1, donde se emplean factores de emisión por omisión (default) según lo dispuesto en el *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (1997), y el nivel 2, que utiliza factores de emisión domésticos, los cuales reflejan diferencias internas en términos de condiciones ambientales y productivas del contexto nacional en particular. Es decir, si la fuente de GEI por ganado doméstico es representativa³ en el país, es recomendable en lo posible utilizar el nivel 2, con el objeto de disminuir la incertidumbre del inventario.

Finalmente, con la elección del nivel se define el tipo de variables y datos a coleccionar, pues cada uno de ellos exige diferentes grados de aproximación, siendo más exigente el nivel 2 en cuanto a datos locales sobre el manejo técnico de una población.

• Nivel 1, estimación de CH_4 por fermentación entérica y manejo de estiércol

El ejercicio consistió en multiplicar el número de cabezas de ganado, según los diferentes grupos, por un factor de emisión (IPCC), el cual es de carácter regional para América Latina y países en vías de desarrollo. Las variables necesarias para la estimación de metano para el nivel 1 se exponen en la Tabla A4.2. Tales variables obedecen a la población de ganado para cada grupo en los años base del inventario (2000 y 2004).

2 Dato del año base del inventario en el medio. UNFCCC, 2007. Consultative Group of Experts on National Communications From Parties Not Included In Annex I to the Convention. Handbook on Agriculture Sector, General Issues.

3 Las fuentes representativas de GEI para el Módulo de agricultura establecidas sobre la base de los inventarios nacionales reportados en los años 2000-2001, fueron: fermentación entérica y emisiones directas de NO_2 de suelos agrícolas. UNFCCC, 2007. Se considera importante usar métodos lo más detallados posible para estas categorías, concordantes con la calidad y disponibilidad de información en el país.

Tabla A4.2 Variables necesarias para la estimación de CH₄ por el Nivel 1

| Nombre | Unidad de medida | Características necesarias | Fuente / Institución | Estado actual / Formato / Fuentes alternativas |
|-------------------|--------------------|---|---|--|
| Ganado lechero | Número de animales | % de población por climas frío, templado y cálido | Ministerio de Agricultura, asociaciones | Disponible ENA/Excel |
| Ganado no lechero | | | | |
| Búfalos | | | | |
| Ovejas | | | | |
| Cabras | | | | |
| Caballos | | | | |
| Mulas y asnos | | | | |
| Cerdos | | | | |
| Aves de corral | | | | |

Fuente: Adaptado de *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.

En el cálculo de las emisiones provenientes del manejo del estiércol es necesario caracterizar la población de acuerdo con su ubicación en tres zonas climáticas: frío < 15 °C, templado 15 a 25 °C y cálido > 25 °C; puesto que cada uno de estos rangos posee un factor de emisión determinado.

La ecuación para el cálculo de CH₄ por fermentación entérica y manejo de estiércol (Nivel 1) es la siguiente:

$$\text{Emisiones de CH}_4 = (FE * P) / (1000 \text{ kg/gr})$$

Donde las variables significan:

Emisiones de CH₄ = Emisiones Gg/año.

FE = Factor de emisión (kg • animal⁻¹ • año⁻¹)⁴

P = Población, número de animales (en miles).

- **Nivel 2, estimación de CH₄ por fermentación entérica y manejo de estiércol.**

El nivel 2 es aplicable únicamente para poblaciones de ganado vacuno. Este nivel exige una caracterización más detallada de la población, con el objetivo es definir los factores de emisión calculados en lugar de tomar los valores por omisión o defecto. En este método se utiliza el mismo principio señalado en la ecuación 1, pero aplicándolas a categorías de población de ganado más detalladas (IPCC, 2000).

La ecuación para el cálculo de CH₄ por fermentación entérica y manejo de estiércol (Nivel 2) es:

$$\text{Emisiones de CH}_4 = (FE \cdot P) / (1.000 \text{ kg/gr})$$

Donde:

Emisiones de CH₄ = Emisiones de metano en Gg/año.

FE = Factor de emisión en kg de CH₄ • cabeza⁻¹ • año⁻¹.

FE = (EB • Ym • 365 días • año⁻¹) / (55,65 MJ/kg de CH₄).

EB = Absorción de energía bruta en MJ • cabeza⁻¹ • día⁻¹.

Ym = Tasa de conversión del metano, que es la fracción de energía bruta presente en los alimentos que se convierte en metano.

La información necesaria para el cálculo de las emisiones de CH₄ producto de la fermentación entérica se concreta en tres grandes parámetros:

- Población anual para cada subcategoría de ganado vacuno y sistema de producción.** Se obtiene de las estadísticas nacionales reportadas en la Encuesta Nacional Agropecuaria (MADR, 2004), la cual debe procesarse para obtener información por zonas climáticas.

⁴ Los factores de emisión para América Latina y países tropicales definidos para este nivel están disponibles en las tablas 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6 de: *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (1997)*.

b) Tipo de dieta consumida por una población normal. Se mide generalmente en unidades de energía (MJ/día ó kg de materia seca/día). Para realizar su cálculo es preciso determinar entre otras variables: el peso, condiciones de alimentación, producción media de leche por día, contenido graso, digestibilidad de los alimentos, entre otras.

c) Tasa de conversión del metano. Es la fracción de energía bruta presente en los alimentos que se convierte en metano (Ym). La medida en que la energía se convierte en metano depende de varios factores de los alimentos y del propio animal. Para obtener las tasas de conversión es necesario realizar investigaciones detalladas en el país para permitir una estimación más acorde con las condiciones del mismo. Como actualmente no se dispone de estos estudios, se emplean los valores determinados en el Cuadro 4.8 de las Guías de las buenas prácticas del IPCC (2000).

La estimación del metano emitido por manejo de estiércol utiliza parte de la información recopilada en la categoría de fermentación entérica, como es el caso de la población anual para cada subcategoría de ganado vacuno, distribución por climas y sistema de producción; véase la Tabla A4.3 y la Tabla A4.4. Adicionalmente, se requiere información específica en cuanto al sistema de manejo de estiércol, tal como: *a)* masa de sólidos volátiles excretados por animal (Vs^5 kg); *b)* capacidad máxima de producción de metano en el estiércol (Bo^6 $m^3 \cdot kg^{-1} \cdot Vs^{-1}$); *c)* factor de conversión del metano, definido por el sistema de manejo y clima.

Tabla A4.3 Variables para ganado vacuno para la estimación de metano por fermentación entérica, Nivel 2

| Nombre | Simbolo | Unidad de medida | Comentarios | Fuente/Institución | Estado actual/fuentes alternativas/formato |
|---|--------------|---------------------|---|--|---|
| Población por subcategoría (miles de cabezas) | - | Miles | Dato específico del país | Ministerio de Agricultura | Disponible ENA/Excel |
| Peso en pie | W | kg | Dato específico del país | | Disponible ENA/Excel |
| Ganancia en peso | WG | kg/día | Dato específico del país | Ministerio de Agricultura, asociaciones, investigaciones locales | No disponible / IPCC GRM 1997, Tabla A-2/CEGA |
| Peso en pie (adulto) | MW | kg | Dato específico del país | | |
| Trabajo (animales de tiro) | - | horas/día | Dato específico del país | | |
| Condiciones de alimentación | Ca | - | Interpretación datos del IPCC, ajustada al país | IPCC GPG 2000, tabla 4.5 | Disponible ENA |
| Producción media de leche | - | kg/día | Dato específico del país | Ministerio de Agricultura, asociaciones, investigaciones locales | Disponible ENA/Excel |
| Contenido graso | - | % | Dato específico del país | | Disponible |
| Hembras que paren por año | - | % | Dato específico del país | | No disponible /IPCC GCR 1997, Tabla A-2/CEGA |
| Digestibilidad del alimento | DE | % | Dato específico del país | | Disponible |
| Coefficiente de mantenimiento | CFI | - | Parámetro establecido IPCC | IPCC GPG 2000, tabla 4.4 | Disponible |
| Energía neta para el mantenimiento | NEm | MJ/día | Calculado según IPCC | IPCC GPG 2000, ecuación 4.1 | |
| Energía neta para actividad | NEa | MJ/día | Calculado según IPCC | IPCC GPG 2000, ecuación 4.2 | |
| Coefficiente de crecimiento | C | - | Parámetro establecido IPCC | IPCC GPG 2000, ecuación 4.5 | |
| Energía neta para crecimiento | NEg | MJ/día | Calculado según IPCC | IPCC GPG 2000, ecuación 4.3 a | |
| Energía neta por pérdida de peso usada para mantenimiento | NEmobilis ed | MJ/día | Calculado según IPCC | IPCC GPG 2000, ecuación 4.4 a | |
| Energía neta para trabajo | NEw | MJ/día | Dato específico del país | Ministerio de Agricultura, asociaciones, investigaciones locales | |
| Coefficiente de preñez | Cp | - | Parámetro establecido IPCC | IPCC GPG 2000, Tabla 4.7 | Disponible |
| Energía neta para la preñez | NEp | MJ/día | Calculado según IPCC | IPCC GPG 2000, ecuación 4.8 | |
| Proporción de la energía bruta que está disponible para el mantenimiento | Nema/DE | % | Calculado según IPCC | IPCC GPG 2000, ecuación 4.9 | |
| Proporción de la energía bruta que está disponible para el crecimiento | Nega/DE | % | Calculado según IPCC | IPCC GPG 2000, ecuación 4.10 | |
| Energía bruta consumida | GE | MJ/día | Calculado según IPCC | IPCC GPG 2000, ecuación 4.11 | |
| Contenido de energía en el alimento | - | MJ/kg | Parámetro establecido IPCC | IPCC GPG 2000, valor por defecto, página 4.23 | |
| Alimento consumido | - | Kg materia seca/día | GE expresada en materia seca | Calculado | |
| Alimento consumido | - | % del peso | Expresado en términos del peso vivo | Calculado | |

Fuente: Adaptado de *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Guidelines Reference Manual (GRM)* y Guía de las buenas prácticas (GBG)

5 Sólidos volátiles excretados.

6 Capacidad máxima de producción CH_4 en el estiércol.

Tabla A4.4 Variables para ganado vacuno para la estimación de metano por manejo de estiércol Nivel 2

| Nombre | Símbolo | Unidad de medida | Comentarios | Fuente / institución | Estado actual/ Formato / Fuentes Alternativas |
|--|---------|---|-------------------------------|---|---|
| Población por subcategoría (miles de cabezas) | - | unidad | Dato específico del país. | Ministerio de Agricultura; asociaciones. | Disponible: ENA/Excel |
| Energía bruta consumida | GE | MJ/día | Calculado según IPCC. | IPCC GPG 2000; ecuación 4.11. | Disponible |
| Contenido de energía en el alimento | WG | MJ/kg | Parámetro establecido IPCC. | IPCC GPG 2000; Valor por defecto, página 4.23 | |
| Alimento consumido | - | kg materia seca/ día | GE expresada en materia seca. | Calculado | |
| Digestibilidad del alimento | DE | % | Dato específico del país. | Ministerio de Agricultura; asociaciones. | No disponible / IPCC GRM 1997; Tabla A-2 / CEGA |
| Contenido de cenizas en el estiércol | ASH | % | Parámetro establecido IPCC. | IPCC GRM 1997; página 4.23 | Disponible |
| Sólidos volátiles excretados | VS | kg materia seca/día | Calculado según IPCC. | IPCC GPG 2000; ecuación 4.16 | |
| Capacidad máxima de producción CH ₄ en el estiércol | Bo | m ³ • kg ⁻¹ • Vs ⁻¹ | Calculado según IPCC. | IPCC GRM 1997; Tabla 4.8 | |
| Factor de emisión | EF | Kg • CH ₄ • cabeza ⁻¹ • año ⁻¹ | Calculado según IPCC. | IPCC GPG 2000; Ecuación 4.17 | |

Fuente: Adaptado de *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Guidelines Reference Manual (GRM)* y Guía de las buenas prácticas (GBG)

4.1.1.4 Metodologías para la estimación de emisiones de óxido nítrico por manejo del estiércol

En la actualidad sólo existe un nivel para la estimación de óxido nítrico, el cual se basa en la caracterización del ganado realizada para fermentación entérica. Es de aclarar que las emisiones cuantificadas obedecen a aquellas poblaciones de ganado que poseen algún sistema de manejo de los residuos (sólidos y líquidos), ya sea en lagunas anaeróbicas, almacenamiento en estado sólido y/ o líquido, digestores o pozos abiertos.

