



Resource Assessment for Livestock and Agro-Industrial Wastes – Colombia

Prepared for:



U.S. EPA
Methane to Markets Program

Prepared by:

Centro Nacional de Producción Más limpia

June 30, 2009

EXECUTIVE SUMMARY

The Methane to Markets (M2M) Partnership is an initiative to reduce global methane emissions to enhance economic growth, promote energy security, improve the environment, and reduce greenhouse gases. The initiative focuses on cost-effective, near-term methane recovery and use as a clean energy source. It is being done internationally through collaboration between developed countries, developing countries, and countries with economies in transition - together with strong participation from the private sector.

The Initiative works in four main sectors: Agriculture, Landfills, Oil and Gas and Coal Mines. The Agriculture Sub-Committee was created in November 2005 to focus on livestock wastes, and have expanded to include agro-industrial processes; Argentina and United Kingdom are the current co-chairs of the sub-committee.

As part of the M2M activities, the National Cleaner Production Centre is conducting a Livestock and Agro-industry Resource Assessment in Colombia to identify and describe the potential for incorporating anaerobic digestion into livestock manure and agro-industrial (agricultural commodity processing) waste management systems to reduce methane emissions and provide a renewable source of energy.

Four sectors were selected, due to:

- Sector size.
- High volume of waste end at anaerobic treatment.
- Wastes with high organic content, measured as COD or BOD5.
- The geographical distributions facilitate the development of centralized projects.
- There are sectors with high energy consumption.

The following table summarizes methane emissions and its CO₂ equivalence of the sectors that currently are emitting methane.

Sector	CH₄ emitted (m³/year)	CO₂ Eq. (ton CO₂/year)	CO₂ Offsets (MT CO₂e/year)	CO₂ Eq. (ton CO₂/year) Total	Energy Potential (Kwh/year)
Oil seed	43.412.011	652.743	115.042	767.784	139.280.202
Ethanol Distilleries	11.246.861	169.344	29.804	199.148	36.083.679
Swine	10.201.302	153.601	20.505	174.105	32.871.579
Bovine and Porcine Slaughterhouse	5.130.017	77.243	10.311	87.554	16.458.805
Chicken Slaughterhouse	780.543	11.753	1.569	13.321	2.504.242

Attached to this document you can find an implementation strategy to promote the reduction of methane emissions for the sectors mentioned above.

In addition, in Annex A2 we identify and describe the sectors that have the potential for incorporating anaerobic digestion into livestock manure and agro-industrial (agricultural commodity processing) waste management systems to provide a renewable source of energy, taking into account that currently they don't emit methane.

Finally, in Annex A3, the non selected sectors are listed. There it's described the waste types and their waste management systems, and a brief explanation about their exclusions.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES Y CRITERIOS DE SELECCIÓN	3
2.1 MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA LÍNEA BASE EN LOS SECTORES PECUARIOS Y AGROINDUSTRIALES	4
2.1.1 EMISIONES RELACIONADAS CON ESTIÉRCOL	4
2.1.2 EMISIONES RELACIONADAS CON RESIDUOS DE PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS	5
2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA DETERMINAR SECTORES POTENCIALES.....	7
2.3 EJEMPLOS DE PROYECTOS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE METANO EN COLOMBIA.....	8
2.3.1 PLANTA PILOTA DE CO-FERMENTACIÓN ANAERÓBICA	8
2.3.2 CAPTURA DE METANO EN UNA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA.....	9
2.3.3 APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS EN UNA GRANJA PORCÍCOLA	10
3. CARACTERIZACIÓN DE LOS SECTORES Y SUBSECTORES	12
3.1 SUBSECTORES AGROPECUARIOS EN COLOMBIA	12
3.2 SUBSECTORES CON POTENCIAL DE REDUCCIÓN DE EMISIONES.....	16
3.2.1 SACRIFICIO PORCINO Y BOVINO.....	16
3.2.2 SACRIFICIO AVES DE CORRAL.....	20
3.2.3 PORCICULTURA	23
3.2.4 INGENIOS DE AZÚCAR	27
3.2.5 OLEAGINOSAS	29
4. FACTIBILIDAD DE SISTEMAS DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA.....	32
4.1 REDUCCIÓN DE EMISIONES DE ACUERDO CON LAS METODOLOGÍAS DEL IPCC	32
4.1.1 ESTIÉRCOL.....	32
4.1.2 AGUAS RESIDUALES DE PROCESOS BÁSICOS DE AGRICULTURA	33
4.1.3 OTRAS CONSIDERACIONES	38
4.2 COMPENSACIÓN DE CARBÓN Y USO POTENCIAL DE ENERGÍA	39
4.3 OPCIONES TECNOLÓGICAS.....	40
4.3.1 ESTIERCOL.....	41
4.3.2 AGUAS RESIDUALES DE PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS.....	41
4.4 COSTOS Y BENEFICIOS POTENCIALES.....	43
4.4.1 COSTOS.....	43
4.4.2 BENEFICIOS POTENCIALES	44
4.4.3 PROYECTOS CENTRALIZADOS.....	44
5. ANEXOS	47
A.1 CONTACTOS EN COLOMBIA	47
A.2 SUBSECTORES CON POTENCIAL DE GENERACIÓN DE METANO	49
A.3 SECTORES NO SELECCIONADOS	54
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	61

Listado de Abreviaciones

Bo	Potencial de producción de metano
BOD5	Biochemical oxygen demand
COD/DQO	Chemical oxygen demand/demanda química de oxígeno
DA	Digestión anaerobia
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
FENAVI	Federación Nacional de Avicultores de Colombia
GEI	Gases efecto invernadero
HDPE	Polietileno de Alta Densidad
MCF	Factor de emisión de metano (por sus siglas en inglés)
MTMCO ₂ E	Millones de Toneladas Métricas de CO ₂ equivalente
UASB	Up Flow Sludge Blanked
USEPA	United States Environmental Protection Agency

RECONOCIMIENTOS

We give our special thanks to Environmental Program Assistant, Laura Mantilla from Federación Nacional de Cultivadores de Palma – FEDEPALMA, to General Manager, Juan Saldarriaga from FRIGOSINU, Fernando Fajardo and Juan Carlos Cuao from Asociación Colombiana de Porcicultura, to Manuelita and Providencia Sugar Mills and Ignacio Sanchez from Consultoría y Servicios en Tecnologías Eficientes, S.A. de C.V. México, D.F for providing us valuable information for developing this study.

1. INTRODUCCIÓN

El Centro Nacional de Producción Más Limpia de Colombia realizó una alianza técnico – económica con la Iniciativa de Metano a Mercados (M2M por sus siglas en inglés) auspiciada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). M2M se enfoca en, en la recuperación de metano y su uso como fuente de energía limpia, costo-efectiva. Esta iniciativa se da con la cooperación internacional de países desarrollados y en desarrollo, y países con economías en transición, junto con una fuerte participación del sector privado.

La digestión anaeróbica (DA) es una de las tecnologías más utilizadas en el sector agrícola, la cual permite la reducción de las emisiones de gas efecto invernadero a través de la captura y el uso del biogás como una fuente de energía limpia y renovable. Además, permite obtener una mejor calidad de aire y agua, controlar los olores, y mejorar el control de nutrientes,

A nivel mundial, el manejo del estiércol de ganado genera unas emisiones de metano equivalentes a 230 millones de toneladas métricas de CO₂ (MTMCO₂ E). El ganado porcino contribuye con aproximadamente el 40 % de las emisiones, seguido del ganado de leche y carne con una participación de 20% cada uno. En la Figura 1 se muestran los países que tienen una mayor contribución en las emisiones provenientes del manejo del estiércol.

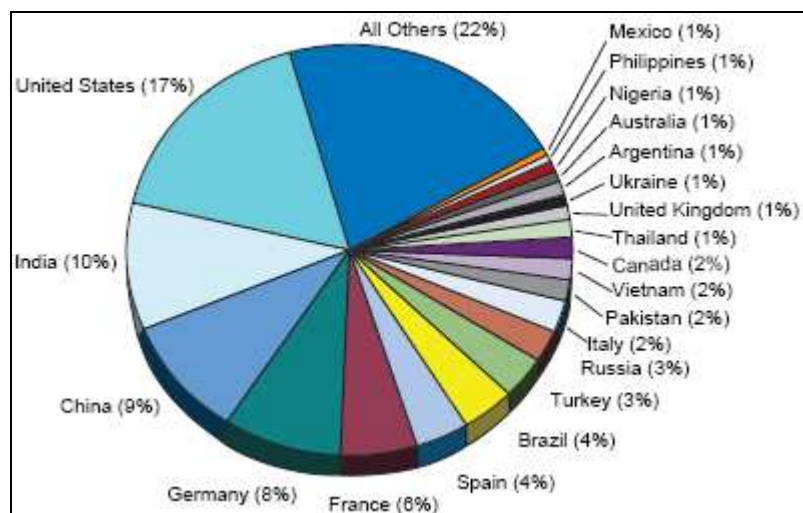


Figura 1: Emisiones globales de metano por manejo de estiércol, 2005. (234,57 MTMCO₂E)
Fuente: Methane to Markets, Background Information

Basados en el reporte de la EPA “*Global Anthropogenic Emissions of Non-CO₂ Greenhouse Gases, 2005*”, las estimaciones de las emisiones antropogénicas de metano en Colombia equivalen a 62,35 MTMCO₂E, ubicando al país en el puesto número 21 a nivel mundial. Aproximadamente el 24% de estas emisiones — 14,7 MTMCO₂E — son provenientes de la agricultura (manejo de estiércol), minas de carbón, rellenos sanitarios y sistemas que funcionan con gas natural y petróleo. En la Figura 2 se muestran las emisiones en de GEI en Colombia por sectores.

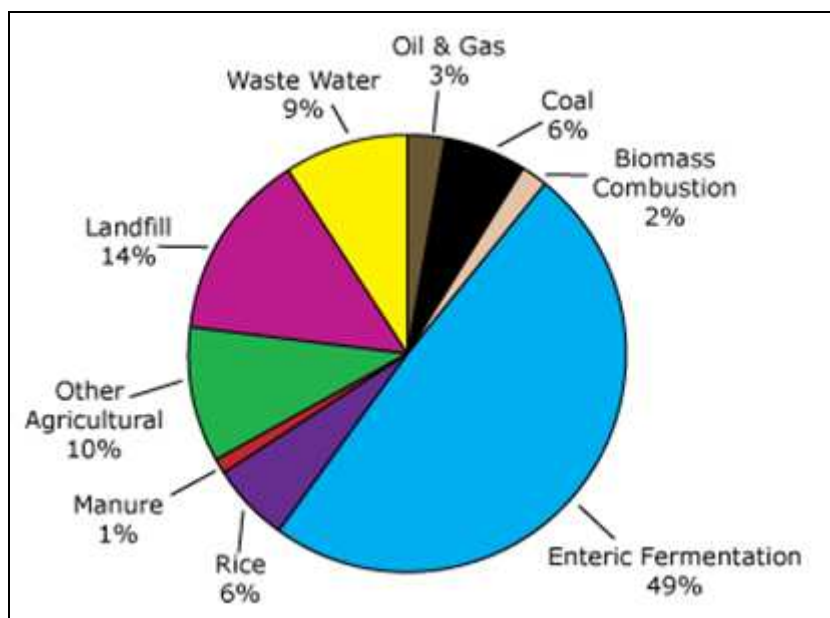


Figura 2: Estimación de emisiones antropogénicas de metano por sectores en Colombia, 2005. (62,35 MTMCO₂E). Fuente: Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020 <http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/international>

En Colombia se conocen tecnologías de DA desde hace varios años, cuando se introdujeron sistemas en fincas, copiando inicialmente los modelos chinos (cúpula fija, presión variable) e indios (campana flotante, presión estable). Adicionalmente, firmas de ingeniería sanitaria en Colombia han montado varias plantas UASB, filtros anaerobios de flujo ascendente y lagunas de estabilización anaerobia el sector agroindustrial, con resultados exitosos. Sin embargo, todavía el sector pecuario y agroindustrial es reacio a la introducción de este tipo de tratamientos.

Este documento analiza los sectores pecuarios y agro-industriales con el fin de:

- Identificar y caracterizar el potencial de reducción de emisiones de metano;
- Desarrollar oportunidades de mercado en Colombia;
- Proporcionar la ubicación de los recursos;
- Proporcionar un ranking de recursos y su priorización.

2. ANTECEDENTES Y CRITERIOS DE SELECCIÓN

La metodología utilizada para el desarrollo de este estudio se basa en la construcción de perfiles generales de los sectores pecuarios y agroindustriales, empezando por una lista de operaciones y distribución por tamaño y posición geográfica para cada uno. Para los diferentes grupos de productos en el sector pecuario, la medida apropiada para delinear la distribución por tamaño es la población permanente promedio anual, p. ej. Número de vacas lecheras, ganado vacuno, cerdos, *etc.* Para los diferentes grupos de productos en el sector agroindustrial, es la masa o volumen de capacidad de procesamiento anual o la masa o volumen del producto procesado anualmente. Con la construcción de estos perfiles es posible determinar la composición de los sectores y la relativa importancia de estos.