Aquellas emisiones originadas por la población del ganado ubicada en praderas y/o pastizales, donde la orina y las heces se depositan directamente en el suelo sin ningún tipo de manejo, se contabilizan en la categoría de suelos agrícolas. El procedimiento en general está compuesto por cinco pasos:

- Caracterización de la población de ganado.
- Determinación del promedio de nitrógeno excretado por cada subcategoría de ganado.
- Determinación de la fracción de nitrógeno que es manejado en cada sistema de manejo.
- Determinación del factor de emisión para cada sistema de manejo.
- Obtención del producto entre el total del nitrógeno excretado por el factor de emisión de cada sistema de manejo.

Las variables necesarias para los cálculos que relacionan el anterior procedimiento se exponen en la Tabla A4.5.

Tabla A4.5 Variables para ganado vacuno para la estimación de óxido nitroso por manejo de estiércol, Nivel 1

| Nombre | Unidad de medida | Comentarios | Fuente / Institución | Estado actual / Formato / Fuentes alternativas |
|--|--|------------------------------|---|--|
| Población por subcategoría (miles de cabezas) | Unidad (miles) | Dato específico del país | Ministerio de Agricultura, asociaciones | Disponible ENA / Excel |
| Distribución de la población de ganado por región climática | | Dato específico del país | Ministerio de Agricultura, asociaciones | Disponible ENA |
| Sistema de manejo del estiércol por población | - | Dato específico del país | Ministerio de Agricultura, asociaciones | Disponible ENA / Excel |
| Alimento consumido | Kg materia seca/día | GE expresada en materia seca | Calculado | Disponible |
| Contenido de proteína cruda en la dieta | % | Dato específico del país | | No disponible / Consulta estudios, expertos nacionales |
| Nitrógeno consumido | Kg N • cabeza • año ⁻¹ | Dato específico del país | | No disponible / Consulta estudios, expertos nacionales |
| Fracción de nitrógeno retenido | (kg N retenido/ Ingerido)/cabeza/año | Parámetro establecido IPCC | IPCC GPG 2000, Tabla 4.15 | Disponible / Consulta estudios, expertos nacionales |
| Nitrógeno excretado | Kg N / cabeza/año | Calculado según IPCC | IPCC GPG 2000, Ecuación 4.19 | IPCC GRM 1997, Tabla 4.20 y IPCC GPG 2000, Tabla 4.14 (factores de ajuste) |
| Porcentaje del nitrógeno en el estiércol por sistema de manejo | % | Parámetro establecido IPCC | IPCC GRM 1997, Tabla 4.21 | Disponible |
| Factor de emisión por sistema de manejo | Kg N ₂ O -N/Kg de N excretado | Parámetro establecido IPCC | IPCC GPG 2000, Tablas 4.12 - 4.13 | Disponible |

Fuente: Adaptado de *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Guidelines Reference Manual (GRM)* y Guía de las buenas prácticas (GBG)

4.1.2 Emisiones de N₂O procedentes del pastoreo de animales

Es necesario tener en cuenta que durante el almacenamiento y tratamiento del estiércol antes de su disposición en el campo se producen emisiones de óxido nitroso (N₂O). Las cantidades emitidas de este gas dependen del contenido de carbono y nitrógeno del estiércol, así como de la duración de su almacenamiento y el tipo de tratamiento.

El procedimiento que se sigue en su cálculo consiste en multiplicar el número de animales en miles por un factor de excreción de nitrógeno y por una fracción de nitrógeno en estiércol por tipo de sistema de manejo de residuo animal, bien sea: lagunas anaerobias, sistemas líquidos, dispersión diaria, almacenamiento sólido en seco, pastos-corrales y otros sistemas (IPCC, 1997).

En consecuencia, la estimación de las emisiones de metano por manejo del estiércol requiere dos tipos de datos de la actividad:

- Población animal.
- Uso de los sistemas de tratamiento de residuos animales. Cada una de las variables es evaluada junto con los factores de emisión por omisión (o defecto, IPCC 1997 GWB). Ver Tabla A4.6, Tabla A4.7 y Tabla A4.8; de las cuales se obtienen las emisiones con base en la información allí presentada.

Tabla A4.6 Variables para la estimación de las emisiones de N₂O procedentes del pastoreo de animales

| Tipo de ganado | Número de animales (miles) | Nitrógeno excretado Nex (kg/cabeza-año) | Sistema de manejo del estiércol (SME) | | | | | |
|------------------------|---|---|---|-------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|-------|
| | | | Lagunas anaeróbicas | Sistemas líquidos | Dispersión diaria | Almacenamiento en sólido y en seco | Pastos y corrales | Otros |
| Ganado bovino de leche | Estadísticas Nacionales. Encuesta Nacional Agropecuaria | IPCC, 1997 | Gremios – Estudios – Consulta de expertos | | | | | |
| Ganado bovino de carne | | | | | | | | |
| Ovejas | | | | | | | | |
| Cabras | | | | | | | | |
| Cerdos | | | | | | | | |
| Caballos | | | | | | | | |
| Mulas y asnos | | | | | | | | |
| Aves de corral | | | | | | | | |

Fuente: Adaptado de *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*

4.1.3 Emisión de CH₄, N₂O, CO y NOx por quema de residuos agrícolas

En términos generales la quema de residuos agrícolas podría calificarse como una fuente menor de GEI, sin embargo, la importancia de la actividad depende de las técnicas de disposición de los residuos agrícolas en campo luego de la cosecha.

Para esta fuente no se establecen emisiones de CO₂, pues se considera que existe un balance neto entre la remoción de carbono durante el ciclo fisiológico del cultivo y el carbono liberado a la atmósfera por la combustión de la biomasa; sin embargo, se contabilizan otros tipos de GEI que aunque en baja concentración se liberan como producto de dicha combustión: CH₄, CO, N₂O y NOx.

Con el propósito de evitar una doble contabilidad, únicamente se contabilizaron los residuos quemados en campo, ya que los utilizados como fuente de energía se incluyen en el Módulo de energía. Bajo este horizonte, es recomendable definir la proporción y usos finales para una cantidad anual de residuos por cultivo, teniendo en consideración usos como: consumo de animales, incorporación al suelo, energía y materia prima para construcción (balance de masas).

La información necesaria para el cálculo de GEI toma en cuenta los siguientes aspectos: *a)* producción anual por cultivos, superficie cubierta por cultivos, producción anual o cosechada, y *b)* relación residuo/cultivo, fracción de biomasa seca, fracción de residuos quemados en campo, fracción oxidada, relación C/N para la biomasa y contenido de carbono de la biomasa. Las variables relacionadas con los ítems anteriores se relacionan en la Tabla A4.7.

Tabla A4.7 Variables relacionadas para la estimación de GEI por quema de residuos agrícolas

| Parámetro | Unidad de medida | Comentarios | Fuente / Institución | Estado actual / Formato / Fuentes alternativas |
|-------------------------------|------------------|---------------------------------------|---|--|
| Cultivos de importancia local | kha | Dato específico de país | Información base ENA años 2000 y 2004; CCI. | Disponible ENA / Excel |
| Producción anual | t/ha | | | Disponible ENA / Excel |
| Relación residuos/producción | % | IPCC GRM 1997; Tabla 4.17 / IPCC EFDB | Valor por defecto tomado del IPCC | No disponible / Consulta Estudios, expertos nacionales / IPCC GRM 1997 |
| Fracción de materia seca | - | | | |
| Fracción quemada en campo | - | | | |
| Fracción oxidada | - | | | |

Fuente: Adaptado de las *Guidelines Reference Manual*. EFDB: Base de datos factores de emisión. kha: miles de hectáreas

Para realizar el cálculo de las emisiones provenientes de la quema de residuos agrícolas sólo existe una metodología según lo dispuesto en las Guías del IPCC (1997). Sin embargo, en las Guías de las buenas prácticas se determinan algunas pautas para mejorar la información de base, cuando ésta constituye una categoría principal de fuente de GEI. En Colombia la quema de residuos agrícolas es una fuente de emisión de menor magnitud, por cuanto los análisis adelantados se desarrollan utilizando factores de emisión por omisión, determinados bajo el nivel 1 del IPCC. Según las directrices del IPCC (1997), los cultivos a tener en cuenta para esta categoría son:

- Residuos de cereales, arroz, maíz y trigo
- Residuos de cultivos verdes, sorgo y soya
- Residuos de caña panelera y azúcar.

4.1.4 Emisión de CH₄, N₂O, CO y NOx por quema prescrita de sabanas

Esta fuente de GEI es muy común en Colombia, pues la quema es considerada una práctica agrícola de carácter cultural muy frecuente, especialmente en la región de la Orinoquia donde se presentan sabanas con periodos húmedos y secos alternados. Es válido mencionar que a través de la combustión de la biomasa se genera un acelerado proceso de reciclaje de nutrientes en el suelo, así como la eliminación de arvenses⁷ y plagas, además de inducir los rebrotes de pastos que los consume el ganado.

⁷ Arvenses: La vegetación subserial que invade los cultivos y prados artificiales. En general, las llamadas malas hierbas que crecen en los cultivos y la vegetación útil de los prados citados, en competencia con la vegetación sostenida por el hombre. Quer, F. Diccionario de botánica. 6.ª reimpresión. Barcelona: Labor. 1977. p. 96.

Al igual que la quema de residuos agrícolas, en esta subcategoría se toman en consideración la emisión de CH₄, CO, N₂O y NOx; asimismo, se considera un ciclo cerrado en términos de remoción y emisiones de CO₂. El proceso en cuanto a la estimación de GEI es muy similar a la quema de residuos agrícolas, la diferencia radica en la cantidad de biomasa que es quemada, pues en esta categoría se considera que toda la biomasa es objeto de quema y no es necesario realizar una discriminación por usos finales.

En el país la quema de sabanas no constituye una categoría de fuente principal de emisiones y no se dispone de factores de emisión por país o región de manera específica; el cálculo de GEI se hizo siguiendo las directrices del IPCC (1997), a partir de los factores de emisión por omisión o defecto.

En consecuencia, la información necesaria para la estimación de GEI se basa en las estadísticas nacionales, donde se determina el tipo de sabanas y el área anual quemada por tipo de cobertura. Al respecto, para cada uno de estos ecosistemas fue necesario determinar: densidad de biomasa, contenido de materia seca (si la masa está dada en peso fresco), fracción de la biomasa que es quemada, fracción de la biomasa viva quemada, fracción oxidada de la biomasa viva y muerta, contenido de carbono en la biomasa (viva y muerta) y relación C/N. Las variables relacionadas con los anteriores ítems se presentan en la Tabla A4.8.

Tabla A4.8 Variables relacionadas para la estimación de GEI por quema de sabanas

| Nombre | Unidad de medida | Comentarios | Fuente / institución | Estado actual, Formato / Fuentes Alternativas |
|--|------------------|--------------------------|----------------------|---|
| Área de sabanas (por categoría) | kha | Dato específico del país | IDEAM | Disponible |
| Área quemada por categoría de sabana | kha | Dato específico del país | | No disponible |
| Biomasa (área y subterránea) por categoría de sabana | Ton dm/ha | Dato específico del país | Estudios | No disponible / Consulta estudios, expertos nacionales / IPCC GRM 1997; Tabla 4.14; página 4.79 |
| Fracción quemada | | | | |
| Fracción de la biomasa viva quemada | | | | No Disponible / IPCC GWB 1997; Tabla 4-13 / Consulta estudios nacionales |
| Fracción oxidada de la biomasa viva y muerta | | Dato específico del país | INVESTIGACIONES | No disponible / Consulta estudios, expertos nacionales / IPCC GRM 1997; página 4.79 |
| Fracción de C de la biomasa viva y muerta. | | | | |

Fuente: Adaptado por los autores, de: *Guidelines Reference Manual, Work Book*

4.1.5 Emisiones directas e indirectas de N₂O provenientes de suelos agrícolas

En esta categoría se evalúa el óxido nitroso (N₂O), teniendo en cuenta que el ciclo del nitrógeno (con la nitrificación y la desnitrificación) juega un papel muy importante en los procesos edáficos y las actividades agrícolas; por tal razón, se han definido dos subcategorías, las cuales explican las emisiones de forma directa e indirecta.

Emisiones directas de N₂O

Al realizar adiciones antropogénicas de nitrógeno (N), se aumenta la cantidad disponible de éste para ser transformado por la vía de la nitrificación y desnitrificación, resultante en emisiones netas de N₂O. Las principales fuentes de nitrógeno son: aplicación de fertilizantes sintéticos, incorporación de estiércol y residuos agrícolas al suelo como fertilizante, cultivos fijadores de nitrógeno y mineralización del nitrógeno por cultivo de suelos orgánicos (Histosoles); véase la Tabla A4.9.

La contabilización de cada una de las variables se realiza en términos de kg de N/año incorporado al suelo, junto con la fracción emitida en forma de GEI, NOx más NH₃ (IPCC, 1997) GW; Tabla 4.17. Con el uso de factores de emisión (IPCC, 1997), GW; Tabla 4.18, para cada una de las variables se obtienen las emisiones de N₂O a partir del producto entre variables, fracciones y factores de emisiones.



Tabla A4.9 Variables relacionadas en la estimación de NO₂ emisiones directas del suelo

| Nombre | Símbolo | Unidad de medida | Comentarios | Fuente / institución |
|--|-----------------|------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Total de fertilizantes N utilizado en el país. | F _{sn} | Kg N / año | Dato específico del país | ICA; Ministerio de Agricultura |
| N procedente del estiércol utilizado | F _{aw} | | Dato específico del país | Ministerio de Agricultura |
| Cultivos fijadores de nitrógeno | F _{bn} | | Dato específico del país | Ministerio de Agricultura |
| Residuos de las cosechas | F _{cr} | | | |
| Área cultivada en histosoles | F _{os} | ha | Dato específico del país | IGAC |

Fuente: Los autores, 2007, con base en las Guías del IPCC

4.1.6 Emisiones indirectas de N₂O procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura

Las diferentes fuentes de nitrógeno aplicadas al suelo, bien sea como fertilizantes sintéticos y/o estiércol por diferentes vías, generan emisiones de manera indirecta. Los principales procesos son: volatilización de nitrógeno, resultante en deposiciones atmosféricas de amoníaco (NH₃) y óxidos de nitrógeno (NOx); pérdida de nitrógeno (N) por lixiviación y escorrentía y, en menor medida, disposición de N contenido en aguas residuales. Para efectos del presente inventario de GEI se consideran únicamente los dos primeros, ya que existen metodologías para su cálculo.

Las variables básicas para la estimación de N₂O hacen referencia a la cantidad de nitrógeno (kg N/ año) incorporado al suelo, ya sea como fertilizante sintético o como estiércol. Con el objeto de estimar la cantidad de nitrógeno que se volatiliza o se lixivia se utilizan diferentes factores por omisión 'default' del IPCC (1997), GW; tablas 4.17 y 4.18.

4.1.7 Emisiones de metano por cultivos de arroz

La producción de metano (CH₄) en los cultivos de arroz se origina por la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas, ya que una parte de la planta permanece irrigada durante el ciclo productivo del cultivo. La cantidad anual de metano que se emite desde una superficie dedicada al cultivo de arroz está en función del número y la duración de los cultivos, el tipo de suelo y la temperatura, las prácticas del manejo del agua y el uso de fertilizante y otros aditivos orgánicos e inorgánicos (IPCC, 2000).

El procedimiento para el cálculo se basa en el producto entre la superficie cosechada (m²) y factores de emisión dados por el régimen de agua y tipo de fertilizantes aplicados al cultivo, bien sean orgánicos o sintéticos (IPCC, 1997) GWB; en la Tabla A 4.10 se presentan las variables para el cálculo de NO₂ por cultivos de arroz.

Tabla A4.10 Variables relacionadas con la estimación de NO₂ por cultivos de arroz

| Área cosechada de arroz por régimen de agua | Unidad de medida | Comentarios | Fuente / institución | Estado actual/ Formato / Fuentes Alternativas | Metodología |
|---|------------------|--------------------------|--|---|---|
| Riego seco | m ² | Dato específico del país | Ministerio de Agricultura; asociaciones. | Disponible Encuesta Nal. Agropec. / Excel | Sólo un método disponible, utilizando factores de escala para ajustar FE según condiciones de producción. |

Fuente: Los autores, 2007, con base en las Guías del IPCC

4.2 PROCESO PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI

Como se ha indicado, el cálculo de emisiones para este módulo se fundamenta en las Guías del IPCC de los años 1997 y 2000. Bajo estas directrices y considerando las observaciones formuladas por expertos nacionales en la mesa de trabajo del módulo se desarrolló el trabajo que a continuación se presenta, el cual orienta la estimación de GEI bajo actividades agropecuarias, usando diferentes niveles de información.

En consecuencia y tomando como soporte las Guías de las buenas prácticas (IPCC, 2000) se ajustaron los pasos metodológicos a seguir para mejorar la información base de cálculo bajo el nivel 2, en aquellas categorías cuya información disponible lo permite.

Para las demás categorías se realizaron diferentes avances en términos de la depuración de la información, de tal manera que se pudieran utilizar factores de emisión más precisos y que reflejaran el contexto colombiano cuyo proceso se explica de manera detallada a lo largo del documento.

4.2.1 Emisiones de metano del manejo de ganado doméstico, fermentación entérica y manejo de estiércol

La estimación de metano (CH_4) por fermentación entérica y manejo de estiércol se compone de tres etapas:

- Caracterización de la población de ganado en subgrupos y descripción cuantitativa de cada subgrupo. Ejemplo: ganado vacuno, número de cabezas de ganado lechero, de engorde, búfalos, caballos, asnos, etc. Véase la Tabla A4.11. Se utilizaron datos promedio de tres años con el objeto de evitar tendencias atípicas⁸, en el caso que el año base del inventario (2000 y 2004) hubiese poca representatividad de la actividad (UNFCCC, 2007).

Tabla A4.11 Ejemplo de la caracterización de ganado

| Especies | Categorías | Subcategorías | | Número total de animales (millones de cabezas) |
|----------|---------------------|--------------------------|------------------|--|
| Vacunos | Vacunos lecheros | Adultos | (hembras-machos) | 4,0 |
| | Vacunos no lecheros | Jóvenes | (hembras-machos) | 7,0 |
| Búfalos | Búfalos lecheros | Adultos | | 0,0 |
| | | Adultos (hembras-machos) | | 2,0 |
| | Búfalos no lecheros | Jóvenes (hembras-machos) | | 4,0 |

Fuente: Los autores, 2008

- Elección de factores de emisión en términos de la producción de metano ($\text{kg CH}_4 \cdot \text{animal}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$). Con el empleo de factores de emisión se desarrolló el cálculo para los dos niveles (1 y 2), dependiendo de la información disponible. La diferencia entre los dos niveles radica en que el nivel 2 utiliza factores de emisión domésticos, los cuales reflejan las diferencias internas asociadas con condiciones ambientales y productivas, en respuesta a un contexto regional o particular.
- Evaluación de emisiones. Se obtuvo del producto entre el FE para cada subgrupo y la población de éste, estimando así la emisión por subgrupo; luego, se calcularon las emisiones totales al sumar las emisiones de cada subgrupo.

⁸ UNFCCC. Consultative Group of Experts on National Communications From Parties Not Included In Annex I to the Convention. Handbook on Agriculture Sector, General Issues. 2007.

4.2.1.1 Estimación de CH₄ por fermentación entérica y manejo de estiércol, según el nivel 1 del IPCC

Con base en la caracterización básica de ganado doméstico existente en el país, se obtuvo una primera estimación de emisiones aplicando el método nivel 1, con el objetivo de identificar las especies de animales que necesitaban una estimación más precisa (método nivel 2) y, por ende, una caracterización más detallada.

La estimación se basó en la multiplicación del número de cabezas de ganado (por subgrupos) por un factor de emisión tomado del IPCC (1997); este factor es de carácter regional para América latina y países en vías de desarrollo. Véase la siguiente ecuación.

La información necesaria para la estimación de metano se obtuvo de la población de ganado reportada en el censo pecuario del DANE para los años del inventario (2000 y 2004). Véanse las Tablas A4.12 y la A4.13.

Ecuación:

$$\text{Emisiones de CH}_4 = (FE * P) / (1.000 \text{ kg/gr})$$

Donde:

E: Emisiones Gg/año.

FE⁹: Factor de emisión (kg GEI • animal⁻¹ • año⁻¹).

P: Población según tipo de ganado, expresado en número de animales (en miles).

En las Tablas A4.12 y A4.13 se relacionan los factores de emisión por omisión, el inventario pecuario nacional y los resultados obtenidos para los diferentes tipos de ganado, para los años 2000 y 2004. Se destacan las emisiones de metano por fermentación entérica y manejo de estiércol proveniente del ganado vacuno, ya que éstas en su conjunto (lechero y no lechero) suman el 91% de las emisiones; le sigue en su orden el equino (3,66 %) y el caprino (1,38 %). Las demás categorías de ganado poseen una participación marginal, con un promedio de 0,6%; correspondiente a un promedio anual de emisiones de 3,4 Gg de CH₄.

Tabla A4.12 Inventario ganadero, factores de emisión y emisiones totales de CH₄ para el año 2000

| Tipo de ganado | Población | FE: fermentación entérica (kg • CH ₄ ⁻¹ • cabeza ⁻¹) | Emisiones de CH ₄ (Gg) por fermentación entérica | FE: manejo del estiércol (kg • CH ₄ ⁻¹ • cabeza ⁻¹) | Emisiones de CH ₄ (Gg) por manejo del estiércol | Total emisiones de CH ₄ (Gg) |
|---------------------------|-------------|--|---|---|--|---|
| Ganado vacuno lechero | 964.692 | 57 | 54,99 | 1,5 | 1,45 | 56,43 |
| Ganado vacuno no lechero* | 23.215.233 | 49 | 1.137,55 | 1,0 | 23,22 | 1.160,76 |
| Bufalino | 160.226 | 55 | 8,81 | 1,92 | 0,31 | 9,12 |
| Ovino | 2.689.182 | 5 | 13,45 | 0,18 | 0,48 | 13,93 |
| Caprino | 3.582.475 | 5 | 17,91 | 0,21 | 0,75 | 18,66 |
| Equino | 2.493.604 | 18 | 44,88 | 1,91 | 4,76 | 49,65 |
| Mulas y asnos | 705.595 | 10 | 7,06 | 1,08 | 0,76 | 7,82 |
| Porcicultura | 3.186.530 | 1,5 | 4,78 | 1,3 | 4,14 | 8,92 |
| Avicultura | 344.565.453 | 0 | 0,00 | 0,018 | 6,20 | 6,20 |
| Total | | | 1.289,43 | | 42,08 | 1.331,50 |

Fuente: Los autores, 2007. Estadísticas CCI, ENA 2000; FE: factor de emisión IPCC 1996.