Con esta información, nos enfocamos inicialmente en aquellos sectores con el mayor potencial de reducción de emisión de metano a partir de sus prácticas de manejo de residuos y enfocarse inicialmente en aquellos grupos de productos con emisiones más altas para utilizar de forma efectiva los recursos disponibles. Idealmente, estos perfiles de sectores pueden desarrollarse a partir de información estadística publicada por una agencia gubernamental. Si dicha información no está disponible o es inadecuada, se debe utilizar una segunda fuente confiable como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

El siguiente paso es caracterizar las prácticas de manejo de residuos utilizadas por las mayores operaciones en cada sector. Típicamente, sólo un pequeño porcentaje del número total de operaciones en cada sector será el responsable de la mayoría de la producción y por lo tanto, de las emisiones de metano. Adicionalmente, las prácticas de manejo de residuos empleadas por los mayores productores en cada sector son relativamente uniformes. Este proceso debe ser apoyado a través de la identificación y contacto directo de operaciones individuales, asociaciones de productores, o consultores locales o de negocios para obtener o validar esta información.

Una vez que se tiene la información acerca de prácticas de manejo de residuos, se realiza una evaluación respecto a las magnitudes de emisiones de metano actuales para identificar aquellos sectores que deben recibir inicialmente análisis adicional. Por ejemplo, grandes operaciones en el sector pecuario, tal como carne o lácteos, que se basan principalmente en un sistema de producción de pastoreo en donde el estiércol se distribuye continuamente por parte de los animales pastando, sólo tendrá emisiones nominales de metano porque la descomposición del estiércol se dará principalmente por actividad microbiana aeróbica. De forma similar, un sector de procesamiento de productos agrícolas con grandes operaciones que utilicen descarga directa de aguas residuales sin tratar a un río, lago u océano, no será una fuente de emisiones importantes de metano.

Este enfoque está diseñado para que sea un proceso iterativo. Después de completar las evaluaciones de los principales productores en cada sector, se debe seguir con las evaluaciones del segundo nivel y si es posible, de los niveles más bajos en la medida de lo posible. Si todos los productores en un grupo de productos usan las mismas prácticas de manejo de residuos, es posible llevar a cabo una única evaluación para el grupo entero.

En la siguiente sección se describen los métodos generalmente aceptados para calcular emisiones de metano a partir de estiércol de ganado y residuos de procesamiento de productos agrícolas.

2.1 Métodos de cálculo de la línea base en los sectores pecuarios y agroindustriales

2.1.1 Emisiones relacionadas con estiércol

Deben utilizarse las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero para estimar emisiones de metano de cada grupo de productos en el sector pecuario. Utilizando el siguiente método se pueden estimar las emisiones para cada grupo de productos ganaderos (M) y la combinación de sistema existente de manejo de estiércol (S) y clima (k), como sigue:

$$CH_{4(M)} = (VS_{(M)} \times H_{(M)} \times 365 \text{ días/año}) \times [B_{o(M)} \times 0.67 \text{ kg } CH_4/m^3 \text{ } CH_4 \times MCF_{S,k}] \quad (1)$$

Donde: $CH_{4(M)}$ = emisiones estimadas de metano del estiércol para la categoría M de ganado, kg CH_4 por año

$VS_{(M)}$ = tasa de excreción promedio de sólidos volátiles por día para categoría M de ganado, kg sólidos volátiles por animal-día

$H_{(M)}$ = número promedio de animales en categoría M de ganado

$B_{o(M)}$ = capacidad máxima de producción de metano para estiércol producido por ganado categoría M, $m^3 CH_4$ por kg sólidos volátiles excretados

$MCF_{(S,k)}$ = factor de conversión de metano para sistema de manejo de estiércol S para clima k, decimal

Como se muestra, la Ecuación 1, se requiere un estimado de la tasa de excreción promedio de sólidos volátiles por día para la categoría de ganado bajo consideración. Los valores predeterminados para vacas lecheras, porcinos de cría, y porcinos de carne están listados en la Tabla 1. Los valores predeterminados para otros tipos de ganados pueden encontrarse en la Tablas 10A-4 a 10A-9 en las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero.

Tabla 1: Valores predeterminados de tasas de excreción de sólidos volátiles para vacas lecheras, porcinos de cría, y porcinos de carne, kg/cabeza-día. IPCC 2006

Región	Vacas Lecheras	Porcinos de Cría	Porcinos de Carne
Norte América	5.4	0.5	0.27
Europa Occidental	5.1	0.46	0.3
Europa Oriental	4.5	0.5	0.3
Oceanía	3.5	0.5	0.28
América Latina	2.9	0.3	0.3
Oriente Medio	1.9	0.3	0.3
Asia	2.8	0.3	0.3
Subcontinente Indio	2.6	0.3	0.3

Para estimaciones más reales de emisiones de metano usando la ecuación 1, se requiere la identificación del Factor de emisión de metano (MCF) apropiado, el cual es una función del actual sistema de manejo de estiércol y el clima. Los MCFs para diferentes tipos de sistemas de manejo de estiércol con temperaturas ambiente promedio anuales que varían de ≤ 10 a ≥ 28 °C se resumen a continuación y pueden encontrar se en la Tabla 10.17 de las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero.

Tabla 2: Factores predeterminados de emisión de metano para diferentes sistemas de manejo de estiércol. IPCC 2006

Clima	Factor Predeterminado de Emisión de Metano de Sistema de Manejo de Estiércol, %								
	Lagunas	Tanques y lagos Almacenamiento	Almacena miento sólido	Lotes secos	Pozo < 1 mes	Pozo > 1 mes	Dispersión diaria	Digestión anaeróbica	Pastoreo
Frío	66-73	17-25	2	1	3	17-25	0.1	0-100	1
Templado	74-79	27-65	4	1.5	3	27-65	0.5	0-100	1.5
Cálido	79-80	71-80	6	5	30	71-80	1	0-100	2

Finalmente, el uso de la Ecuación 1 requiere la especificación del potencial de producción de metano (B_0) para el tipo de estiércol bajo consideración. Los valores predeterminados se encuentran en las Tablas 10A-4 a 10A-9 de las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Los valores predeterminados para vacas lecheras, porcinos de cría, y porcinos de carne se listan en la siguiente tabla (Tabla 3).

Tabla 3: Valores predeterminados de potencial de producción de metano para vacas lecheras, cerdos de cría y cerdos de carne, $m^3 CH_4/kg VS$. IPCC 2006.

Región	Vacas Lecheras	Porcinos de Cría	Porcinos de Carne
Norte América	0.24	0.48	0.48
Europa Occidental	0.24	0.45	0.45
Europa Oriental	0.24	0.45	0.45
Oceanía	0.24	0.45	0.45
América Latina	0.13	0.29	0.29
Oriente Medio	0.13	0.29	0.29
Asia	0.13	0.29	0.29
Subcontinente Indio	0.13	0.29	0.29

2.1.2 Emisiones relacionadas con residuos de procesamiento de productos agrícolas

El procesamiento de productos agrícolas puede generar dos fuentes de emisiones de metano, aguas residuales y residuos orgánicos sólidos. Estos últimos pueden incluir materia prima no procesada o descartada después del procesamiento debido al deterioro, baja calidad, etc. Un ejemplo es la combinación de aguas residuales y sólidos removidos por cribado antes del tratamiento de aguas residuales. Estos residuos orgánicos sólidos pueden tener un contenido de humedad relativamente alto y se refieren comúnmente como residuos húmedos. Los métodos para estimar emisiones de metano para las aguas residuales se presentan a continuación.

a. Aguas Residuales

Para estimar las reducciones brutas en emisiones de metano para aguas residuales de procesamiento de productos agrícolas, tales como aguas residuales de procesamiento de carne y aves, se deben utilizar las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. El método Nivel 2 (Sección 6.2.3.1) que utiliza datos de demanda química de oxígeno (DQO) y de flujo de aguas residuales es una alternativa aceptable. Las emisiones brutas de metano se estiman para cada categoría de residuo (W) y la combinación del anterior sistema de tratamiento y vía de descarga (S) como sigue:

$$CH_{4(W)} = [(TOW_{(W)} - S_{(W)}) \times EF_{(W,S)}] - R_{(W)} \quad (2)$$

Donde: $CH_{4(W)}$ = emisiones anuales de metano de residuo de procesamiento de productos agrícolas W, kg CH₄ por año

$TOW_{(W)}$ = masa anual de residuo W DQO generado, kg por año

$S_{(W)}$ = masa anual de residuo W DQO removido como sólidos sedimentados (lodos), kg por año

$EF_{(W,S)}$ = factor de emisión para residuo W y sistema de tratamiento existente y vía de descarga S, kg CH₄ por kg DQO

$R_{(W)}$ = masa de CH₄ recuperada, kg por año

Como se indicó anteriormente, la tasa de emisión de metano en la Ecuación 2 es una función del tipo de residuo, el sistema de tratamiento existente y vía de descarga. Se calcula como sigue:

$$EF_{(W,S)} = B_{o(W)} \times MCF_{(S)} \quad (3)$$

Donde: $B_{o(W)}$ = máxima capacidad de producción de CH₄, kg CH₄ por kg DQO

$MCF_{(S)}$ = Factor de conversión de metano para el sistema existente de tratamiento y vía de descarga

Si no están disponibles los valores específicos del país y sector de residuos para B_o , se debe utilizar el valor predeterminado de las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, de 0.25 kg CH₄ por kg DQO, la cual está basado en la estequiometría. En ausencia de información más específica, también debe utilizarse el valor predeterminado apropiado de MCF, seleccionado de la Tabla 4.

Tabla 4: Valores predeterminados MCF para aguas residuales industriales

Sistema existente de tratamiento y vía de descarga	Comentarios	MCF ¹	Rango
Sin Tratar			
Descarga en mar, río o lago	Ríos con altas cargas orgánicas pueden volverse anaeróbicos, lo cual no se considera aquí	0.1	0—0.2
Tratada			
Planta de tratamiento aeróbico	Bien manejada	0	0—0.1
Planta de tratamiento aeróbico	No bien manejada o sobrecargada	0.3	0.2—0.4
Reactor anaeróbico (UASB, membrana fija)	Sin captura de metano y combustión	0.8	0.8—1.0
Laguna anaeróbica de poca profundidad	Menos de 2 metros de profundidad	0.2	0—0.3
Laguna anaeróbica profunda	Más de 2 metros de profundidad	0.8	0.8—1.0

¹Basado en dictámenes de expertos del IPCC

Si la masa anual de DQO generada por año (TOW) no se conoce y la recolección de los datos necesarios no es posible, la opción que queda es el cálculo usando la siguiente ecuación (Ecuación 4) con datos de tasa de generación de aguas residuales y concentración de DQO específicos al país obtenidos de la literatura. En ausencia de datos específicos al país, se pueden utilizar los valores listados en la Tabla 5 como valores predeterminados para obtener estimados de primer orden de emisiones de metano.

$$TOW_{(w)} = P_{(w)} \times W_{(w)} \times COD_{(w)} \quad (4)$$

Donde: $P_{(w)}$ = tasa de producción de producto, toneladas métricas por año
 $W_{(w)}$ = tasa de generación de aguas residuales, m³ por ton métrica de producto
 $COD_{(w)}$ = concentración DQO de aguas residuales, kg por m³

Tabla 5: Ejemplos de datos de aguas residuales industriales, Doorn *et al.* (1997)

Industria	Tasa Típica de Generación de Aguas Residuales, m ³ /ton métrica	Rango de Tasas de Generación de Aguas Residuales, m ³ /ton métrica	Típica Concentración DQO, kg/m ³	Rango de Concentraciones de DQO, kg/m ³
Alcohol	24	16—32	11	5—22
Cerveza	6.3	5.0—9.0	2.9	2—7
Café	NA	NA	9	3—15
Productos lácteos	7	3—10	2.7	1.5—5.2
Procesamiento de pescado	NA	8—18	2.5	—
Procesamiento de carne & aves	13	8—18	4.1	2—7
Producción de almidón	9	4—18	10	1.5—42
Refinación de azúcar	NA	4—18	3.2	1—6
Aceites vegetales	3.1	1.0—5.0	NA	0.5—1.2
Vegetales, frutas, y jugos	20	7—35	5.0	2—10
Vino & vinagre	23	11—46	1.5	0.7—3.0

2.2 Descripción de los criterios de selección para determinar sectores potenciales

Los criterios específicos utilizados para determinar el potencial de reducción de metano y la factibilidad de sistemas de DA son los siguientes:

- Tamaño del sector/subsector. El sector/subsector es uno de los sectores pecuarios o agro-industriales más importantes del país.
- Volumen de residuos. El sector/subsector genera alto volumen de residuos que van a lagunas o tanques anaeróbicos.
- Contenido orgánico. Las aguas residuales generadas tienen un alto contenido orgánico medido como BOD₅ o COD.
- Distribución geográfica. Los sectores/subsectores se encuentran concentrados en áreas geográficas específicas, lo que facilita el desarrollo de proyectos centralizados o programas regionales.
- Consumo energético. Los sectores/subsectores son altos consumidores de energía y pueden utilizar el metano generado recuperado.