* Incluye ganado bovino de doble propósito.

Como fue mencionado, en las emisiones provenientes del manejo del estiércol fue necesario caracterizar la población de ganado según su distribución en tres zonas climáticas: frío < 15 °C, templado 15 a 25 °C y cálido > 25 °C; cada uno de estos rangos posee un factor de emisión determinado, los cuales fueron calculados para Colombia, tal como se muestra en la Tabla A4.14.

9 Los factores de emisión para América latina y países tropicales definidos para este nivel están disponibles en las tablas 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6. IPCC.1997.

Tabla A4.13 Inventario ganadero, factores de emisión y emisiones totales de CH₄ para el año 2004

| Tipo de Ganado | Población | FE: fermentación entérica (Kg / CH ₄ / cabeza) | Emisiones de CH ₄ (Gg) por fermentación entérica | FE: Manejo del estiércol (Kg / CH ₄ / cabeza) | Emisiones de CH ₄ (Gg) por manejo del estiércol | Total emisiones de CH ₄ (Gg) |
|---------------------------|-------------|---|---|--|--|---|
| Ganado vacuno lechero | 768.465 | 57 | 43,80 | 1,5 | 1,15 | 44,96 |
| Ganado vacuno no lechero* | 24.153.277 | 49 | 1.183,51 | 1 | 24,15 | 1.207,66 |
| Bufalino | 168.559 | 55 | 9,27 | 1,92 | 0,32 | 9,59 |
| Ovino | 2.830.718 | 5 | 14,15 | 0,18 | 0,51 | 14,66 |
| Caprino | 3.771.026 | 5 | 18,86 | 0,21 | 0,79 | 19,65 |
| Equino | 2.590.991 | 18 | 46,64 | 1,91 | 4,95 | 51,59 |
| Mulas y asnos | 657.594 | 10 | 6,58 | 1,08 | 0,71 | 7,29 |
| Porcicultura | 3.177.702 | 1,5 | 4,77 | 1,3 | 4,13 | 8,90 |
| Avicultura | 438.856.479 | 0 | 0,00 | 0,018 | 7,90 | 7,90 |
| Total | | | 1.327,57 | | 44,62 | 1.372,19 |

Fuente: Los autores, 2007. Estadísticas CCI, ENA 2000; FE: factor de emisión IPCC 1997.

* Incluye ganado bovino de doble propósito.

Tabla A4.14 FE para el manejo del estiércol por distribución climática del inventario pecuario, Nivel 1

| Especie | Porcentaje de animales por piso térmico | | | FE del estiércol |
|------------|---|----------|-------|------------------|
| | Cálido | Templado | Frio | |
| Porcino | 55,60 | 21,04 | 23,35 | 1,322 |
| Caprino | 94,54 | 2,83 | 2,62 | 0,216 |
| Ovinos | 70,31 | 4,56 | 25,11 | 0,18 |
| Asnal | 92,78 | 3,34 | 3,86 | 1,083 |
| Mular | 44,31 | 48,68 | 6,99 | |
| Equinos | 66,70 | 18,33 | 14,96 | 1,918 |
| Avicultura | 31,30 | 43,70 | 24,99 | 0,018 |
| Bovino | 67,03 | 15,16 | 17,79 | 1,492 |
| Bufalino | 92,38 | 5,26 | 2,36 | 1,924 |

Fuente: Los autores, 2007. Distribución por climas adaptada según los datos suministrados por CCI, basados en la ENA

Como se observa en las tablas anteriores, el ganado vacuno no lechero, en promedio tanto para el año 2000 como para el año 2004, representa el 73% de las emisiones de metano, incluyendo fermentación entérica y manejo del estiércol. En el cálculo se procedió a realizar una caracterización avanzada de esta población para realizar los cálculos nuevamente según el nivel 2, siguiendo así las directrices de las buenas prácticas del IPCC en la elaboración del inventario¹⁰ (IPCC, 2000).

Adicionalmente y acogiendo las recomendaciones de la UNFCCC (2007), se utilizaron los métodos más detallados para las categorías de emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas

4.2.1.2 Estimación de CH₄ de la fermentación entérica y manejo de estiércol para el ganado vacuno no lechero, según el Nivel 2 del IPCC

Esta metodología empleada únicamente para la población de ganado vacuno no lechero¹¹ (incluye ganado de doble propósito), exige una caracterización más detallada de la población; su objetivo es calcular a partir de información asociada a las técnicas de manejo y producción, la cantidad de alimento consumido y la proporción de energía ingerida y perdida en forma de metano. Para su evaluación, se recopiló información a nivel nacional y regional, teniendo en cuenta: peso en pie promedio de la población (hembras, machos y terneros), ganancia en peso diaria (kg/día), peso en pie (adultos), condiciones de alimentación, porcentaje de hembras que paren por año, porcentaje de digestibilidad en forrajes, tipo de dietas, y sistemas de manejo del estiércol. Con esta información se determinaron los factores de emisión regionales, con los que se calculó la cantidad de metano emitido

¹⁰ De acuerdo con el árbol de decisión, Figura 4.2 (IPCC, 2000), una subcategoría será una fuente principal de GEI si obedece de 25 a 30% de las emisiones de la categoría; en tal caso, se requiere una caracterización avanzada y, por ende, la realización de nuevos cálculos.

¹¹ El resto de emisiones provenientes de las diferentes categorías de ganado reportadas en las tablas 1 y 2, conservan los mismos resultados.

en proporción a la ingesta de los animales. Finalmente, se aplicó el mismo principio señalado en la ecuación para el nivel 1.

La caracterización del ganado vacuno incluyó los elementos citados anteriormente y se basó en las estadísticas nacionales de carácter oficial, investigaciones locales y diferentes entrevistas realizadas a los conocedores del sector como gremios y productores en general. Con el propósito de recolectar la información requerida se visitaron diferentes entidades, de las cuales se destacan: fondos ganaderos del departamento del Meta y Córdoba, centros de investigación como Corpoica y asociaciones de productores a nivel regional.

El nivel de detalle en la información fue determinado por el árbol decisiones, véase la Figura 4.2 en el documento principal, propuesto por IPCC (2000). Tal directriz propone en el caso de existir disponibilidad de información suficiente (para una fuente representativa de GEI) que permita una caracterización óptima, trabajar con dichos datos; en caso contrario, se debe reducir el nivel de detalle y trabajar con información secundaria de carácter complementaria cuya fuente es el IPCC (1997 y 2000) e investigaciones de carácter nacional. A continuación se describen los pasos para su cálculo.

Fermentación entérica

La información necesaria para las estimaciones de CH_4 producto de la fermentación entérica se agrupó en tres grandes parámetros: a) población anual para la categoría de ganado vacuno no lechero a nivel nacional y los respectivos sistemas de producción; b) tipo de dieta consumida para la población, y c) tasa de conversión del alimento consumido en metano (Y_m).

La población anual se obtuvo de las estadísticas nacionales del DANE y Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA). Esta información se discriminó a nivel departamental, tanto para el inventario pecuario del año 2000 como para el año 2004. Finalmente, los factores de emisión se calcularon a partir de la ecuación 4.14 (IPCC, 2000) que se presenta a continuación. En las Tablas A4.15 y A4.16, se relacionan los datos de población y peso promedio en pie para los años 2000 y 2004.

Ecuación:

$$\text{Factor de emisión (EF)} = (\text{GE} \cdot Y_m \cdot 365 \text{ días/año}) / (55,65 \text{ MJ/kg } \text{CH}_4)$$

Donde:

| | |
|---------|--|
| EF: | Factor de emisión, $\text{kg } \text{CH}_4 \cdot \text{cabeza}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. |
| GE: | Consumo de energía bruta $\text{MJ} \cdot \text{cabeza}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ |
| Y_m : | Fracción bruta de energía en alimentación convertida a metano |

La cantidad de alimento consumido o la energía bruta consumida (GE), expresado en Mj/día , se estimó a partir de información recopilada y de acuerdo con la metodología propuesta por el IPCC (2000), páginas 4.10 a 4.20 y ecuaciones 4.1 a 4.11.

La relación que permite determinar la tasa de conversión del alimento consumido en metano (Y_m), está dada por el IPCC (2000) en el cuadro 4.8. De allí se extrae como valor constante para esta variable la cifra de 0,06; a partir de la cual se calculan los factores de emisión con la ecuación 2 del IPCC (2000).

Para todos los departamentos del país se realizó la compilación de las variables requeridas para el cálculo de GEI. Dicho proceso incluyó las unidades de medida, fuentes de información, los resultados obtenidos producto de la caracterización avanzada, los FE calculados para machos, hembras y novillos, además de las respectivas emisiones resultantes de implementar este método.

Tabla A4.15 Inventario pecuario por departamento y peso promedio para el año 2000

| Departamento | Ganado vacuno | Población total año 2000 | Subcategoría | | | Peso en pie promedio año 2000 | |
|---------------------|---------------|--------------------------|--------------|-----------|-----------|-------------------------------|---------|
| | | | Hembras | Machos | Novillos | Machos | Hembras |
| Antioquia | lechero | | | | | | |
| | No lechero | 2.664.532 | 1.517.874 | 664.718 | 481.940 | 423,20 | 392,10 |
| Atlántico | lechero | | | | | | |
| | No lechero | 136.147 | 75.285 | 25.955 | 34.907 | 345,60 | 339,01 |
| Bolívar | lechero | 2.008 | 2.008 | | | | |
| | No lechero | 783.591 | 452.109 | 146.214 | 185.268 | 416,67 | 358,92 |
| Boyacá | lechero | 117.601 | 117.601 | | | | |
| | No lechero | 1.050.904 | 523.637 | 275.074 | 252.193 | 374,08 | 300,69 |
| Caldas | Lechero | | | | | | |
| | No lechero | 330.469 | 160.171 | 102.644 | 67.654 | 419,56 | 380,55 |
| Caquetá | Lechero | 22.250 | 22.250 | | | | |
| | No lechero | 777.115 | 388.941 | 231.431 | 156.743 | 369,26 | 345,64 |
| Cauca | Lechero | 5.351 | 5.351 | | | | |
| | No lechero | 276.552 | 127.338 | 94.268 | 54.946 | 380,00 | 279,88 |
| Cesar | Lechero | | | | | | |
| | No lechero | 1.438.995 | 807.211 | 326.902 | 304.882 | 440,42 | 411,86 |
| Córdoba | Lechero | | | | | | |
| | No lechero | 2.777.198 | 1.291.514 | 1.029.257 | 456.427 | 450,00 | 351,09 |
| Cundinamarca | Lechero | 161.901 | 161.901 | | | | |
| | No lechero | 1.257.624 | 641.122 | 348.170 | 268.332 | 438,62 | 402,46 |
| Huila | Lechero | | | | | | |
| | No lechero | 474.831 | 273.690 | 101.570 | 99.571 | 400,00 | 400,00 |
| La Guajira | Lechero | | | | | | |
| | No lechero | 428.023 | 253.743 | 68.779 | 105.501 | 375,93 | 375,89 |
| Magdalena | Lechero | | | | | | |
| | No lechero | 874.455 | 461.611 | 189.374 | 223.470 | 396,78 | 397,46 |
| Nariño | Lechero | 1.897 | 1.897 | | | | |
| | No lechero | 263.007 | 155.556 | 33.911 | 73.540 | 505,56 | 429,42 |
| Norte de Santander | lechero | 5.270 | 5.270 | | | | |
| | No lechero | 398.686 | 152.563 | 157.241 | 88.882 | 399,33 | 329,82 |
| Quindío | Lechero | 5.586 | 5.586 | | | | |
| | No lechero | 81.150 | 34.129 | 13.315 | 33.706 | 390,09 | 370,11 |
| Risaralda | Lechero | 3.627 | 3.627 | | | | |
| | No lechero | 80.773 | 37.694 | 26.163 | 16.916 | 433,66 | 367,33 |
| Santander | Lechero | | | | | | |
| | No lechero | 1.120.798 | 564.449 | 318.375 | 237.974 | 408,83 | 386,75 |
| Sucre | Lechero | 3.211 | 3.211 | | | | |
| | No lechero | 853.417 | 546.511 | 113.197 | 193.709 | | |
| Tolima | Lechero | 17.845 | 17.845 | | | | |
| | No lechero | 571.395 | 303.602 | 149.684 | 118.109 | 450,35 | 379,48 |
| Valle del Cauca | Lechero | | | | | | |
| | No lechero | 781.447 | 372.482 | 252.511 | 156.454 | 417,97 | 375,95 |
| Arauca | Lechero | | | | | | |
| | No lechero | 854.730 | 490.806 | 215.890 | 148.034 | 377,26 | 366,25 |
| Casanare | Lechero | 2.011 | 2.011 | | | | |
| | No lechero | 2.072.075 | 989.616 | 700.500 | 381.959 | 400,00 | 312,12 |
| Putumayo | Lechero | 4.246 | 4.246 | | | - | - |
| | No lechero | 128.271 | 64.526 | 32.132 | 31.613 | - | - |
| Otros departamentos | Lechero | 611.888 | 611.888 | | | | |
| | No lechero | 2.739.048 | 1.369.524 | 821.714 | 547.810 | - | - |
| Total Nacional | Lechero | 964.692 | 964.692 | | | | |
| | No lechero | 23.215.233 | 12.055.704 | 6.438.989 | 4.720.540 | 415,76 | 371,06 |