Los sectores en Colombia que cumplen con todos o la mayoría de los criterios arriba mencionados son el sacrificio de ganado porcino y bovino, el sacrificio de aves, las destilerías y las extractoras de aceite de palma. El sector de banano también fue identificado como un sector con potenciales emisiones de metano, particularmente de las

operaciones de compostaje, pero la información recopilada no fue suficiente para hacer una caracterización del sistema de manejo de los efluentes y los volúmenes de aguas residuales, por lo que no fue incluido como parte del documento principal; en el Apéndice A2 se presenta la información recopilada de este sector.

2.3 Ejemplos de proyectos de reducción de emisiones de metano en Colombia

En Colombia la digestión anaerobia de los residuos orgánicos no ha sido una práctica muy común y en general las empresas que tienen sistemas anaerobios para el tratamiento de los residuos no hacen un aprovechamiento del biogás generado por lo que este es emitido a la atmosfera.

Han sido muchas las iniciativas de diferentes organismos por implementar sistemas que permitan una reducción de emisiones, los digestores tipo chorizo y de campana fueron impulsados en las granjas porcícolas encontrándose en la actualidad algunas granjas que aun los conservan. Las empresas extractoras de aceite de palma manejan sus aguas residuales mediante lagunas de oxidación y han empezado a implementar el cubrimiento de sus lagunas para la captura y aprovechamiento del metano. Adicionalmente se encuentran experiencias aisladas de tanques de digestión anaeróbica con captura y aprovechamiento. Otras experiencias que se pueden mencionar son las ejecutadas por el Centro Nacional de Producción Más Limpia y el Centro agropecuario la Salada del SENA quienes han implementado un biodigestor piloto para la estimación de factores de emisión de metano de acuerdo con las condiciones de la región. Principalmente trabajaron con residuos de plaza de mercado, contenido ruminal y suero de leche.

A continuación se muestran algunos ejemplos de los proyectos mencionados.

2.3.1 Planta piloto de co-fermentación anaeróbica

El proyecto consistió en realizar el análisis de 3 sustratos de interés en la región. Fueron utilizados residuos de plaza de mercado de la Central Mayorista de Antioquía, contenido ruminal de la Central Ganadera de Antioquía y suero de leche de la empresa Lácteos el Zarzal. Se utilizó un tanque de 1m³ en fibra de vidrio como digestor anaeróbico y el almacenamiento del biogás se hizo en un reservorio de polietileno.

Actualmente este biodigestor se utiliza para enseñar esta tecnología a los estudiantes de administración agropecuaria con el fin de promover su aplicación en su quehacer profesional. El biogás generado es utilizado para mantener la temperatura del biodigestor. En la Figura 3 se muestra el tanque de digestión anaeróbica instalado para los ensayos. El biogás generado es almacenado en un reservorio dispuesto para tal fin.



Figura 3: Tanque de digestión anaeróbica y reservorio de biogás

El biólodo que se obtiene al final del proceso de DA es dispuesto como fertilizante en un terreno aledaño. En la Figura 4 se puede observar la diferencia en el crecimiento de pasto en el mismo terreno antes (fotografía izquierda) y después de aplicarle este biofertilizante.

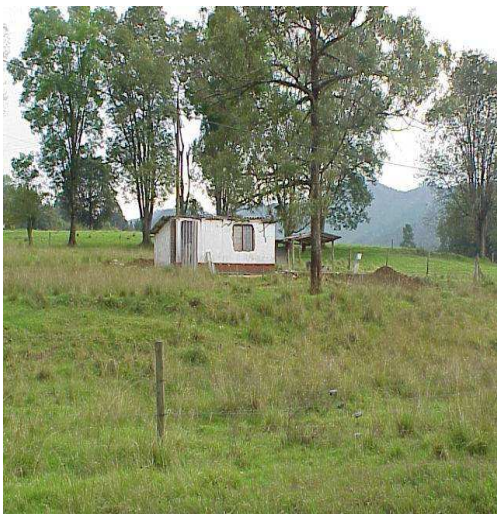


Figura 4: Comparación de las propiedades del biólodo usado como fertilizante

2.3.2 Captura de metano en una extractora de aceite de palma

PALMAR SANTA ELENA es una extractora de aceite mediana para Colombia, que procesa aproximadamente 100 toneladas de fruta por día en jornadas de 8 horas. Esta empresa en compañía de BIOTEC implementó un sistema de biodigestores para el tratamiento de los efluentes de la extracción del aceite de palma. Con esto aprovecharon del efluente tratado (bioabono) para la ferti-irrigación del cultivo de palma, y el biogás para generar la electricidad de la fábrica en una planta eléctrica DUAL-FUEL.

Diariamente se generan 800m³ de biogás con una composición de 65 % metano, 34 % CO₂, 0.14 % H₂S.



Figura 5: Biodigestores Palmar Santa Helena

La planta de tratamiento consta de las siguientes unidades

1. Tanque de bombeo de 9 m³ (caudal aproximado 2.5 L/s)
2. Tanques de 40 m³ (para la recuperación del aceite residual por flotación)
3. Tanque de enfriamiento de los lodos (efluentes) de 80 m³. Permiten reducir la temperatura de 70 a 50 °C
4. Tanque de carga de 40 m³ para los DA. Permite reducir la temperatura de 50 a 40 grados y realizar la mezcla con el recirculado (bioabono) en proporciones 1: 0.25. Sirve también de tanque “pulmón”. Se bombea 1.2 L/s a cada reactor.
5. Dos digestores en concreto de 250 m³ de volumen útil c/u.
6. Un decantador de 35 m³ cuya función es recuperar el lodo anaerobio arrastrado con el efluente tratado, para evitar el taponamiento del sistema de riego.
7. Un tanque de almacenamiento del efluente tratado (bioabono) de 120 m³.
8. Un sistema de riego por micro-aspersión sobre 20 hectáreas de palma para aprovechar el bioabono
9. Un circuito de biogás compuesto por: Un sistema biológico de depuración del H₂S, un sistema químico de depuración del H₂S (filtros de óxido de hierro) y una adaptación del motor diesel de la planta eléctrica (350 HP) para trabajar con sistema DUAL (ACPM + biogás al mismo tiempo)
10. Una tea para quemar los excesos del biogás

2.3.3 Aprovechamiento de biogás en una granja porcícola

Una de las empresas de producción de cerdos de Antioquia, posee digestores tipo chorizo en 19 de sus granjas para el tratamiento de aproximadamente 30% de sus efluentes líquidos, los cuales tienen cargas promedio de 9000mg/L de DQO. El biogás generado es utilizado para calentamiento de los lechones mediante lámparas de biogás y para uso doméstico, adicionalmente utilizan lámparas eléctricas.

A continuación se muestra los biodigestores en paralelo de una granja de 500 vientres y otra de 200. La temperatura promedio de la zona es de 12°C. Desafortunadamente en el lugar no cuentan con contadores de gas para registro de la producción del mismo.



Figura 6: Biodigestores (Polipropileno) en paralelo y lámpara de biogás



Figura 7: Biodigestor tipo chorizo (Polietileno de alta densidad)

3. CARACTERIZACIÓN DE LOS SECTORES Y SUBSECTORES

3.1 Subsectores agropecuarios en Colombia

El sector agropecuario, silvicultura, caza y pesca colombiano tuvo una participación del 11,4%¹ del PIB Nacional en el año 2007, el sector es tal vez uno de los renglones de la economía menos estandarizados en el país. Los estudios existentes trabajan con niveles de agregación muy altos que no permiten apreciar las diferencias cuantitativas y cualitativas de las mismas, algunos sub-sectores poseen registros más actualizados que otros, por lo que se hace difícil consolidar la información. No obstante se analizaron los siguientes sub-sectores.

Tabla 6: Sectores Agropecuarios y Agroindustriales Colombianos

Pecuario:	Acuicultura:
Ganado Bovino	Piscicultura
Porcicultura	Atún
Ovinos y caprinos	Camarón de Cultivo
Aves de corral	Camarón de Pesca
Agricultura:	Agroindustria:
Algodón	Alimentos Balanceados para Animales
Abejas y apicultura	Ingenios de Azúcar
Arroz	Chocolates
Banano	Lácteos y sus derivados
Cacao	Molinería de Arroz
Café	Panela
Caucho	Procesadora de Frutas y Hortalizas
Cereales	Procesadora de Papa, Plátano y Yuca
Cítricos	Tabaco
Fique	Sacrificio Bovino
Oleaginosas	Sacrificio porcino
Papa	Sacrificio de aves de corral
Plátano	Silvicultura

Los principales sectores en Colombia con potencial de reducción de emisiones metano, de acuerdo con los criterios mencionados en el numeral 2.2 son: oleaginosas, ingenios azucareros, sacrificio de porcinos y bovinos y sacrificios de aves de corral, en la **Tabla 7** se indica el tamaño y ubicación geográfica de dichos sectores.

Tabla 7: Resumen de sectores con potencial de reducción de emisiones

Subsector	Tamaño (producción/año)	Ubicación geográfica
Oleaginosas	734. 968 Toneladas de aceite de palma en 2007	Santander, Nariño, Meta, Casanare
Destilerías de Ingenios azucareros	1'050.000 Litros de alcohol en 2008.	Valle del Cauca y Risaralda.
Sacrificio porcino y bovino	3'948.606 cabezas en 2007	Antioquía, Cundinamarca, Córdoba.
Sacrificio de aves de corral	850.00 toneladas de carne de pollo en 2006	Antioquia, Santander, Cundinamarca, Valle.
Porcicultura	5'257.638 cabezas de ganado porcino en 2007	Antioquia, Quindío, Risaralda, Valle del cauca, Bogotá,

¹ Elaborado por AGRONET con base en estadísticas del DANE

Adicionalmente fueron identificados los sectores con potencial de generación de metano, en la **Tabla 8** se muestra un resumen de dichos sectores. Para información más detallada ver anexo A2.

Tabla 8: Resumen de sectores con potencial de generación de metano

Subsector	Tamaño (producción/año)	Ubicación geográfica
Subsector banano	1'399. 623 Toneladas de banano	Antioquia, Magdalena.
Centrales de abasto	5.000.000 toneladas de alimentos que ingresan	Cundinamarca, Antioquia, Atlántico, Valle.

Para una descripción detallada de los sectores que no fueron seleccionados ver el anexo A3. Allí podrá encontrarse el tipo de desechos generados por estos sectores y el manejo actual de los mismos, así como la explicación para no incluirlos como sectores con potencial de reducción de emisiones.

La DA en Colombia esta favorecida por la temperatura existente en las diferentes regiones donde se concentra la actividad agropecuaria del país. La temperatura es un factor importante que favorece este tipo de procesos y se tuvo en cuenta como criterio adicional de selección de sectores con potencial de reducción de emisiones. En la Figura 8 y la Tabla 9 se muestra la distribución de temperaturas en Colombia, así como los rangos de precipitación anuales.

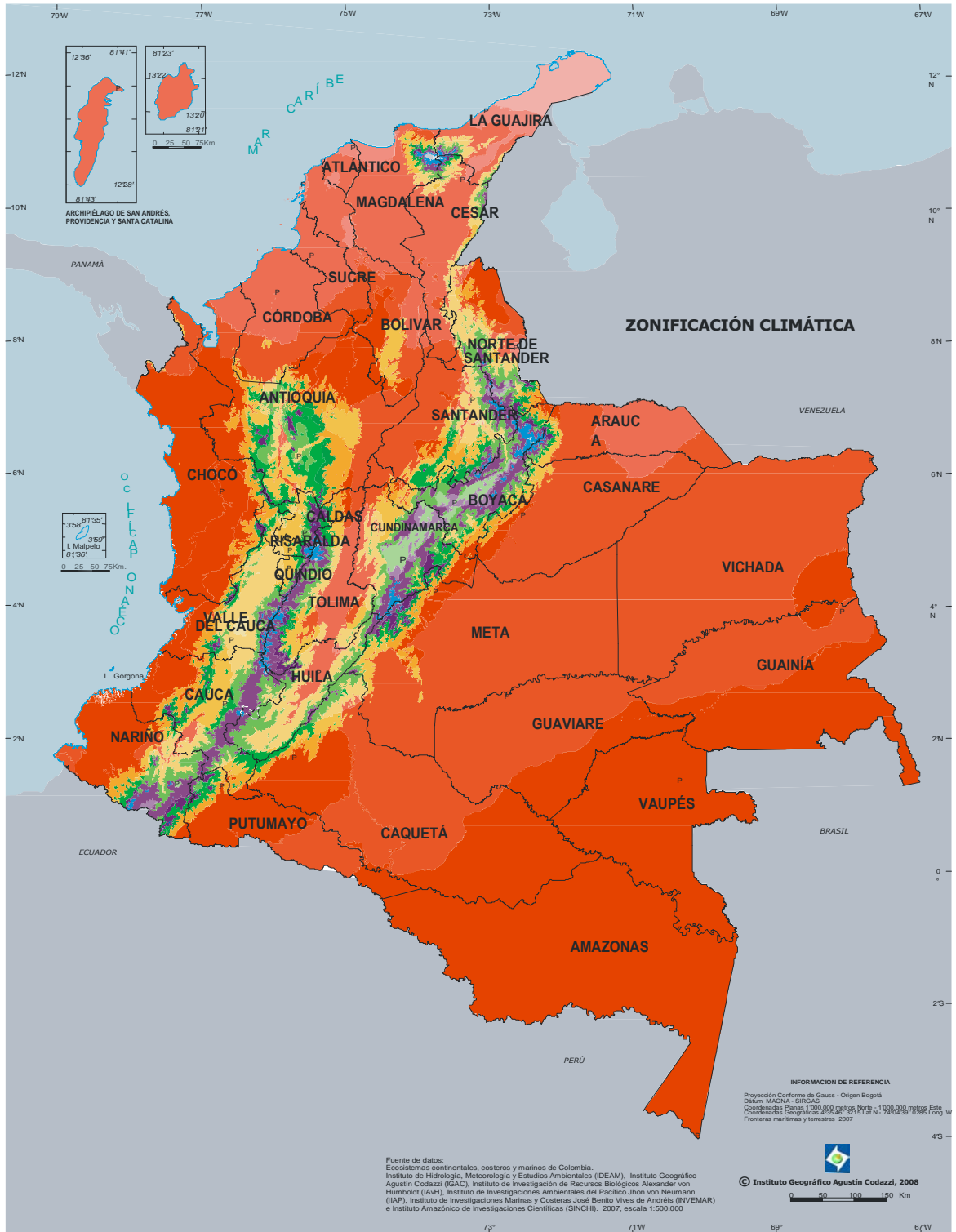



























Figura 8: Mapa de zonificación climática Colombia (Instituto Geográfico Agustín Codazzi 2008)

Tabla 9: Distribución de temperaturas en Colombia.

Piso Térmico (msnm)	Clima	Temp °C	Sub clima	Precipitación (mm/año)
0-800	Cálido	> 24	Árido	0-500 
			Muy seco	501-1000 
			Seco	1001-2000 
			Húmedo	2001-3000 
			Muy Húmedo	3001-7000 
			Pluvial	>7000 
800-1800	Templado	Entre 18-24	Muy seco	501-1000 
			Seco	1001-2000 
			Húmedo	2001-3000 
			Muy Húmedo	3001-7000 
			Pluvial	>7000 
1800-2800	Frio	Entre 12-18	Muy seco	501-1000 
			Seco	1001-2000 
			Húmedo	2001-3000 
			Muy Húmedo	3001-7000 
2800-3700	Muy Frio	Entre 6-12	Muy seco	501-1000 
			Seco	1001-2000 
			Húmedo	2001-3000 
			Muy Húmedo	3001-7000 
3700-4500	Frio Extremo	Entre 1,5-6	Muy seco	501-1000 
			Seco	1001-2000 
			Húmedo	2001-3000 
			Muy Húmedo	3001-7000 
> 4500	Nival	< 6	Muy seco	501-1000 
			Seco	1001-2000 

Fuente: Instituto Geografico Agustin Cosaxi, 2008.

3.2 Subsectores con potencial de reducción de emisiones

3.2.1 Sacrificio porcino y bovino

a. Información del sector

La producción de carnes en Colombia participa con el 0,5% del PIB total y el 3,7% del PIB agropecuario. Según el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas), durante el año 2008 el sacrificio bovino en el país fue de 2.525.481 reses y el porcino de 1.423.125. En Colombia existen alrededor de 1300 establecimientos de sacrificio bovino y porcino. Estos están clasificados de acuerdo a la capacidad de sacrificio diario, tal como se indica en la siguiente tabla. Adicionalmente se muestra la distribución de plantas de sacrificio en Colombia de acuerdo con esta clasificación.

Tabla 10: Clasificación según capacidad de sacrificio.

Clase	Res	Cerdo	Número	% participación
Tipo I	>480	>400	31	2,3%
Tipo II	320 - 480	240 - 400		
Tipo III	160 - 320	120 - 240	248	18,6
Tipo IV	40 - 160	40 - 120		
Mínimo	10	10	1069	79,1%

Fuente: Observatorio agro cadenas 2007.

En general en Colombia hay 12 grandes frigoríficos que concentran la mayor producción del país, 4 de ellos concentran el 56% de las ventas del mercado nacional de carne.

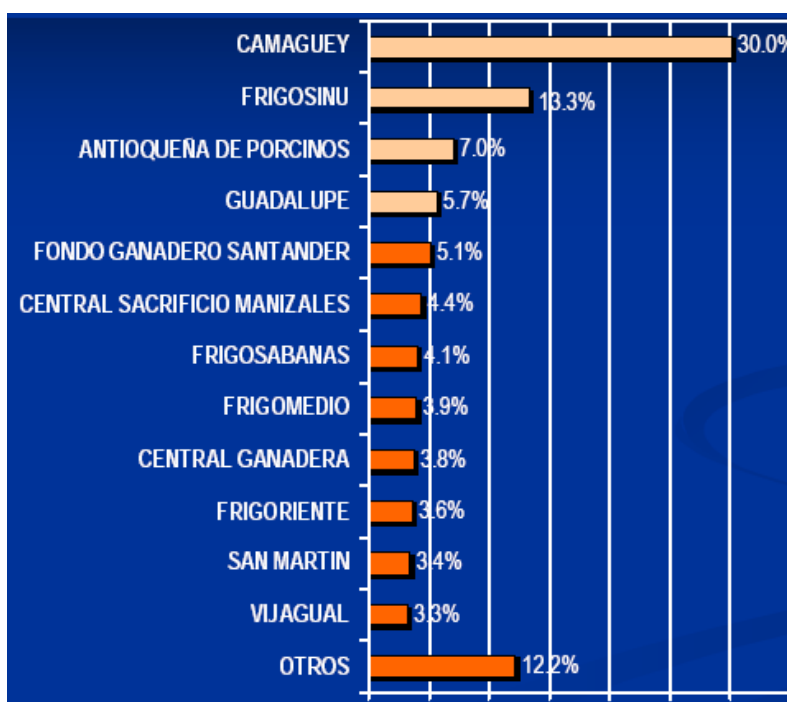


Figura 9: Principales plantas de sacrificios en Colombia.

Fuente: Observatorio Agrocadenas, 2007

Las plantas Clases I, II y III se encuentran cercanas a núcleos poblacionales grandes, concentradas en las áreas geográficas de la Costa Atlántica y Centro Occidente del país (Departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Valle y Antioquia). A continuación se muestra un mapa con la distribución geográfica de las plantas de sacrificio.

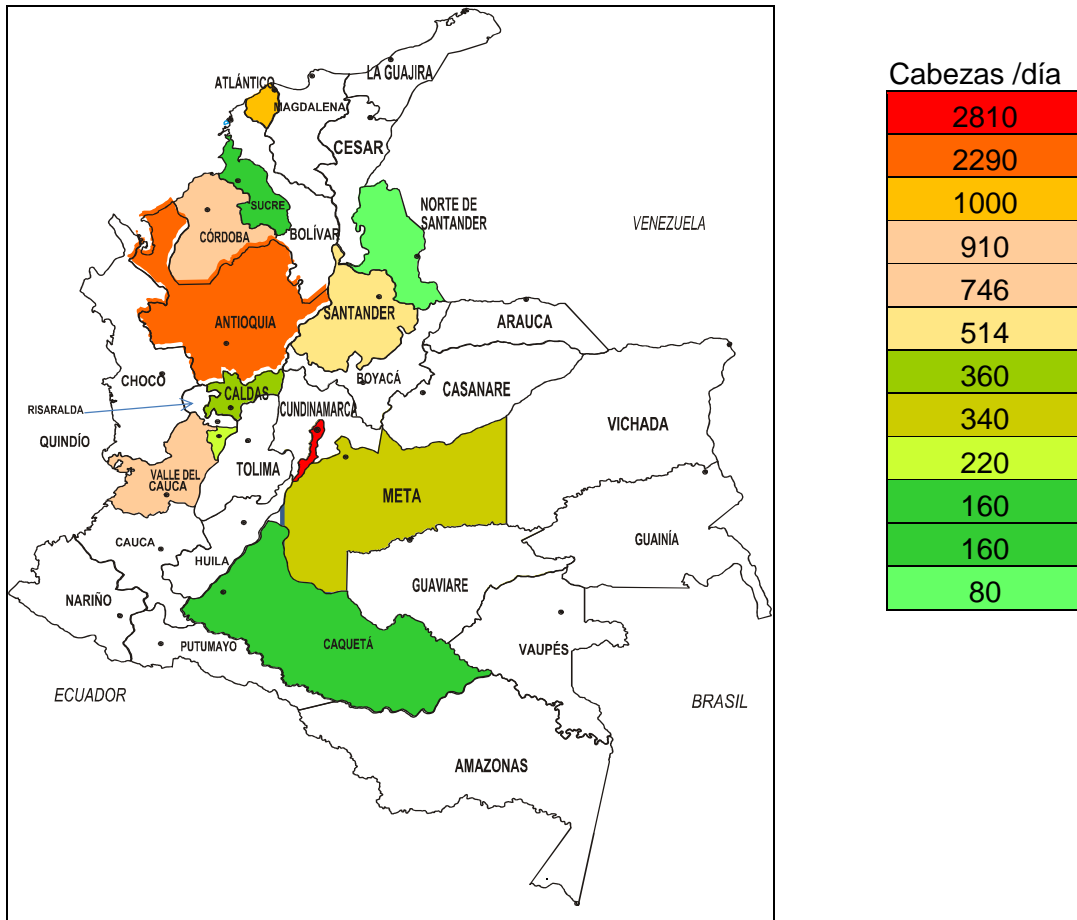


Figura 10: Departamentos con el mayor sacrificio/día porcino y bovino en Colombia.

b. Manejo, disposición y composición de los residuos

Luego de visitar algunas de las empresas de sacrificio de ganado más grandes de Colombia, se identificó que el agua residual del lavado de canales, pisos, superficies y establos de espera, es tratada principalmente mediante lagunas de oxidación, reactores UASB (Up Flow Sludge Blanked) y sistemas FAFA (Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente). Adicionalmente los grandes beneficios cuentan con sistemas de procesamiento de sangre para producir harina, el contenido ruminal es utilizado como abono y algunas plantas cuentan con composteras para el tratamiento del estiércol generado en los establos.

En total fue posible obtener información de 17 plantas de sacrificio, todas clasificadas como tipo I, II y III de acuerdo con su capacidad productiva, las cuales abarcan más del 80% de la producción de carne nacional. De estas plantas, 7 cuentan con lagunas de oxidación (35% del sacrificio), 4 tienen reactores tipo UASB (13%) y 2 tienen tratamiento

FAFA (3%) y las 5 plantas restantes tratamientos primarios y fisicoquímicos. A continuación se presenta un cuadro resumen de las plantas y tipos de tratamiento.

Tabla 11: Plantas de sacrificio de ganado y sus sistemas de tratamiento

Departamento	MUNICIPIO	EMPRESA	Producción	Unidades	SISTEMA TTO AGUA RESIDUAL
Atlántico	Galapa	Camagüey	1.000	Reses/día	Lagunas Oxidación
Cordoba	Montería	Frigosinu	800	Reses/día	Laguna anaerobia Laguna Facultativa Laguna Maduración
Bogota	Bogotá	Frigorífico San Martín y Feria de Ganado	650 540	Reses/día Cerdos/día	Laguna
META	Villavicencio	Frigoriente FRIOGAN	280 60	Reses/día Cerdos/día	Laguna
CALDAS	La Dorada	Frigomedio FRIOGAN	200 160	Reses/día Cerdos/día	Laguna
Sucre	Corozal	Frigosabana FRIOGAN	160	Reses/día	Laguna
Córdoba	Montería	FRIGOCER	1005	Reses/día	Laguna anaerobia Lagunas Facultativas Laguna Maduración
Antioquia	Valparaíso	FRICOLSA FRIOGAN	130	Reses/día	UASB
Antioquia	Santa Rosa de Osos	Friego Colanta	150 200	Reses/día Cerdos/día	UASB
Caquetá	Florencia	COFEMA S.A	130 30	Reses/día Cerdos/día	UASB
Valle	Cali	Carnes y Derivados de Occidente	216 530	Reses/día Cerdos/día	UASB
Quindío	Calarca	Frigocafe	100 120	Reses/día Cerdos/día	Tratamiento primario, FAFA, compostaje sangre y estiércol.
Antioquia	Caucasia	Friego caucasia	120	Reses/día	2 FAFA
Antioquia	Medellín	Antioqueña de Porcinos	370	Cerdos/día	Tanque igualación, aireación, filtro percolador
Antioquia	Medellín	Central Ganadera	480 530	Reses/día Cerdos/día	Rejillas, trampas de grasas, alcantarillado
Santander	Bucaramanga	Vijagual	462 52	Reses/día Cerdos/día	Fisicoquímico
Norte de Santander	Cúcuta	Friego norte	80	Reses/día	Fisicoquímico
Bogota	Bogotá	EFEGE	920 700	Reses/día Cerdos/día	Tratamiento primario, sedimentación, floculación

De forma muy general, los efluentes de los beneficios de ganado se caracterizan por tener altas cargas orgánicas debidas principalmente a la presencia de sangre, grasa, estiércol y contenido ruminal.