Fuente: Los autores, 2007. Datos compilados del DANE y MADR



Tabla A4.16 Inventario pecuario por departamento y peso promedio para el año 2004

| Departamento | Ganado vacuno | Población total año 2004 | Subcategoría | | | Peso en pie promedio año 2004 | |
|---------------------|---------------|--------------------------|--------------|-----------|-----------|-------------------------------|---------|
| | | | Hembras | Machos | Novillos | Machos | Hembras |
| Antioquia | Lechero | 324.271 | 324.271 | | | | |
| | No lechero | 2.339.627 | 1.220.678 | 622.009 | 496.940 | 442,86 | 403,93 |
| Atlántico | Lechero | 0 | | | | | |
| | No lechero | 257.989 | 159.198 | 40.468 | 58.323 | 382,02 | 340,55 |
| Bolívar | lechero | 0 | | | | | |
| | No lechero | 806.813 | 427.364 | 223.041 | 156.408 | 444,67 | 382,40 |
| Boyacá | Lechero | 52.792 | 52.792 | | | | |
| | No lechero | 1.082.010 | 587.096 | 217.819 | 277.095 | 312,32 | 276,37 |
| Caldas | Lechero | 4.035 | 4.035 | | | | |
| | No lechero | 399.068 | 202.805 | 118.408 | 77.855 | 454,26 | 398,88 |
| Cauca | Lechero | 2.722 | 2.722 | | | | |
| | No lechero | 379.470 | 181.901 | 98.735 | 98.834 | 385,47 | 393,69 |
| Cesar | Lechero | 12.550 | 12.550 | | | | |
| | No lechero | 1.788.420 | 824.035 | 630.121 | 334.264 | 432,50 | 390,23 |
| Córdoba | Lechero | 257 | 257 | | | | |
| | No lechero | 2.474.248 | 1.209.788 | 787.986 | 476.474 | 465,05 | 369,02 |
| Cundinamarca | Lechero | 263.829 | 263.829 | | | | |
| | No lechero | 1.124.848 | 554.379 | 305.278 | 265.191 | 403,49 | 363,01 |
| Huila | Lechero | 8.512 | 8.512 | | | | |
| | No lechero | 547.196,0 | 318.689 | 102.855 | 125.652 | 364,06 | 328,26 |
| La Guajira | Lechero | 0 | | | | | |
| | No lechero | 345.519 | 209.825 | 59.178 | 76.516 | 391,91 | 392,94 |
| Magdalena | Lechero | 1.402 | 1.402 | | | | |
| | No lechero | 1.307.485 | 765.312 | 225.760 | 316.413 | 392,37 | 393,33 |
| Meta | Lechero | 3.376 | 3.376 | | | | |
| | No lechero | 1.680.229 | 810.050 | 533.663 | 336.516 | 453,92 | 372,53 |
| Nariño | Lechero | 3.185 | 3.185 | | | | |
| | No lechero | 351.274 | 204.024 | 47.468 | 99.782 | 404,69 | 390,11 |
| Norte de Santander | Lechero | 0 | | | | | |
| | No lechero | 439.810 | 222.932 | 110.086 | 106.792 | 413,83 | 358,27 |
| Quindío | Lechero | 1.195 | 1.195 | | | | |
| | No lechero | 97.046 | 44.946 | 28.618 | 23.482 | 435,13 | 386,37 |
| Risaralda | Lechero | 4.185 | 4.185 | | | | |
| | No lechero | 112.100 | 57.982 | 17.163 | 36.955 | 436,49 | 377,83 |
| Santander | Lechero | 2.376 | 2.376 | | | | |
| | No lechero | 1.355.863 | 750.200 | 321.657 | 284.006 | 399,92 | 358,77 |
| Sucre | Lechero | 0 | | | | | |
| | No lechero | 755.656 | 477.853 | 95.424 | 182.379 | | |
| Tolima | Lechero | 1.079 | 1.079 | | | | |
| | No lechero | 788.879 | 437.003 | 166.111 | 185.783 | 475,68 | 394,92 |
| Valle del Cauca | Lechero | 58.630 | 58.630 | | | | |
| | No lechero | 447.653 | 237.753 | 106.200 | 103.700 | 469,15 | 408,24 |
| Casanare | Lechero | 0 | | | | | |
| | No lechero | 1.493.791 | 859.009 | 360.701 | 274.081 | 400 | 300 |
| Otros Departamentos | Llechero | 24.069 | 24.069 | | | | |
| | No lechero | 3.778.265 | 1.730.339 | 1.409.269 | 638.657 | | |
| Total Nacional | Lechero | 768.465 | 768.465 | | | | |
| | No lechero | 24.153.277 | 12.493.161 | 6.628.018 | 5.032.098 | 417,40 | 373,34 |

Fuente: Los autores, 2007. Datos compilados del DANE y MADR

Manejo del estiércol

La estimación del metano emitido por manejo de estiércol necesitó parte de la información recopilada en la categoría fermentación entérica, primordialmente la variable GE que se explicó en el párrafo anterior. Además de esta información fue necesario especificar el sistema de manejo de estiércol, lo cual incluye entre otras variables las siguientes:

- Masa de sólidos volátiles excretados por animal (Vs); expresado en kg/de materia seca/día¹².
- Capacidad máxima de producción de metano en el estiércol (Bo); dada en $m^3 \cdot kg^{-1} \cdot Vs^{-1}$, valor por omisión equivalente a 0,10; tomado del IPCC (1997).
- Factor de conversión del metano, expresado en porcentaje y en función del clima.

¹² Se calcula según la ecuación 4.16 del IPCC, 2000.

Para determinar este último parámetro fue necesario definir previamente los sistemas de manejo de residuo animal (estiércol), de los cuales se destacan: lagunas anaerobias, sistemas líquidos, dispersión diaria, almacenamiento sólido en seco, pastos-corrales y otros sistemas. De acuerdo con los expertos de la mesa técnica del Módulo de agricultura, se estableció que para efectos del cálculo de esta variable sólo se determina la emisión por el sistema de pastos-corrales, ya que este sistema es el más representativo en el país por el predominio de las ganaderías extensivas en Colombia. Es válido mencionar la falta de información detallada para los otros sistemas de manejo.

Para obtener la excreción de nitrógeno para el tipo de sistema de manejo de pastos y corrales (kg N/año) el procedimiento que se siguió consistió, en primera instancia, en multiplicar el número de animales en miles por un factor de excreción de nitrógeno y por una fracción de nitrógeno en estiércol por tipo de sistema según la Tabla 4.18 de las Guías del IPCC (1997). Finalmente, los factores de emisión para machos, hembras y novillos se calcularon a partir de la ecuación 4.15 dada por el IPCC (2000), la cual se presenta a continuación.

Ecuación:

$$\text{Emisiones de CH}_4 \text{ (Gg)} = (\text{Factor de emisión} \cdot \text{Población}) / (10^6 \text{ kg/Gg})$$

Donde:

Emisiones de CH₄ (Gg): Emisiones procedentes del manejo del estiércol para una población definida Gg/año

Factor de emisión: Factor de emisión definido para el ganado

Población: Número de cabezas de ganado

Siguiendo la metodología esbozada, se adelantó el cálculo de los factores de emisión (FE) y emisiones por departamento¹³ para obtener nuevamente los cálculos con el nivel 2 de análisis. Así se obtuvo: 1.348,5 Gg de CH₄ y 1.468,45 Gg de CH₄ para los años 2000 y 2004, respectivamente, encontrándose un aumento del 8,89% respecto al 2000. Tal comportamiento está relacionado en parte con el aumento del hato ganadero. En la Tabla A4.17 se presentan los resultados calculados para cada departamento.

Al comparar los resultados obtenidos con la metodología del nivel 1 (tablas A4.13 y A4.14) frente al nivel 2 (tabla A4.18), para el año 2000 se presentó un aumento en las emisiones de 16,17%, mientras el 2004 registró un incremento de 21,59%. Los anteriores resultados son coherentes con lo indicado por el UNFCCC (2007), pues se tiene que al aplicar factores de emisión específicos para un país, los resultados pueden cambiar entre 20-30%, frente a los obtenidos mediante el nivel 1. Es necesario resaltar la importancia de los resultados presentados y el grado de avance alcanzado en relación con el primer inventario de GEI (IDEAM, 2001).

De acuerdo con el IPCC (2000), la incertidumbre al usar el nivel 1 está alrededor de ± 30% a ± 50%; mientras que el uso de factores de emisión nacionales calculados por el nivel 2, que reflejan la intensidad y características de la producción pecuaria nacional, presentan una disminución significativa en la incertidumbre, alrededor de ± 20% (IPCC, 2006). (Tabla A4.17)

¹³ Sólo se incluyen los departamentos reportados en el inventario pecuario del DANE para los años 2000 y 2004; de tal manera que se exceptuaron las emisiones de aquellos departamentos no reportados por el Censo Pecuario Nacional. Así como únicamente se reportaron emisiones para ciertos departamentos en un solo año.