Los residuos provenientes de estas plantas de sacrificio pueden ser clasificados principalmente en 4 tipos de acuerdo con la naturaleza de los contaminantes:

- Los provenientes de los corrales, rampas de descarga del ganado, pasillos de circulación del mismo y duchas antes del sacrificio. Estos están compuestos principalmente por orina y estiércol de los animales estabulados.

- Los que contienen sangre, procedentes principalmente del sacrificio y los lavados
- Los efluentes grasos, procedentes del sacrificio y también de otros sectores de producción tales como el desposte.

Finalmente, se encuentran los desechos sólidos, constituidos principalmente por patas, cascotes, huesos, pellejos, pieles y vísceras.

La mayoría de las salidas del proceso son reutilizables y cuentan con un valor económico para las empresas. La siguiente tabla muestra los rendimientos obtenidos de la matanza de res y cerdo.

Tabla 12: Clasificación de las salidas del proceso de sacrificio.

Salidas del proceso	Porcentaje del peso de la res	Porcentaje del peso del cerdo
Rendimiento cárnico	40	64
Material no comestible destinado a tratamiento (huesos, grasa, cabezas)	39	20
Piel	7	----
Sangre	3	10
Vísceras comercializables (hígado, corazón, lengua)	5	3
Varios (estiércol, perdidos de sangre)	6	3
Total	100	100

Fuente: Cleaner production assessment in meat processing. UNEP

La sangre es el desecho líquido de mayor impacto por su alto valor contaminante. Las concentraciones que aporta cada litro de sangre en términos de DBO son de 150.000 – 200.000 mg/L. El estiércol es la segunda fuente más importante de contaminación del proceso de sacrificio. Este puede contribuir sustancialmente a la carga orgánica si o es tratado adecuadamente.

Además de los altos valores de DBO, un elemento importante en los efluentes de un matadero es la alta presencia de nitrógeno, el cual afecta el desempeño de los sistemas de tratamiento elevando sus costos.

La composición del agua residual de los efluentes de una planta de sacrificio puede variar dependiendo de la eficiencia de sus operaciones. La Tabla 13 muestra los valores típicos por litro de agua del efluente de una planta de sacrificio.

Tabla 13: Composición del efluente de una planta de sacrificio.

PARÁMETRO	RES	CERDO
DBO (mg/L)	1250	2000
DQO (mg/L)	2500	4000
Sólidos suspendidos (mg/L)	700	1600
Nitrógeno total (mg/L)	150	180
Fosforo total (mg/L)	25	27
Grasas y aceites (mg/L)	150	270
pH	7,2	7,2

Fuente: Cleaner production assessment in meat processing. UNEP

3.2.2 Sacrificio Aves de Corral

a. Información del sector

La producción de pollo tiene una participación importante en el sector de carnes en el país. Según información del programa de estudios económicos de FENAVI (Federación Nacional de Avicultores de Colombia), durante el 2008 la producción total de pollo en Colombia fue de 1.010.659 toneladas. El pollo contribuye con un 45% de la producción total en toneladas de carne en el país. La carne de res se encuentra en el primer renglón de producción y en último lugar está el cerdo.

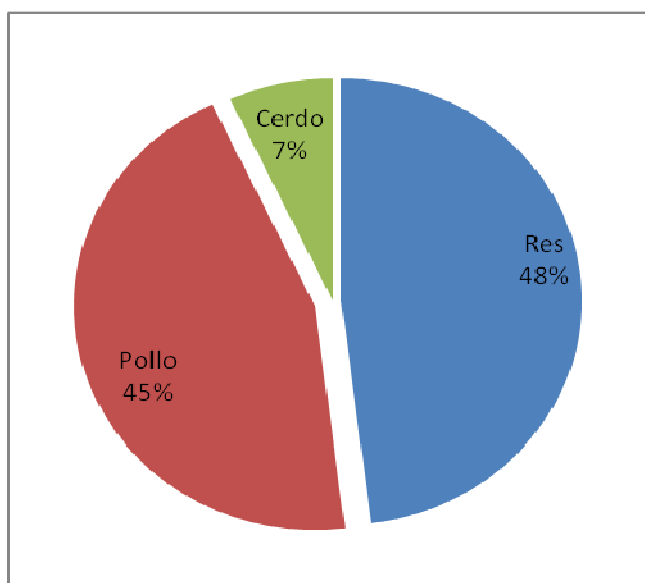


Figura 11: Participación del pollo en la producción total de carnes.

Fuente: Fenavi, ACP, Dane, cálculos observatorio agrocadenas

La mayoría de las granjas de reproducción-incubación, engorde, ponedoras y las plantas de beneficio existentes en el país, se encuentran en los departamentos de Cundinamarca y Santander, aunque las industrias con mayor productividad y volúmenes diarios se ubican en este último, con producciones diarias superiores a las 50.000 aves. En Cartagena, Medellín, Pereira, Cali y Bogotá hay empresas con producciones que van desde los 15.000 hasta los 35.000 pollos diarios.

Tabla 14: Distribución de granjas y plantas de beneficio de aves

Departamento	Granjas Reproductoras-Incubación	Granjas de engorde	Granjas de ponedoras	Plantas de beneficio
Cundinamarca	38,9%	31,9%	38,7%	29,0%
Santander	30,9%	26,8%	15,3%	12,9%
Valle del Cauca	16,7%	11,9%	15,4%	17,7%
Antioquia	0,6%	6,0%	7,8%	6,5%
Atlántico	2,5%	2,2%	1,7%	3,2%
Otros	10,4%	21,2%	21,1%	30,7%
Total general	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fuente: XII Congreso Nacional Avícola, agosto 2004.

Tomado de: "Reubicación de las Granjas Avícolas en un escenario de Libre Comercio"

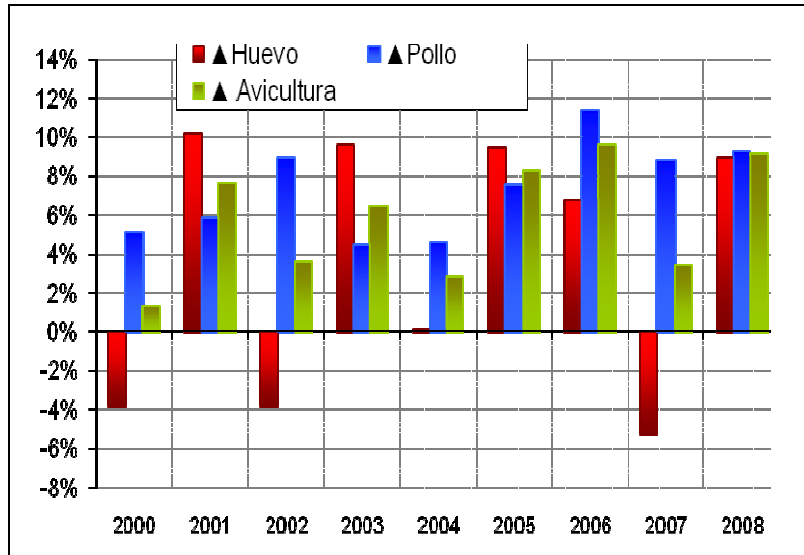


Figura 12: Variación de la producción avícola nacional

No obstante, la Cadena avícola en Colombia no se encuentra organizada en *clústers*, y por el contrario, cada etapa de la misma es independiente y se encuentran dispersas a lo largo y ancho de los departamentos. Según los avicultores, existen deseconomías de escala que restan capacidad competitiva a la industria.



Departamento	% Plantas
Cundinamarca	29%
Valle del cauca	18%
Santander	13%
Antioquia	6%
Quindío	5%
Otros departamentos	29%

Figura 13: Distribución por departamentos de plantas de sacrificio de aves en Colombia

El 70% de la producción de carne de pollo en el país está concentrada en 11 empresas, de las cuales 4 de ellas cobijan el 36% de las ventas totales, tan como se muestra en la figura 6.

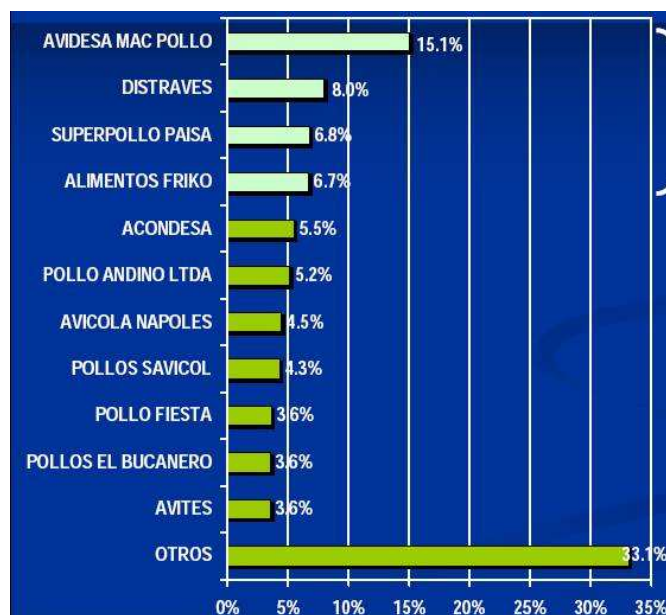


Figura 14: Principales plantas de sacrificio de pollo en Colombia

b. *Manejo, disposición y composición de los residuos*

El sacrificio de aves de corral como el sacrificio bovino y porcino, genera grandes cantidades de agua residual con altos contenidos de materia orgánica la cual es tratada comúnmente mediante reactores UASB y tratamientos aeróbicos de baja eficiencia.

En la Tabla 15 se muestran las principales plantas de sacrificio de aves en el país con sus respectivos sistemas de tratamiento.

Tabla 15: Plantas de sacrificio de aves y sus sistemas de tratamiento

DEPART	MUNICIPIO	EMPRESA	Producción /día	SISTEMA TTO
Antioquia	Caldas	ALIMENTOS FRIKO S.A.	60.000	UASB
Antioquia	Medellín	SUPERPOLLO PAISA S A	45.000	2 UASB
Antioquia	Copacabana	MAXIPOLLO	10000	Aerobio de baja eficiencia
Santander	Floridablanca	AVIDESA MAC POLLO S.A	72.000	UASB
Santander	Bucaramanga	DISTRIBUIDORA AVICOLA (DISTRAVES)	85.000	2 Lagunas
Bolívar	Cartagena	INDUPOLLO	ND	ND
Córdoba	Montería	AVICULTURA TECNICA S.A (AVITES)	25.000	Trampas de Grasas Tanque Sedimentador Anillos de contacto bacterias anaerobias 23 mts ancho baja eficiencia de remoción
Atlántico	Barranquilla	ALIMENTOS CONCENTRADOS DEL CARIBE	ND	ND
Bogotá D.C.	Bogotá D.C.	POLLOS SAVICOL S A	55.000	Trampas de Grasas Tanque Sedimentador, floculación
Bogotá D.C.	Bogotá D.C.	POLLO ANDINO LTDA	40.000	Trampas de Grasas Tanque Sedimentador, Floculación
Bogotá D.C.	Bogotá D.C.	POLLO FIESTA S.A	40.000	Tanque sedimentador, disposición lodos por terceros
Valle del Cauca	Candelaria	AVICOLA NAPOLES Y CIA S.C.	ND	ND
Valle del Cauca	Cali	POLLOS EL BUCANERO S.A.	55.000	11 trampas de grasa Laguna, Vol: 10.000 m3

Los residuos generados en el beneficio de aves principalmente están constituidos por sangre, vísceras comestibles y no comestibles, residuos sólidos como picos y uñas y agua de lavado con contenido de sangre y grasa.

Los efluentes líquidos presentan una carga orgánica alta, esta oscila entre 1500 – 3500 mg/L. El contenido de sólidos volátiles y grasas también es significativo y está asociado al tipo de tecnología y la eficiencia del beneficio.