Tabla A4.17 FE y emisiones de metano para ganado vacuno no lechero por departamento, años 2000 y 2004

| Departamento | Año 2000 Gg CH ₄ | Año 2004 Gg CH ₄ | FE promedio (kg CH ₄ • cabeza ¹ • año ⁻¹) | Manejo estiercol | Fermentación entérica | Manejo estiercol |
|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|--|---------------------|--------------------------|---------------------|
| | Fermentación entérica | Manejo estiercol | Fermentación entérica | | | |
| Antioquia | 142,525 | 1,543 | 161,677 | 2,302 | 56,701 | 1,300 |
| Atlántico | 7,480 | 0,172 | 13,982 | 0,321 | 53,770 | 1,233 |
| Bolívar | 45,195 | 1,079 | 48,989 | 1,123 | 55,408 | 1,271 |
| Boyacá | 53,272 | 0,947 | 55,259 | 0,954 | 52,153 | 1,196 |
| Caldas | 21,647 | 1,303 | 24,439 | 1,118 | 56,214 | 1,289 |
| Caquetá | 43,676 | 1,381 | - | - | 53,929 | 1,237 |
| Cauca | 14,713 | 0,337 | 22,002 | 0,505 | 51,591 | 1,183 |
| Cesar | 82,143 | 1,731 | 99,980 | 2,107 | 53,682 | 1,131 |
| Córdoba | 156,020 | 3,288 | 145,158 | 3,059 | 52,749 | 1,111 |
| Cundinamarca | 70,808 | 1,119 | 60,173 | 0,951 | 53,477 | 0,845 |
| Huila | 26,726 | 0,422 | 30,646 | 0,484 | 52,562 | 0,831 |
| La Guajira | 25,131 | 0,432 | 20,617 | 0,355 | 57,197 | 0,984 |
| Magdalena | 47,780 | 1,007 | 71,877 | 1,515 | 52,059 | 1,097 |
| Meta | - | - | 111,648 | 2,699 | 62,924 | 1,521 |
| Nariño | 14,981 | 0,237 | 19,041 | 0,301 | 57,264 | 0,905 |
| Norte de Santander | 20,621 | 0,435 | 23,388 | 0,493 | 50,006 | 1,054 |
| Quindío | 4,082 | 0,086 | 5,320 | 0,112 | 52,758 | 1,112 |
| Risaralda | 4,407 | 0,093 | 5,942 | 0,125 | 52,127 | 1,098 |
| Santander | 61,529 | 0,972 | 72,651 | 1,148 | 52,059 | 0,823 |
| Sucre | 48,791 | 1,028 | 42,982 | 0,905 | 53,985 | 1,138 |
| Tolima | 34,260 | 0,786 | 48,248 | 0,393 | 57,454 | 1,317 |
| Valle del Cauca | 44,690 | 0,490 | 44,690 | 0,534 | 54,005 | 1,138 |
| Arauca | 55,819 | 1,349 | - | - | 60,788 | 1,469 |
| Casanare | 129,327 | 3,126 | 89,604 | 2,166 | 58,093 | 1,404 |
| Putumayo | 6,851 | 0,108 | - | - | 51,443 | 0,813 |
| Otros departamentos | 160,032 | 2,529 | 222,972 | 3,524 | - | - |
| Total Nacional | 1322,507 | 26 | 1441,264 | 27,191 | - | - |
| Total año | 1.348,507 | | 1.468,455 | | | |

Fuente: Los autores, 2007. FE: Factor de emisión

4.2.2 Cálculo de emisiones procedentes de suelos agrícolas

Como se explicó antes, en esta categoría se evalúa el óxido nitroso (N₂O), teniendo en cuenta que el ciclo del nitrógeno -N- (nitrificación, desnitrificación) desempeña un papel muy importante en el suelo y la producción agrícola, de tal manera que se han definido dos subcategorías, las que explican las emisiones de forma directa e indirecta.

4.2.2.1 Emisiones directas de N₂O

En esta categoría, las principales fuentes de nitrógeno son: la aplicación de fertilizantes sintéticos, la incorporación de estiércol y residuos agrícolas al suelo como fertilizante, los cultivos fijadores de nitrógeno, y la mineralización del N por cultivos en suelos del orden Histosol. A continuación se detalla el proceso de evaluación para cada una de estas categorías de fuente:

- Para estimar el nitrógeno (N) incorporado al suelo como fertilizante sintético se tomó como referencia las ventas nacionales reportadas por el ICA para los años 2000 y 2004. Teniendo en cuenta que cada uno de los fertilizantes reportados en estas estadísticas posee diferentes grados (comerciales) de nitrógeno como componente, se procedió a clasificarlos con el fin de estimar el aporte en nitrógeno (kg) de cada una de las presentaciones. Adicionalmente, se contó con la colaboración del Dr. Ricardo Barreto, consultor particular, quien como experto apoyó en la obtención de los resultados sobre el consumo de nitrógeno por fertilizantes a nivel nacional¹⁴.
- Cultivos establecidos en suelos del orden histosol. Teniendo en consideración que no existe información detallada para los años del inventario (2000 y 2004), se decidió recurrir a la información generada por el IGAC en el mapa de suelos del año 2003 (IGAC, 2003). Utilizando esta cartografía,

¹⁴ No se empleó un valor promedio de N consumido por cultivos principales vs áreas cosechadas, ya que las prácticas culturales de manejo son muy variables a nivel nacional para un mismo cultivo, adicionalmente los requerimientos están en función del clima, tipo de suelo, etc., lo cual hace muy heterogéneos los requerimientos de N en un mismo cultivo. Esta situación se verificó bajo cultivos transitorios y permanentes. Análisis basado en consulta de expertos de la mesa técnica, comunicación personal con Marco Fidel Pérez; Corporación Colombia Internacional (CCI).

se procedió a realizar una aproximación espacial en términos de las hectáreas cultivadas en los histosoles. Esta información se generó a partir de la reclasificación del mapa de suelos (IGAC, 2003) y su cruce o superposición con el mapa de uso de las tierras (IGAC, 2002). En el Mapa A.1, se presentan los resultados de este ejercicio, resaltando las áreas de cultivos en suelos del orden Histosol. Para efectos del inventario, se asumió el mismo valor para los años 2000 y 2004.

- La contabilización de las diferentes fuentes de nitrógeno (kg de N/año) se realizó en términos de la incorporación de éstas al suelo, junto con la fracción emitida en forma de GEI (NOx más NH₃)¹⁵ ya sea por volatilización y/o lixiviación. El producto entre fuentes de nitrógeno, fracciones y factores de emisión permite cuantificar la cantidad de N₂O emitido (IPCC, 1997), GW Tabla 4.18. Para ello, inicialmente se estimó la incorporación de nitrógeno según el tipo fuente, la que se basa en las estadísticas nacionales; luego se determinó la fracción que se pudo haber volatilizado y, o lixiviado, resultante en emisiones netas de N₂O. Véase la Tabla 4.18.

4.2.2.2 Emisiones indirectas de N₂O procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura

Las principales fuentes de nitrógeno que generan emisiones de N₂O hacen referencia a la cantidad de nitrógeno (kg N / año) incorporado al suelo, ya sea como fertilizante sintético o como estiércol. Con el fin de estimar la cantidad de nitrógeno que se volatilizó o se lixivió, se utilizaron diferentes factores por omisión (IPCC, 1997), GWB; Tabla 4.17 y 4.18. Posteriormente, con base en dichas cantidades, mediante la fracción kg de nitrógeno emitido y expresado en kg N₂O (relación de pesos moleculares 44/28) se pueden calcular las respectivas emisiones. Los resultados se muestran en la Tabla A4.18.

4.2.2.3 Estimación de las emisiones de N₂O procedentes del pastoreo de animales

Las emisiones de N₂O para la fracción de la población manejada en praderas abiertas (siendo éste el principal sistema de manejo de estiércol en el país), se calcularon a partir de la cantidad de estiércol producido, en términos de excreción expresada en kg • N⁻¹ • año⁻¹, según la especie de ganado y los factores de emisión por defecto (IPCC, 1997), GWB; tablas 4.6, 4.7 y 4.8. En la Tabla A4.18, se presentan los resultados para esta categoría.

Tabla A4.18 Fuentes de N y emisiones totales (directas/indirectas) de N₂O de los suelos agrícolas

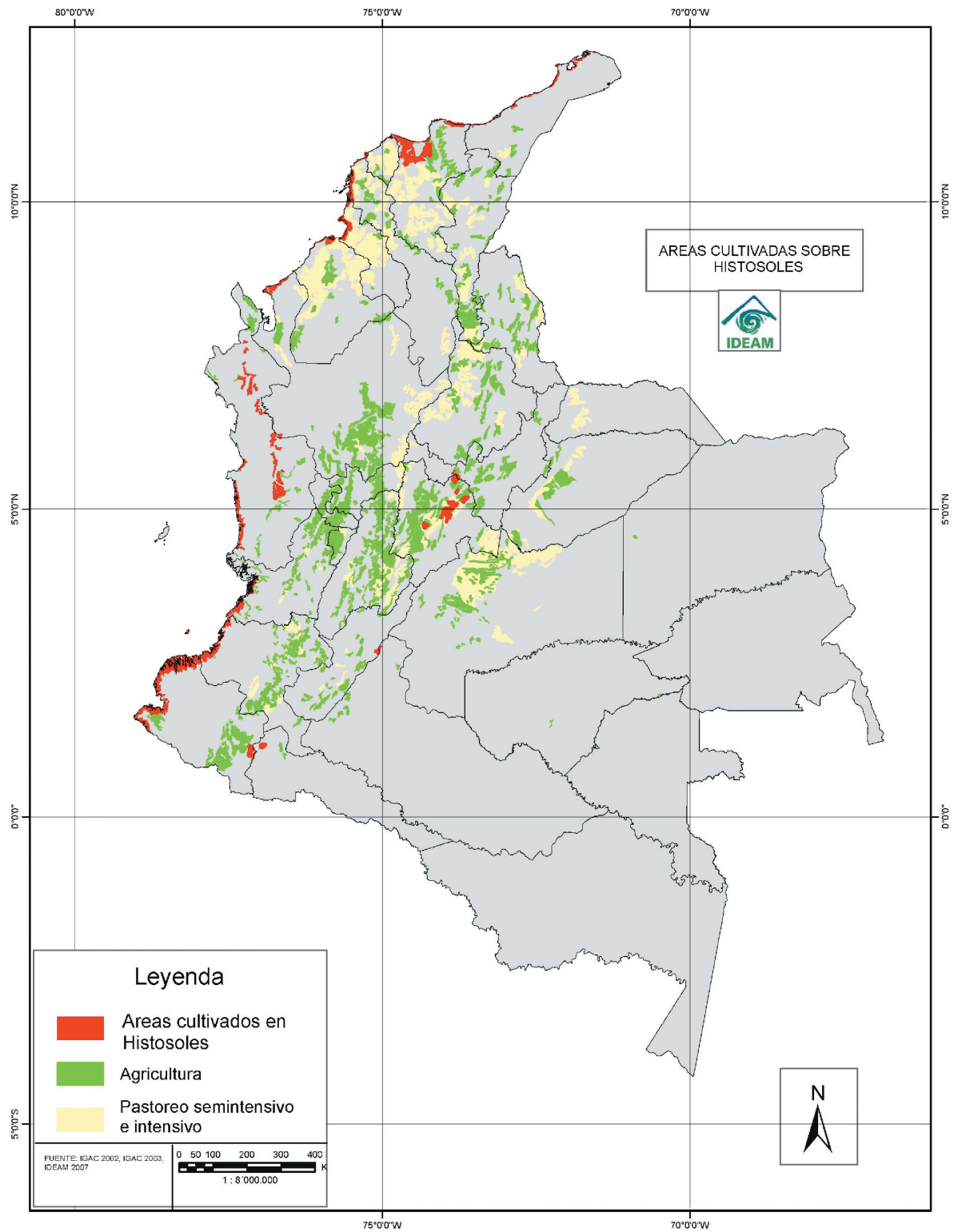
| Fuentes de N bajo suelos agrícolas | Simbolo | Unid. | Fuente / Institución | Comentario | Valor para el año 2000 | Valor para el año 2004 | Emisiones de N ₂ O / Gg para el año 2000 | Emisiones de N ₂ O / Gg para el año 2004 |
|--|-----------------------|----------|---|--|------------------------|------------------------|---|---|
| Nitrógeno sintético consumido como fertilizante en el país. | Fsn | kg N/año | ICA; Ventas Nacionales. | Dato específico del país | 233.695.977,219 | 248.674.082,148 | 22,08 | 22,92 |
| Nitrógeno procedente del estiércol utilizado como fertilizante | Faw | | Información base ENA años 2000 y 2004; CCI. | Inventario Ganadero adaptado según IPCC 1997; 2000. | 871.592.556,744 | 863.910.023,746 | | |
| Cultivos fijadores de nitrógeno. | Fbn | | Información base ENA años 2000 y 2004; CCI. | Estadísticas de producción agrícola adaptadas según IPCC 1997; 2000. | 22.252.879,000 | 12.466.158,000 | | |
| Nitrógeno excretado durante el pastoreo de ganado. | AWMS, N _{ex} | | Información base ENA años 2000 y 2004; CCI. | Inventario Ganadero adaptado según IPCC 1997; 2000. | 1.091.424.270,000 | 1.081.646.905,200 | 38,37 | 39,68 |
| Área cultivada en Histosoles | Fos | ha/año | IGAC 2003. | Dato específico del país. | 1.124.349,157 | 1.124.349,157 | 41,80 | 42,54 |

Fuente: Los autores, 2007.

15 IPCC, 1997. Work book; Tabla 4.17.



Mapa A.1 Histosoles en Colombia



Fuente: IDEAM, 2007. Con base en los mapas de suelos del IGAC, 2002 y 2003.

4.2.3 Cálculo de emisiones de metano del cultivo de arroz

Los cultivos de arroz representan la segunda fuente de metano, después de la población de ganado. La estimación de emisiones para esta categoría se basa en las áreas cosechadas (m²) para un año dado respecto a los regímenes de manejo del agua al interior del cultivo.

La cantidad de metano producido depende del manejo técnico del cultivo, por lo tanto, existen diferencias en cuanto a las emisiones netas, las cuales están en función del tipo suelo, régimen de agua (riego o seco), tipo de fertilizantes utilizados y temperatura ambiente. Dada la complejidad en la relación suelo-agua-cultivo, la cual determina la producción de metano, el IPCC plantea tres clasificaciones; sin embargo, para el caso colombiano sólo aplican regadío, seco y agua profunda; éstas a su vez se subdividen, permitiendo así una mayor aproximación en el cálculo de emisiones.

Con base en la información dada en la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) para los años 2000 y 2004, se determinaron las áreas cosechadas de arroz seco y de riego. Posteriormente, se procedió a realizar el cálculo de GEI para esta categoría, el cual resulta del producto entre la superficie cosechada (m²) y los factores de emisión dados por régimen de agua y tipo de fertilizantes aplicados al cultivo, ya sean estos orgánicos o sintéticos¹⁶. Es necesario aclarar que en los cálculos no se realizaron correcciones por adición de fertilizantes orgánicos (hecho que implica mayor disponibilidad de materia orgánica para ser descompuesta y emitir CH₄), ya que la implementación de este tipo de fertilizantes al cultivo de arroz a nivel nacional es marginal (reporte secretaría de la cadena de arroz del MADR). En la Tabla A4.19, se presentan los resultados del cálculo de emisiones para cultivos de arroz.

Tabla A4.19 Emisiones de CH₄ asociadas con las superficies sembradas y cosechadas de arroz

| Tipo de sistema | Ha Sembradas | | Ha Cosechadas | | Emisiones CH ₄ Gg | |
|--------------------|--------------|---------|---------------|---------|------------------------------|-------|
| | 2000 | 2004 | 2000 | 2004 | 2000 | 2004 |
| Secano | 163.754 | 218.327 | 142.335 | 189.770 | 22,77 | 30,36 |
| Riego continuo | 283.799 | 276.203 | 246.678 | 240.076 | 24,55 | 21,95 |
| Riego intermitente | 0 | 0 | 0 | 0 | 13,39 | 13,03 |
| Total riego | 283.799 | 276.203 | 246.678 | 240.076 | 37,94 | 34,98 |
| Total | 447.553 | 494.530 | 389.013 | 429.845 | 60,71 | 65,34 |

Fuente: Los autores, 2007. Información base adaptada de ENA 2000 y 2004.

4.2.4 Cálculo de emisiones por la quema prescrita de sabanas

La quema de sabanas no constituye una fuente importante de emisiones; sin embargo, en Colombia constituye una práctica agropecuaria de carácter cultural muy frecuente, especialmente en la región de la Orinoquia y, fundamentalmente, en las sabanas de régimen estacional, las cuales se caracterizan por periodos húmedos y secos muy marcados (Correa, 1982), en dichas sabanas la actividad ganadera es el principal uso del suelo.

En el país dicha práctica está asociada principalmente con la ganadería ya que el proceso de combustión de la biomasa genera un acelerado proceso de reciclaje de nutrientes en el suelo, propiciando el crecimiento de nuevos pastos para el ganado. En términos generales, se considera una práctica económica de mejoramiento y renovación de forrajes que además elimina garrapatas, parásitos gastrointestinales, zancudos y jején (Mullenar, s.f.).

El proceso metodológico de cálculo de GEI para la quema de sabanas se puede sintetizar en los siguientes pasos:

- Estimación del área quemada anualmente de sabanas en el país.

16 Puesto que no se dispone de factores de emisión específicos, se emplearon los establecidos en las tablas 4.10 y 4.11 de las Guías del IPCC, 1997.

- b) Determinación de la cantidad de biomasa de las sabanas que se quema anualmente.
- c) Determinación del factor de emisión correspondiente a cada uno de los gases emitidos [metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N₂O) y óxidos de nitrógeno (NO_x)].
- d) Determinación de la emisión neta.

En la actualidad, no se dispone de información detallada que permita determinar con precisión el área de sabanas naturales quemada anualmente en Colombia. En consecuencia y tomando como referencia que la mayor área con sabanas naturales se ubica en la región de la Orinoquia (IDEAM, 2004), se solicitó la colaboración a las autoridades ambientales regionales (Cormacarena y Corporinoquia) para establecer los valores más aproximados de estas áreas.

Corporinoquia suministró información de la quema de sabanas, la cual se emplea para los cálculos de las emisiones del módulo¹⁷. Es importante aclarar que los datos suministrados obedecen a una aproximación preliminar de la información reportada por los comités locales de prevención y atención de desastres (Clopap) incluyendo información capturada con vuelos sobre las zonas afectadas, además de la verificación en campo; véase la Tabla A4.20.

La estimación de la densidad de biomasa aérea se estimó a partir de diversas investigaciones relacionadas con el contenido de la biomasa para ecosistemas de sabanas (Corpoica, 2001; Ciat, 2001 y Mullenar, s.f.).

En el cálculo del carbono y nitrógeno liberado en forma de GEI y en las fracciones de biomasa se emplearon un conjunto de factores por omisión dados por el IPCC (1997 y 2000), ya que la investigación a nivel nacional respecto al tema en particular es muy incipiente, tal es el caso de fracción de la biomasa que es quemada, fracción de la biomasa viva quemada, fracción oxidada de la biomasa viva y muerta, contenido de carbono en la biomasa (viva y muerta) y relación C/N.

Teniendo en consideración la baja disponibilidad de información existente para este módulo, los resultados fueron homogenizados para los dos años del inventario. En la Tabla A4.21 se muestran los valores obtenidos con base en los ajustes y desarrollos que fueron requeridos.

Tabla A4.20 Parámetros para estimación de GEI de la quema de sabanas

| Año | Emisiones en Gg por tipo de GEI | | | |
|------|---------------------------------|------------------|-----------------|-------|
| | CH ₄ | N ₂ O | NO _x | CO |
| 2000 | 2,5 | 0,03 | 1,12 | 65,64 |
| 2004 | 2,5 | 0,03 | 1,12 | 65,64 |

Fuente: Los autores, 2007. t dm/ha: toneladas de materia seca por hectárea. GRM: *Guidelines Reference Manual*

Tabla A4.21 Emisiones de GEI procedentes de la quema de sabanas

| Parámetro | Unidad de medida | Fuente/Institución | Comentarios | Valor para el año 2000 | Valor para el año 2004 |
|--|------------------|--|--|------------------------|------------------------|
| Área quemada en sabanas | kha | Información adaptada del sistema de PAD, Corporinoquia | Comprende datos para los departamentos de Casanare, Arauca y Vichada | 1252,47 | 1252,47 |
| Densidad de Biomasa área | t dm/ha | CIAT, 2001; CORPOICA, 2001 | Dato específico del país | 1,225 | 1,225 |
| Fracción quemada | - | IPCC GRM 1997; Tabla 4.14; página 4,79 | Valor por defecto dado por el IPCC | 0,8 | 0,8 |
| Fracción de la biomasa viva quemada | - | | | 0,45 | 0,45 |
| Fracción oxidada de la biomasa viva/muerta | - | 0,8/1 | | 0,8/1 | |
| Fracción oxidada de la biomasa viva/muerta | - | 0,45/0,4 | | 0,45/0,4 | |
| Relación C/N | - | 0,006 | | 0,006 | |

Fuente: Los autores, 2007.

¹⁷ Esta información tiene como restricción que obedece a un promedio anual y no permite establecer a la fecha un dato anual para los años del inventario. (comunicación personal de Germán Riveros, funcionario Corporinoquia).

4.2.5 Cálculo de emisiones por la quema de residuos agrícolas

Las emisiones por quemas de residuos agrícolas dependen de la cantidad de materiales sobrantes provenientes de cosechas que se incineran en el campo y del contenido de carbono y nitrógeno contenidos en los mismos. El cálculo de emisiones de este módulo se efectuó multiplicando la cantidad de residuo de cada cultivo quemado anualmente y su correspondiente factor de emisión.

Para efectos del inventario, la estimación se basó en las estadísticas nacionales con respecto a la producción nacional de arroz, maíz, trigo, sorgo, algodón, caña panelera y caña de azúcar¹⁸, expresada en Gg (MADR, 2000 y 2004); véase la Tabla A4.22.

Tabla A4.22 Producción anual de los principales cultivos evaluados a nivel nacional

| Cultivo | Producción anual (Gg). | | Fuente / Institución |
|----------------|------------------------|----------|--|
| | 2000 | 2004 | |
| Trigo | 37,09 | 43,47 | Encuesta Nacional Agropecuaria años 2000 y 2004. CCI |
| Maiz | 1068,45 | 1462,93 | |
| Sorgo | 127,94 | 103,65 | |
| Arroz | 2716,03 | 2920,148 | |
| Algodón | 95,06 | 146,49 | |
| Caña de azúcar | 2391,32 | 2739,97 | |
| Caña panelera | 697,33 | 7396,88 | |

Fuente: Los autores, 2007.

Posteriormente, se establecieron los parámetros que permiten determinar la cantidad de C y N liberado a la atmósfera como producto de la incineración en forma GEI; tal es el caso de: 1) relación residuo/cultivo; 2) fracción de biomasa seca; 3) fracción de residuos quemados en campo; 4) fracción oxidada; 5) contenido de C de la biomasa y; 6) relación C/N para la biomasa; véase la Tabla A4.23.

La relación residuo/producción de los cultivos de maíz, trigo, sorgo, algodón, caña panelera se tomó directamente de las Guías del IPCC (1997) valores por omisión, ya que no existe información específica para el país. En la Tabla A4.24 se presentan los resultados generales de cálculo tanto para el año 2000 como para el 2004.