3.2.3 Porcicultura

a. Información del sector

Según el censo de vacunación contra fiebre porcina realizado en 2007 que fue presentado por la Asociación Colombiana de Porcicultores, en Colombia hay una población total de 5'257.638, de los cuales 3'707.505 han sido vacunados. La producción de cerdo está dirigida a atender el consumo doméstico y existe un pequeño exceso de demanda que es suplido con importaciones. La participación regional en la producción de carne de cerdo la lidera Antioquia con el 35%, seguida por el Distrito Capital (26%), siendo a su vez las zonas con el consumo más importante en el país. La comercialización del producto en Colombia sigue teniendo las características de un mercado informal. El 81% de los productores vende en pie al intermediario, quien a su vez normalmente paga al productor en efectivo. Tan solo un 10% de las granjas venden la canal en cortes y el resto vende la canal completa.

El tamaño de las granjas es dado de acuerdo al número de hembras de cría, teniendo en cuenta que en promedio cada camada es de 7 animales. En la tabla 23 se presenta el número de granjas por departamento que tienen más de 101 hembras de cría, lo que corresponde a una población promedio por granja de 700 cerdos aproximadamente.

Adicionalmente se tiene información sobre el número de granjas tecnificadas. Según el Censo Porcícola realizado en 2003, en Colombia hay alrededor de 1500 granjas porcícolas tecnificadas para un total de 72.000 hembras reproductoras y 3.300 machos reproductores. El 86% de las granjas se encuentran distribuidas en Antioquia (35%), Región Occidental - Quindío, Risaralda, Caldas y Valle del Cauca (28%) y Región Central - Bogotá, Cundinamarca, Boyacá, Meta y Tolima (23%) como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16: Distribución de granjas según el número de hembras de cría.

Departamento	< 10		11--30		31-100		> 101		Total	
	Predios	Porcinos	Predios	Porcinos	Predios	Porcinos	Predios	Porcinos	Predios	Porcinos
ANTIOQUIA	315	72.264	703	130.185	2.251	225.582	3.200	805.622	6.469	1.233.653
ARAUCA	2	8	0	0	2	152	2.027	17.271	2.031	17.431
ATLÁNTICO	0	0	843	1.059	1.885	7.083	4.579	33.905	7.307	42.047
BOLÍVAR	751	1.582	966	2.218	961	8.518	3.392	14.897	6.070	27.215
BOYACÁ	545	33.532	671	20.433	1.344	39.806	526	24.063	3.086	117.834
CALDAS	3.072	36.727	2.278	44.552	2.960	53.433	270	5.151	8.580	139.863

CAQUETÁ	9	211	368	1.778	1.087	11.298	1.025	20.902	2.489	34.189
CASANARE	18	64	263	749	454	2.755	1.741	15.525	2.476	19.093
CAUCA	799	6.255	238	7.511	1.163	20.845	897	27.085	3.097	61.696
CESAR	2.235	6.989	414	1.451	1.741	6.504	3.202	23.802	7.592	38.746
CÓRDOBA	1.120	2.461	0	0	2.070	3.190	32.194	109.796	35.384	115.447

Departamento	< 10		11--30		31-100		> 101		Total	
	Predios	Porcinos	Predios	Porcinos	Predios	Porcinos	Predios	Porcinos	Predios	Porcinos
CUNDINAMARCA	459	30.499	915	34.081	2.748	122.202	4.044	321.347	8.166	508.129
HUILA	211	2.136	681	8.254	3.093	35.518	2.913	60.995	6.898	106.903
LA GUAJIRA	8	118	82	569	157	785	2.751	20.410	2.998	21.882
MAGDALENA	259	9.103	30	4.294	55	9.222	2.002	58.682	2.346	81.301
META	40	1.320	110	1.427	394	7.858	1.068	80.334	1.612	90.939
NARIÑO	454	1.427	1.451	5.183	6.727	32.137	20.636	80.441	29.268	119.188
NORTE DE SANTANDER	13	192	835	3.154	2.837	12.584	4.803	33.622	8.488	49.552
PUTUMAYO	15	138	143	419	550	5.727	480	3.170	1.188	9.454
QUINDIO	248	2.497	139	2.469	1.180	20.421	1.611	41.001	3.178	66.388
RISARALDA	1.016	9.138	1.733	24.863	455	6.513	1.944	95.080	5.148	135.594
SANTANDER	3.247	22.560	1.132	12.735	880	33.599	872	21.581	6.131	90.475
SUCRE	1.874	6.286	0	0	894	2.973	7.802	33.083	10.570	42.342
TOLIMA	467	2.479	943	16.511	3.702	32.081	4.714	48.200	9.826	99.271
VALLE CAUCA	1.025	45.345	2.380	54.753	1.343	42.835	5.877	295.940	10.625	438.873
TOTAL NACIONAL	18.202	293.331	17.318	378.648	40.933	743.621	114.570	2.291.905	191.023	3.707.505

Fuente: Asociación colombiana de poricultores, 2007

En la Tabla 17 se muestran las empresas del sector de mayor tamaño. Estas cuentan con granjas tecnificadas e incluyen granjas de ciclo completo, levante y cría.

Tabla 17: Distribución de granjas tecnificadas y poblaciones por región.

REGION	DEPARTAMENTOS	EMPRESAS PORCICOLAS DE MAYOR TAMAÑO Y PRODUCTIVIDAD	TOTAL Granjas	Ciclo Completo	Cría	Levante y Ceba	Machos Reprod	Hembras Reprod	Machos Sacrificados	Hembras Sacrificadas
				Granjas	Granjas	Granjas	(Cab)	(Cab)	(Cab) 2007	(Cab) 2007
Antioquia	Antioquia	1. Tecniagro Antioquia 2. Asociación de Porcicultores de Antioquia, APA Antioquia 3. PIC Colombia S. A. Antioquia 4. Genética Porcina - Agropecuaria Los Llanos Antioquia 5. Antioqueña de Porcinos Antioquia 6. Supercerdo Paisa Antioquia 7. Tribilandia Antioquia 8. La Linda Antioquia	539	165	79	295	852	25.850	322.216	79.751
Occidental	Quindío, Risaralda, Caldas y Valle del Cauca	1. Unión de Porcicultores del Valle S. A., Uniporc 2. Cerdos del Valle S. A., Cervalle 3. Cooperativa Porcicultores del Eje Cafetero - Cercafé	426	268	60	98	935	21.542	238.951	101.041
Central	Bogotá, Cundinamarca, Boyacá, Meta y Tolima	1. Cundinamarca 2. La Mejorana 3. Aguas Claras 4. Refugio Ecológico 5. Buenos Aires 6. La Molienda	348	206	81	61	939	13.740	398.360	213.919
Costa Atlántica	Atlántico, Sucre, Bolívar, Cesar, Córdoba, La Guajira y Magdalena	1. Porcinorte - Atlántico 2. Porkys - Santander	205	108	63	34	615	10.948	21.441	19.330
Oriental	Norte de Santander, Santander, Arauca y Casanare								16.815	17.618
Sur	Cauca, Nariño, Huila y Caquetá								38.327	32.488
TOTAL			1518	747	283	488	3.341	72.080	1.036.110	464.147

b. *Manejo, disposición y composición de los residuos.*

Según información suministrada por funcionarios de la Asociación Colombiana de Porcicultores el tratamiento de estiércol se realiza a través de su almacenamiento en tanques con tiempos de retención hidráulicos de 2 días y luego es utilizado para riego de suelos.

Las investigaciones en Colombia (Asociación colombiana de porcicultores) demuestran que en el país existen aproximadamente 80 granjas que tratan el estiércol mediante digestión anaeróbica, el biogás producido se utiliza en el sistema de calefacción para las crías y para consumo doméstico (cocción de alimentos y usos sanitarios principalmente). En la Tabla 17 se muestran algunas granjas de la región central del país que cuentan con estos sistemas, diseñados para el manejo del estiércol de entre 150 y 250 hembras reproductoras.

Tabla 18: Cinco de los mejores proyectos de digestión anaeróbica en la región central para el manejo integral del estiércol porcino

Nombre de la granja	Municipio	Departamento	Tipo de Granja	Dimensiones sistema de digestión anaerobia para el manejo de estiércol
Tequendama Ltda	Bogotá	Cundinamarca	Completa	Tipo chorizo (plasti-lona 8 mm) Volumen: 7000 lt TRH: 25 días
El Pomarroso	Bogotá	Cundinamarca	Completa	Tipo chorizo (plasti-lona 8 mm) Volumen: 7000 lt TRH: 25 días
La Sarita	Bogotá	Cundinamarca	Completa	Tipo chorizo (plasti-lona 8 mm) Volumen: 7000 lt TRH: 25 días
Granja El Zincho	Soacha	Cundinamarca	Completa	Estructura en Concreto Volumen: 7000 lt TRH: 25 días
Granja Providencia	Bogotá	Cundinamarca	Completa	(3) Tipo chorizo (plasti-lona 8 mm) Volumen: 7000 lt TRH: 25 días

La tasa de generación de excretas está relacionada con la edad del animal, la cantidad y calidad de alimentos ingeridos, el volumen de agua consumida y el clima. En general la orina representa aproximadamente el 45% de la excreta y las heces el 55%. El contenido de humedad de la excreta está alrededor del 88%; el contenido de materia seca es del 12%. Cerca del 90% de los sólidos se excretan en las heces; la orina contiene el 10% de los sólidos. La densidad de la excreta fresca es ligeramente menor de 1.0 (aunque son comunes las referencias de valores ligeramente superiores a 1.0). El total de los sólidos tiene una densidad baja, de 0.84 kg/l. La excreta porcina contiene sólidos que flotan y sólidos que se sedimentan, además de sólidos en suspensión. Los Sólidos Volátiles Totales constituyen el 80% de los STT y cerca del 10% de las heces y orina excretadas por día. Diariamente se producen 0,25 kg de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y 0,75 kg de Demanda Química de Oxígeno (DQO) por cada 100 k de peso vivo. Por lo general, la DBO es un tercio de la DQO y cerca de un tercio de los Sólidos Totales (STT) en las excretas porcinas frescas

Con la ayuda del Centro de Investigaciones Biológicas y la Universidad de Antioquia, se pudo realizar una visita a una granja de ciclo completo con 9.000 cerdos aproximadamente, donde se identificó que el manejo de excretas es por pozo inundado en el establo, ecualización de caudal en tanque, filtración de sólidos y tratamiento en 3

lagunas en serie. La empresa tiene otras tres granjas de ciclo completo de 10.200, 2.240 y 800 cerdos respectivamente donde el estiércol es almacenado máximo 2 días en tanque y luego aplicado directo al suelo, este manejo de estiércol se tiene también en 9 granjas de Levante y Ceba de 320, 400, 720, 800, 1050, 2200, 7.300, 1.200 y 1.188 para un total en ceba de 15.178 cerdos.

Esta empresa tiene un proyecto en la altillanura colombiana, que consiste en la construcción de una granja que tendrá toda la cadena completa, desde la producción de maíz para el alimento animal hasta el sacrificio. La granja porcina está estimada para 10000 vientres y se espera también que en el lugar se tengan granjas de aves y su sacrificio.

3.2.4 Ingenios de Azúcar

a. Información del sector

El sector azucarero tiene una participación importante en la economía Colombiana. Este sector registró en el año 2007 ventas de azúcar al mercado nacional por un total de 1.552,28 mtrv (metric tons raw value), 5,1% más que en 2006, lo cual es un aspecto muy positivo para el sector azucarero colombiano. El sector aporta el 1% del PIB total, el 3% del PIB Industrial y el 4% del PIB Agrícola.

En el año 2007 el área neta sembrada en caña aumentó 2,5%, pasando de 198 mil hectáreas en 2006 a 203 mil en 2007. Esta cifra corresponde a área neta, por lo cual excluye del análisis callejones y vías internas en los cultivos. En cuanto al área cosechada, ésta creció 1,9%, pasando de 181 mil hectáreas en 2006 a 185 mil en 2007. Se molieron en los ingenios 21,1 millones de toneladas de caña en 2007, 4,2% menos que en el año 2006, debido a factores climáticos.

La producción de etanol en 2007 fue de 275 millones de litros, registrando un aumento de 2,3% frente a 2006. A pesar de la caída en el volumen de caña molida en el mismo período, el sector mantuvo su compromiso sobre la producción de etanol, con el fin de sostener una oferta interna adecuada a la demanda del país.

En Colombia existen 13 ingenios azucareros ubicados principalmente en los departamentos de Valle del Cauca, Risaralda y Cauca.