Tabla A4.23 Parámetros para la estimación de GEI de la quema de residuos agrícolas

| Cultivo | Relación residuos / producción (%) | Fracción de materia seca | Fracción quemada en campo | Fracción oxidada | Fracción de C en los residuos | Relación C/N | Fuente / Institución |
|----------------|------------------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------|-------------------------------|--------------|---|
| Trigo | 1,30 | 0,83 | 0,10 | 0,90 | 0,49 | 0,01 | Valor por defecto tomado del IPCC GRM 1997; Tabla 4.17/ IPCC EFDB |
| Maiz | 1 | 0,40 | 0,10 | 0,90 | 0,4709 | 0,02 | |
| Sorgo | 0,80 | 0,80 | 0,10 | 0,90 | 0,50 | 0,02 | |
| Arroz | 1,2 | 0,83 | 0,30 | 0,90 | 0,4144 | 0,014 | |
| Algodón | 3 | 0,80 | 0,10 | 0,90 | 0,5 | 0,015 | |
| Caña de azúcar | 0,3 | 0,40 | 0,10 | 0,90 | 0,5 | 0,015 | |
| Caña panelera | 0,7 | 0,40 | 0,10 | 0,90 | 0,5 | 0,015 | |

Fuente: Los autores, 2007. GRM: *Guidelines Reference Manual*. EFDB: Base de datos factores de emisión del IPCC

Tabla A4.24 Emisiones de GEI procedentes de la quema de residuos agrícolas

| Año | Emisiones en Gg por tipo de GEI | | | |
|------|---------------------------------|------------------|-----------------|-------|
| | CH ₄ | N ₂ O | NO _x | CO |
| 2000 | 2,39 | 0,06 | 2,06 | 50,15 |
| 2004 | 3,19 | 0,08 | 2,78 | 67,07 |

Fuente: Los Autores, 2007. GRM: *Guidelines Reference Manual*. EFDB: Base de datos factores de emisión del IPCC

¹⁸ Cultivos donde es una práctica frecuente la quema de residuos.

4.3 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI

Los resultados del reporte sectorial para los años 2000 y 2004 se presentan en el cuerpo principal del Módulo de agricultura; véase las Tablas 4.3 y 4.4.

A continuación, en las Tablas A4.25 y A4.26 se presentan las emisiones totales de metano por tipo de ganado para los años 2000 y 2004.

Tabla A4.25 Emisiones totales de metano para el año 2000

| Tipo de ganado | Población | FE Fermentación entérica (Kg • CH ₄ ⁻¹ • cabeza ⁻¹) | Emisiones de CH ₄ (Gg) por fermentación entérica | FE Manejo del Estiércol (Kg • CH ₄ ⁻¹ • cabeza ⁻¹) | Emisiones de CH ₄ (Gg) por manejo del estiércol | Total emisiones de CH ₄ (Gg) |
|---------------------------|-------------|---|---|--|--|---|
| Ganado vacuno lechero | 964.692 | 57 | 54,99 | 1,5 | 1,45 | 56,43 |
| Ganado vacuno no lechero* | 23.215.233 | 56,96734 | 1322,51 | 1 | 23,215233 | 1.345,73 |
| Bufalino | 160.226 | 55 | 8,81 | 1,92 | 0,31 | 9,12 |
| Ovino | 2.689.182 | 5 | 13,45 | 0,18 | 0,48 | 13,93 |
| Caprino | 3.582.475 | 5 | 17,91 | 0,21 | 0,75 | 18,66 |
| Equino | 2.493.604 | 18 | 44,88 | 1,91 | 4,76 | 49,65 |
| Mulas y asnos | 705.595 | 10 | 7,06 | 1,08 | 0,76 | 7,82 |
| Porcicultura | 3.186.530 | 1 | 3,19 | 1,3 | 4,14 | 7,33 |
| Avicultura | 344.565.453 | 0 | 0,00 | 0,018 | 6,21 | 6,20 |
| Total | | | 1472,80 | | 42,07 | 1.514,87 |

Fuente: Los autores, 2007.

Tabla A4.26 Emisiones totales de metano para el año 2004

| Tipo de ganado | Población | FE: Fermentación entérica (kg • CH ₄ ⁻¹ • cabeza ⁻¹) | Emisiones de CH ₄ (Gg) por fermentación entérica | FE: Manejo del estiércol (kg • CH ₄ ⁻¹ • cabeza ⁻¹) | Emisiones de CH ₄ (Gg) por manejo del estiércol | Total emisiones de CH ₄ (Gg) |
|---------------------------|-------------|--|---|---|--|---|
| Ganado vacuno lechero | 768.465 | 57 | 43,80 | 1,5 | 1,15 | 44,96 |
| Ganado vacuno no lechero* | 24.153.277 | 59,6714 | 1441,26 | 1 | 24,153 | 1.465,41 |
| Bufalino | 168.559 | 55 | 9,27 | 1,92 | 0,32 | 9,59 |
| Ovino | 2.830.718 | 5 | 14,15 | 0,18 | 0,51 | 14,66 |
| Caprino | 3.771.026 | 5 | 18,85 | 0,21 | 0,79 | 19,65 |
| Equino | 2.590.991 | 18 | 46,63 | 1,91 | 4,95 | 51,59 |
| Mulas y asnos | 657.594 | 10 | 6,57 | 1,08 | 0,71 | 7,29 |
| Porcicultura | 3.177.702 | 1,5 | 3,18 | 1,3 | 4,13 | 7,31 |
| Avicultura | 438.856.479 | 0 | 0 | 0,018 | 7,90 | 7,90 |
| Total | | | 1583,733 | | 44,62 | 1.372,19 |

Fuente: Los autores, 2007.

Las estimaciones de los consumos de nitrógeno por fertilizantes sintéticos a partir de las ventas nacionales para los años 2000 y 2004, se presentan en las Tablas A4.27 y A4.28, respectivamente.

Tabla A4.27 Estimación del consumo de N por fertilizantes sintéticos a partir de las ventas nacionales, año 2000.

| Clase | Ventas reportadas año 2000 | | | % N | N en Kg del producto sólido | Densidad g/ml | N en Kg del producto líquido |
|-----------------------------------|---|-------------|---------|----------------------------------|-----------------------------|---------------|------------------------------|
| | Fuente | Kg | L | | | | |
| Foliars de mezcla | N - K + Secundarios y menores con A.A | | 84.745 | 0,1 | 0 | 1,2 | 10.169 |
| | N - K + Secundarios + menores | 92.336 | | 0,1 | 9.234 | | |
| | N - P + Secundarios + menores | 59.194 | | 0,1 | 5.919 | | |
| | N - P - K | 4.726.310 | 2.402 | 0,1 | 472.631 | 1,2 | 288 |
| | N - P - K + aminoácidos | | 17.192 | 0,1 | 0 | 1,2 | 2.063 |
| | N - P - K + menores | 260.376 | 146.951 | 0,1 | 26.038 | 1,2 | 17.634 |
| | N - P - K + secundarios (Ca Mg,S) | 1.077.838 | | 0,1 | 107.784 | | |
| N - P - K + secundarios + menores | 8.304.708 | | 0,1 | 830.471 | | | |
| Foliars simples | Nitrato de potasio | | 751 | 0,13 | 0 | | |
| Fuentes de fósforo | Fosfato diamónico (DAP) | 54.245.559 | | 0,18 | 9.764.201 | | |
| | Fosfato monoamónico (MAP) | 530.786 | | 0,21 | 111.465 | | |
| Fuentes de nitrógeno | Ácido nítrico HNO ₃ | | 48.865 | 0,22 | 0 | 1,2 | 12.900 |
| | Nitrato de amonio NH ₄ NO ₃ | 50.982.148 | 657.119 | 0,35 | 17.843.752 | 1,27 | 175.254 |
| | Nitrato de amonio y magnesio | 684.000 | | 0,22 | 150.480 | | 0 |
| | Sulfato de amonio | 100.422.320 | | 0,46 | 21.088.687 | | 0 |
| | Urea (NH ₂) ₂ CO | 334.705.164 | 774 | 0,17 | 153.964.375 | 1,2 | 427 |
| | Urea+fosfato | 17.837 | | 0,36 | 3.032 | | 0 |
| | Urea recubierta con azufre | 12.632.190 | | 0,1 | 4.547.588 | | 0 |
| Mezclas sólidas | N+secundarios | 289.480 | | 0,1 | 28.948 | | 0 |
| | NP | 9.560.350 | | 0,1 | 956.035 | | 0 |
| | NPK | 300.537.782 | 3.342 | 0,1 | 30.053.778 | 1,2 | 401 |
| | NPK + secundarios (Ca, Mg, S) | 191.364.115 | | 0,1 | 19.136.412 | | 0 |
| | NPK + secundarios + menores | 5.613.672 | | 0,1 | 561.367 | | 0 |
| | | | | Subtotal | 259.662.197 | | 219.137,09 |
| | | | | Total kg de nitrógeno | | | 259.881.334 |
| | | | | Fración que se volatiliza | | | 233.893.200 |

Fuente: Los autores, 2007. Adaptación de las estadísticas ICA, venta de fertilizantes por clase y fuente, año 2000. Consulta a expertos: Ricardo Barreto, consultor particular.

Tabla A4.28 Estimación del consumo de N por fertilizantes sintéticos a partir de las ventas nacionales, año 2004.

| Clase | Ventas reportadas año 2004 | | | % N | N en Kg del producto sólido | Densidad g/ml | N en Kg del producto líquido |
|----------------------------|---|-------------|-----------|----------------------------------|-----------------------------|---------------|------------------------------|
| | Fuente | Kg | L | | | | |
| Foliars de mezcla | N-K+ secundarios y menores | | 103.037 | 0,1 | 0 | 1,2 | 12.364 |
| | N-P-K + materia orgánica | 36.997.235 | 3.784 | 0,1 | 3.699.724 | 1,2 | 454 |
| | N-P-K + magnesio | 50.962.150 | | 0,1 | 5.096.215 | | 0 |
| | N-P-K | 276.736 | 2.695.776 | 0,1 | 27.674 | 1,2 | 323.493 |
| | N-P-K + menores | 83.712 | | 0,1 | 8.371 | 1,2 | 0 |
| | N-P-K + secundarios (Ca, Mg, S) | 12.060.450 | 85.859 | 0,1 | 1.206.045 | 1,2 | 10.303 |
| | N-P-K + secundarios + menores | 3.426.858 | 3.145.181 | 0,1 | 341.686 | 1,2 | 377.422 |
| Foliars simples | Nitrato de potasio | 3.314.359 | 1.386.938 | 0,13 | 430.867 | 1,2 | 216.362 |
| Fuentes de fósforo | Fosfato diamónico (DAP) | 50.595.796 | | 0,18 | 9.107.243 | 1,2 | 216.362 |
| | Fosfato monoamónico (MAP) | 1.361.455 | | 0,21 | 285.906 | | 0 |
| Fuentes de nitrógeno | Nitrato + boro | 4.297.544 | | 0,22 | 945.460 | | 0 |
| | Nitrato de amonio NH ₄ NO ₃ | 17.159.330 | 44.448 | 0,35 | 6.005.766 | 1,27 | 0 |
| | Nitrato de calcio | 11.217.458 | | 0,15 | 1.682.619 | | 0 |
| | Nitrato de magnesio | 16.675.021 | 9.201 | 0,11 | 1.834.252 | 1,34 | 863 |
| | Sulfato de amonio | 73.219.630 | | 0,21 | 15.376.122 | | 0 |
| | Urea (NH ₂) ₂ CO | 338.634.100 | 6.778 | 0,46 | 155.771.686 | 1,2 | 3.741 |
| | Urea + fosfato | 577.566 | | 0,17 | 98.186 | | 0 |
| Urea recubierta con azufre | 14.696.924 | | 0,36 | 5.290.893 | | 0 | |
| Mezclas sólidas | NP | 16.055.979 | 2.788 | 0,1 | 1.605.598 | 1,2 | 335 |
| | NPK | 367.585.208 | | 0,1 | 36.758.521 | 1,2 | 0 |
| | NPK + secundarios (Ca, Mg, S) | 286.940.329 | | 0,1 | 28.694.033 | | 0 |
| | NPK + secundarios + menores | 10.804.792 | | 0,1 | 1.080.479 | | 0 |
| | | | | Subtotal | | 275.347.344 | 957.192,02 |
| | | | | Total kg de nitrógeno | | | 276.304.535,72 |
| | | | | Fración que se volatiliza | | | 248.674.082,15 |

Fuente: Los autores, 2007. Adaptación de las estadísticas ICA, venta de fertilizantes por clase y fuente, año 2000. Consulta a expertos: Ricardo Barreto, consultor particular.