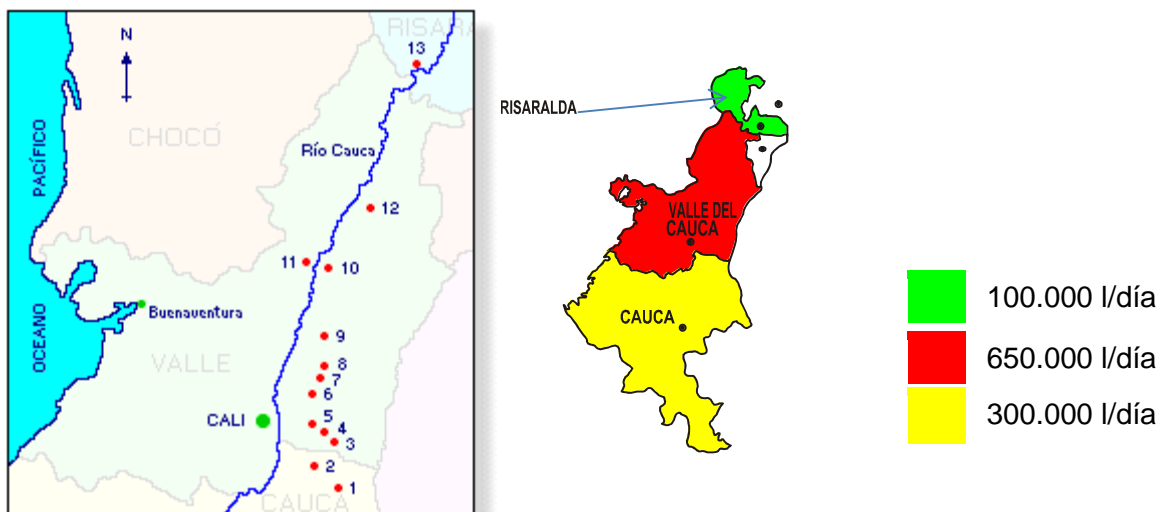


Figura 15: Regiones con destilerías en Colombia

La producción de alcohol total del país es realizada por 5 ingenios que cuentan con destilerías. En la Figura 15 se muestran los departamentos en los que se concentra la producción de etanol.

b. Manejo, disposición y composición de los residuos

El tratamiento de vinazas en el proceso de producción de etanol en la industria azucarera colombiana, es un ejemplo para el mundo sobre el cuidado del medio ambiente. En las destilerías del sector se producen máximo 3 litros de vinaza por cada litro de etanol, mientras que en otros países se producen entre 10 y 14 litros por cada litro de etanol. Esta ventaja comparativa del sector azucarero colombiano en la disminución de contaminantes en el campo representa un valioso aporte a la preservación del medio ambiente.

El principal subproducto del proceso de las destilerías es la vinaza, la cual tienen una carga orgánica muy alta, que la hace potencialmente contaminante. Una destilería de 150,000 litros diarios genera la misma carga orgánica que una ciudad de 1 millón de habitantes. La carga orgánica depende sin embargo de la materia prima utilizada.

La vinaza generada en los ingenios inicialmente es concentrada en evaporadores flubex, luego pasa a un desarenador desde donde se dirige a unas piscinas de enfriamiento en las que se disminuye la temperatura desde 90°C hasta 45°C, todas las piscinas están provistas con geomembranas para la impermeabilización del suelo. Posteriormente 50% de la vinaza generada es rociada sobre el compost (abono producido con los residuos sólidos generados en el ingenio azucarero), el 50% remanente es utilizado como fertilizante mediante riego directo en los sembrados de caña. Esta última práctica se dificulta frecuentemente por la intensidad de las lluvias en la zona, ya que se dificulta el acceso de las máquinas de riego a los campos de siembra ocasionando almacenamientos de la vinaza de hasta un mes.

Estos ingenios cuentan con una batería de 3 a 5 piscinas, pero no son usadas simultáneamente. Inicialmente la vinaza entra a un desarenador y luego pasa a la piscina que este en operación en ese momento. La profundidad promedio de las piscinas es de 2 metros, sin embargo por la sedimentación de los sólidos las profundidades disminuyen hasta 1,5 metros, adicionalmente es común encontrar piscinas colmatadas fuera de operación.



Figura 16: Piscinas de almacenamiento de vinazas



Figura 17: Composteras en las que es rociada la vinaza.

3.2.5 Oleaginosas

a. Información del sector

Durante el año 2007 la producción de aceite de palma en Colombia fue de 734.968 toneladas, con una participación de 3,66% del PIB agropecuario y de 0,5% en PIB total. La demanda del aceite de palma ha incrementado en los últimos años y su uso para la producción de biocombustibles ha sido una de las principales razones.

El área sembrada de aceite de palma durante el 2007 llegó a 326.033 hectáreas, 25.980 más que en el 2006. Con una superficie en producción de 204.648 Ha. Regionalmente la zona central fue la de mayor producción de aceite de palma, seguido por la zona norte, zona oriental y por último la zona occidental (ver Figura 18) y en la tabla 16 se puede observar el número de plantas de beneficio por zonas y en la Tabla 19: Capacidad instalada de plantas de beneficio muestra la clasificación de acuerdo con la capacidad de procesamiento.

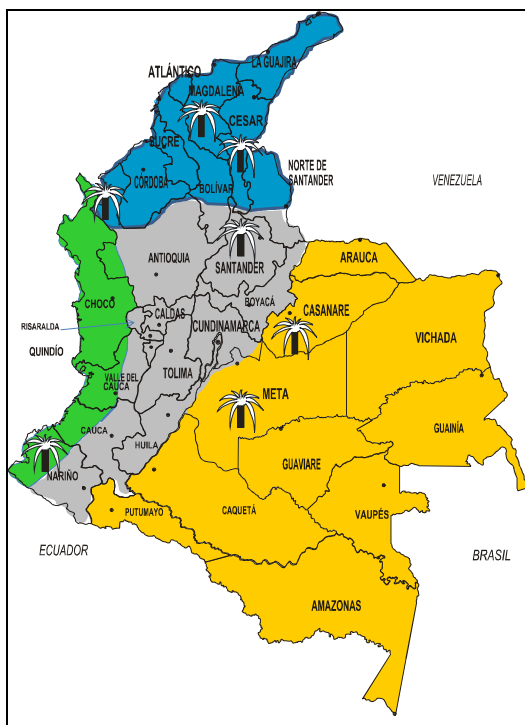
Tabla 19: Capacidad instalada de plantas de beneficio

Zona*	2000	2001	2002	2003	2004	Part. %
Oriental • Eastern	273	291	295	292	314	34,7
Norte • Northern	224	238	244	242	286	31,6
Central • Central	177	182	185	185	207	22,9
Occidental • Western	88	90	92	96	98	10,8
Total	762	801	816	814	905	100,0
Variación • Growth Rate %	2,0	5,1	1,8	0,7	11,2	

Tabla 20: Distribución por tamaño de las plantas de beneficio.

Rango de Tamaño* Size range ¹	Número de plantas de beneficio Number of mills		Capacidad instalada agregada Aggregate installed capacity ²		Distribución de la capacidad instalada % Distribution of the installed capacity	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004
0 - 5	5	5	16	16	2,0	1,8
6 - 10	11	10	75	81	9,2	8,9
11 - 15	14	13	188	170	23,1	18,8
16 - 25	13	13	263	268	32,3	29,6
Mayor de 25	8	10	272	370	33,4	40,9
Total	51	51	814	905	100,0	100,0

En la Figura 18 se presenta la distribución de plantas extractoras por departamento. Tal como se muestra, estas se encuentran distribuidas a lo largo de todo el país, principalmente en los departamentos de Santander, Cesar, Magdalena, Meta, Casanare y Nariño.



Región	Aceite de palma crudo (Ton)
Central	223.324
Norte	221.461
Oriental	215.259
Occidental	72.401

Figura 18: Distribución por departamento de plantas extractoras de aceite de palma.

b. Manejo, disposición y composición de los residuos

Las extractoras de aceite tienen numerosos sub-productos: ráquis, fibra, cuesco, lodos (efluentes). Los lodos representan en promedio en Colombia un 80 % del peso de la fruta procesada, y tienen una alta concentración en D.Q.O. (35 a 55.000 ppm), D.B.O. (15 a 40.000 ppm), y Sólidos Suspendidos (22 a 26.000 ppm). Además son ácidos (pH de 4 a 4.5) y aceitosos (grasas y aceites: 5.000 ppm). Son la cuarta fuente de contaminación de

los ríos en Colombia, y la primera fuente de contaminación en las zonas productoras de aceite de palma, muy por encima de las poblaciones.

Se encontró una práctica común de tratamiento de aguas residuales en todas las plantas de beneficio del país. Estas están provistas de una serie de lagunas: desaceitado, enfriamiento, anaerobia, facultativa, pulimento. Las lagunas anaeróbicas tienen profundidades que oscilan entre 1,5 y 3,0 metros. La temperatura promedio de las zonas donde se encuentran ubicadas es de 30°C lo que facilita la digestión anaeróbica de los residuos con una generación significativa de metano que es emitido a la atmósfera. Sin embargo la Federación Nacional de Cultivadores de palma de aceite (FEDEPALMA) está implementando un proyecto de cubrimiento, captura y aprovechamiento del biogás generado con el fin de mitigar las emisiones del sector, las cuales representan el 90% de las emisiones de los sistemas de tratamientos de efluentes del sector agropecuario del país.

4. **FACTIBILIDAD DE SISTEMAS DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA**

La viabilidad de modificar los sistemas de manejo de estiércol de ganado y residuos de procesamiento de productos agrícolas incorporando digestión anaeróbica dependerá de la capacidad de invertir el capital necesario y generar los ingresos adecuados para al menos compensar los costos de operación y administración, así como suministrar un retorno razonable al capital invertido. Como se discutirá a continuación, hay un número de opciones de residuos anaeróbicamente digeribles y que utilizan el metano capturado resultante. Para una compañía específica, las características del residuo determinarán qué opciones tecnológicas de digestión son aplicables. De este subgrupo, el enfoque óptimo estará determinado por la viabilidad financiera sujeta a posibles obstáculos regulatorios y físicos. Por ejemplo, el enfoque óptimo puede no ser físicamente viable debido a la falta de terreno necesario. A continuación, se presentan breves discusiones de opciones de tecnología de digestión anaeróbica y utilización de metano, costos y beneficios, y proyectos centralizados.

4.1 **Reducción de emisiones de acuerdo con las metodologías del IPCC**

El manejo de los residuos generados en los procesos básicos agrícolas y el manejo dado al estiércol puede producir más metano que el que actualmente está siendo emitido por los sistemas de tratamiento. Con el objetivo de estimar la reducción de emisiones netas de metano cuando se implementa un proyecto de digestión anaeróbica, es necesario estimar las fugas relacionadas con el proyecto y las emisiones relacionadas con el uso de otros combustibles, las cuales son función del potencial de generación de metano mediante digestión anaeróbica.

A continuación se muestra el potencial de generación de metano para los sectores seleccionados anteriormente. Los sectores de sacrificio porcino, bovino y de aves, las destilerías y las extractoras de aceite, se enmarcan en un solo grupo ya que el tipo de desechos considerados en todos los casos corresponde a aguas residuales. El manejo del estiércol del sector porcicultura se considera de manera independiente.

4.1.1 **Estiércol**

Para estimar el potencial de producción de metano a partir de estiércol, solo se requiere reemplazar en la ecuación 2 el factor de conversión de metano MCF_{sk} por el factor de conversión de metano por digestión anaeróbica MCF_{DA} como se muestra a continuación:

$$CH_{4(M,P)} = (VS_{(M)} \times H_{(M)} \times 365 \text{ days/yr}) \times [B_{o(M)} \times 0.67 \text{ kg } CH_4/m^3 \text{ } CH_4 \times MCF_{AD}] \quad (2.7)$$

Donde: $CH_{4(M,P)}$ = Potencial de producción de metano a partir del estiércol, kg/año

$VS_{(M)}$ = Sólidos volátiles excretados diariamente por tipo de animal, kg materia seca por animal-día.

$H_{(M)}$ = Número promedio de animales por tipo por día.

$B_{o(M)}$ = Capacidad máxima de producción de metano a partir del estiércol por tipo de animal, $m^3 \text{ } CH_4$ por kg sólidos volátiles excretados.

MCF_{AD} = factor de conversión de metano

	Porcino	Observaciones
SV (kg/cabeza-día)	0.30	<ul style="list-style-type: none"> Solo fueron consideradas el 50% de las granjas con más de 100 cabezas (según censo de vacunación de fiebre porcina 2007). Se considera un MCF de 0,3 para pozos de menos de 1 mes (Tabla 2). <u>Carbon offsets o compensación:</u> considerado para generación de energía eléctrica. Basados en el mix de energía de Colombia, se toma el gas natural como el combustible a reemplazar.
Cabezas (#)	1.145.952	
Bo (m ³ CH ₄ /kg SV)	0.29	
MCF	0.30	
CH ₄ (kg/año)	7.314.334	
CH₄ (TM/año)	7.314,3	
CO₂ (TM CO₂e/año)	153.601	
CH ₄ (m ³ /año)	10.201.302	
CO ₂ Offsets (TM CO ₂ e/año)	20.505	
Total CO₂ (TM CO₂e/año)	174.105	

Tabla 21: Potencial de generación de metano del sector porcino.

Si bien la práctica actual de manejo de estiércol no genera mucho metano, el tamaño del sector hace que las emisiones totales generadas sean considerables para tenerlo en cuenta dentro de los sectores con potencial de reducción de emisiones.

4.1.2 Aguas residuales de procesos básicos de agricultura

En esta sección se consideran las emisiones de los sectores seleccionados con potencial de reducción. Este es determinado de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$CH_{4(W)} = [(TOW_{(W)} - S_{(W)}) \times EF_{(W,S)}] - R_{(W)} \quad (5)$$

donde: $CH_{4(W)}$ = emisiones anuales de metano de residuo de procesamiento de productos agrícolas W, kg CH₄ por año

$TOW_{(W)}$ = masa anual de residuo W DQO generado, kg por año

$S_{(W)}$ = masa anual de residuo W DQO removido como sólidos sedimentados (lodos), kg por año

$EF_{(W,S)}$ = factor de emisión para residuo W y sistema de tratamiento existente y vía de descarga S, kg CH₄ por kg DQO

$R_{(W)}$ = masa de CH₄ recuperada, kg por año

Como se indicó anteriormente, la tasa de emisión de metano en la Ecuación 2 es una función del tipo de residuo, el sistema de tratamiento existente y vía de descarga. Se calcula como sigue:

$$EF_{(W,S)} = B_{o(W)} \times MCF_{(S)} \quad (6)$$

donde: $B_{o(W)}$ = máxima capacidad de producción de CH₄, kg CH₄ por kg DQO

$MCF_{(S)}$ = factor de conversión de metano para el sistema existente de tratamiento y vía de descarga.

En la Tabla 23 se muestran cada uno de los factores utilizados de acuerdo al sector y al tipo de tratamiento existente.

A continuación se explican las consideraciones para la selección de factores de emisión y algunas suposiciones hechas para los cálculos.

a. Sacrificio bovino y porcino

El valor de DQO y la tasa de generación de aguas residuales utilizada en el cálculo, fue tomada de los valores reportados en la Tabla 5: Ejemplos de datos de aguas residuales industriales, Doorn *et al.* (1997).

Para el cálculo de potencial de reducción de emisiones de metano en los sitios que cuentan con lagunas de oxidación, se contó con la información completa de dos de los sitios que tienen lagunas. Con estos valores se estimó una profundidad promedio para las lagunas entre 2 y 5 metros y de acuerdo con los datos reportados en la Tabla 4 se utilizó un valor de 0,7 para el factor de conversión de metano MCF. El valor de B_0 utilizado fue de 0,25 kg CH₄ por kg DQO (0,34 m³ de CH₄ /Kg DQO) de acuerdo con las directrices del IPCC de 2006.

El potencial de reducción de emisiones no se determinó para las plantas de sacrificio que solo cuentan con sistemas fisicoquímicos de tratamiento, ya que estos no generan emisiones actualmente. Sin embargo estas empresas tienen un alto potencial de aprovechamiento energético mediante un cambio en sus sistemas de tratamiento.

Las empresas que se consideraron para el cálculo son las más representativas del sector por su tamaño. Estas representan el 80% de la producción nacional, y de las cuales el 50% tienen sistemas de tratamiento anaeróbico.

b. Sacrificio aves

En general en este sector predomina el uso de reactores tipo UASB. Sin embargo del total de empresas más representativas del sector el 30% cuentan con otros sistemas de tratamiento anaeróbicos, estas empresas que representan el 35% de la producción fueron la base para los cálculos realizados.

El valor de DQO y la tasa de generación de aguas residuales utilizada en el cálculo, fue tomada de los valores reportados en la Tabla 5: Ejemplos de datos de aguas residuales industriales, Doorn *et al.* (1997).

Se utilizó un valor MCF de 0,2 debido a que se tenía información previa sobre los sistemas existentes. Los cuales principalmente están constituidos por lagunas de poca profundidad y otros sistemas anaeróbicos de baja eficiencia.

El potencial de reducción de emisiones no se determinó para las plantas de sacrificio que solo cuentan con sistemas fisicoquímicos de tratamiento, ya que estos no generan emisiones actualmente.

c. Destilerías

Se utilizó un valor MCF de 0,2 para las piscinas de almacenamiento de vinazas debido a que estas presentan poca profundidad. La DQO fue considerada de acuerdo con lo

reportado en la literatura. Dicho valor fue confirmando en las visitas a algunas de las destilerías. El valor utilizado fue de 200000 mg/l de DQO.

d. Oleoginosas

Para este sector, actualmente existe un proyecto sombrilla bajo la metodología MDL, que cubre 32 de las 52 plantas extractoras existente en el país. Estas 32 empresas representan el 82% de la producción total nacional de aceite de palma y sus derivados. Por esta razón en este informe se incluyen únicamente las emisiones correspondientes a las 32 empresas ya que la producción de las 20 empresas restantes no es representativa para la producción nacional de aceite de palma.

El proyecto sombrilla es liderado por la federación nacional de cultivadores de palma de aceite y consiste en la captura y recuperación del metano generado en las lagunas de tratamiento de aguas residuales.

Los cálculos de emisiones presentados, corresponden a los realizados en el PDD (documento de diseño del proyecto, por sus siglas en inglés) del proyecto sombrilla. Estos cálculos fueron realizados de acuerdo con la metodología AM0013 (UNFCCC) de gran escala, reemplazada por la Metodología combinada ACM0014 V2.1. La ecuación general para las emisiones de metano es:

$$emissionCH_4(Kg/ano) = Q * DQO_{removida} * B_0 * MCF$$

Donde:

Q: Volumen de agua tratado en el año (m³).

DQO: Demanda química de oxígeno removida en el sistema de tratamiento, (Kg/m³)

Bo: Capacidad máxima de producción de metano del agua residual (Valor según IPCC de 0,21 Kg CH₄/ Kg DQO)

MCF: factor de corrección de metano de acuerdo al tipo de tratamiento. En laguna de oxidación este valor depende de la profundidad y de la temperatura.

La cantidad de biogás que se espera capturar por año en las 32 plantas es de 63'953.906,88 metros cúbicos.

Las emisiones de metano así como las reducciones estimadas para el proyecto en términos de CO₂ se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 22: Reducción de emisiones de CO₂ para el proyecto.

Año	Estimación anual de reducción de emisiones (Ton CH₄/año)	Estimación anual de reducción de emisiones (Ton CO₂e)
2007-8	28.769	604.140
2008-9	31.083	652.737
2009-10	33.374	700.856
2010-11	36.389	764.159
2011-12	38.966	818.291
2012-13	41.043	861.902
2013-14	42.732	897.381
2014-15	28.769	604.140

Tabla 23: Estimación de emisiones por tratamiento de agua en procesos agrícolas.

	Sacrificio porcino y Bovino	Sacrificio aves	Destilerías	Extractoras de aceite de palma	Observaciones
P (TM/año)	394.342	210.000	336.000	1.097.378	<u>Sacrificio porcino y bovino:</u> con una capacidad mayor a 100 reses por día. 50% de los sacrificios tienen lagunas.
W (m ³ /TM) ²	13	13	2,4	3	
DQO (kg/m ³)	4,1	4,1	200	56,2	
TOW (kg DQO/año)	21.018.416	11.193.000	161.280.000	185.017.857	<u>Sacrificio aves de corral:</u> con una capacidad mayor a 10000 aves por día. 30% de los sacrificios tienen lagunas de baja eficiencia.
B ₀ (kg CH ₄ /kg DQO)	0,25	0,25	0,25	0,21	
MCF Laguna	0,7	0,2	0,2	0,8	<u>Destilerías:</u> Valores reales recolectados en campo.
EF (kg CH₄/kg DQO)	0,175	0,05	0,05	0,168	
CH ₄ (kg CH ₄ /año)	3.678.223	559.650	8.064.000	31.083.000	<u>Carbon offsets o compensación:</u> considerado para generación de energía eléctrica. Basados en el mix de energía de Colombia, se toma el gas natural como el combustible a reemplazar.
CH₄ (TM CH₄/año)	3.678	560	8.064	31.083	
CO₂ (TM CO₂e/año)	77.243	11.753	169.344	652.743	
CH ₄ (m ³ / año)	5.130.017	780.543	11.246.861	43.412.011	
CO ₂ Offsets (MT CO ₂ e/año)	10.311	1.569	29.804	115.042	
Total CO₂ (MT CO₂e/año)	87.554	13.321,54	199.148	767.784,83	

² W: Tasa de generación de aguas residuales. Según tabla 5.

De acuerdo con los cálculos realizados, a continuación se presenta un resumen de las emisiones de cada sector. Estas emisiones pueden ser reducidas en un gran porcentaje mediante cubrimiento de lagunas y captura del biogás. Adicionalmente se incluye el potencial energético que tendría el metano recuperado. Es importante aclarar, que las emisiones calculadas corresponden a las emisiones actuales, bajo las condiciones que están operando los diferentes sistemas de tratamiento; sin embargo existe un potencial energético mucho mayor desde el punto de vista de implementar sistemas que operen bajo las condiciones adecuadas que permitan una mayor conversión y recuperación del gas.

El potencial energético se determinó teniendo en cuenta un poder calorífico para gas natural de 38.517.440 J/m³. Este es un valor reportado por la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética), para el gas natural de la guajira el cual tiene un contenido de metano del 97,76% de CH₄. Todos los sectores analizados tienen un alto consumo de energía eléctrica y de gas que podrían ser reemplazados por el metano o la energía que se recupere de la captura del biogás generado en los sistemas de tratamiento

Sector	CH ₄ emitted (m ³ /year)	CO ₂ Eq. (ton CO ₂ /year)	CO ₂ Offsets (MT CO ₂ e/year)	CO ₂ Eq. (ton CO ₂ /year) Total	Energy Potential (Kwh/year)
Oil seed	43.412.011	652.743	115.042	767.784	139.280.202
Ethanol Distilleries	11.246.861	169.344	29.804	199.148	36.083.679
Livestock	10.201.302	153.601	20.505	174.105	32.871.579
Bovine and Porcine Slaughterhouse	5.130.017	77.243	10.311	87.554	16.458.805
Chicken Slaughterhouse	780.543	11.753	1.569	13.321	2.504.242

Tabla 24: Emisiones de metano y potencial energético

Los sectores estudiados tienen un alto potencial de reducción de emisiones. Los sistemas de tratamiento de efluentes de las extractoras de aceite de palma presentan las mayores emisiones de metano, sin embargo ya se encuentran trabajando en la adecuación de sus lagunas para la captura del biogás generado. Las 20 empresas restantes de este sector, que representan un 18% de la producción anual de aceite de palma también se unirán al proyecto sombrilla.

Posteriormente en orden de emisiones se encuentra la porcicultura, las destilerías, los sacrificios de porcinos y bovinos y el sacrificio de aves de corral. Si bien estos sectores solo representan el 28% de las emisiones totales de metano generadas por los sistemas de tratamiento de efluentes de los sectores estudiados, las emisiones equivalentes de CO₂ son significativas, por lo que se constituyen un potencial de reducción de emisiones importante para el país y para cada una de las empresas que los constituyen.

4.1.3 Otras consideraciones

a. Fugas y emisiones relacionadas con combustión

La reducción de emisiones de metano realizada cuando la digestión anaeróbica es introducida como sistema de tratamiento de efluentes, puede ser afectada o reducida por las fugas y/o emisiones relacionadas con la combustión del gas.

Existe poca información relacionada con las fugas de metano en los sistemas de digestión anaeróbica. Algunas fugas pueden considerarse como inherentes al sistema y deben ser tenidas en cuenta dentro de las estimaciones de la reducción neta de emisiones de metano. Dentro de los lineamientos del IPCC para inventarios nacionales de gases efecto invernadero, no se especifica el cálculo de dichas fugas y se incluyen por defecto valores de MCF que van de 0 – 100%. De acuerdo con The California Climate Action Registry (CCAR, 2008) se puede considerar una eficiencia del 85% para los sistemas de recolección. Adicionalmente se presenta una relación que permite el cálculo de las fugas. Valores de eficiencia por encima del 85% deberán ser justificados y documentados.

$$LK_{(P)} = \left(\frac{CH_{4(P)}}{0.85} - CH_{4(P)} \right) \times 0.67 \text{ kg/m}^3 \quad (7)$$

Donde: $LK_{(P)}$ = Fugas de metano (Leakege), kg/año

$CH_{4(P)}$ = producción de metano estimado a partir de estiércol y/o procesamiento de desechos agrícolas, kg/año

0.85 = eficiencia de captura de metano (por defecto)

La combustión del metano también genera emisiones que deben ser tenidas en cuenta en la estimación de la reducción neta de emisiones. Estas emisiones relacionadas son debidas principalmente a que la combustión no es un proceso 100% eficiente y a la captura del metano en el sistema de combustión. En la Tabla 25 se muestran algunos valores de eficiencia dados por The California Climate Action Registry (CCAR, 2008).

Tabla 25: Eficiencia de combustión de metano de acuerdo al sistema

Procesos de combustion	Valores de referencia
Llama abierta	0.96
Llama cerrada	0.995
Motor de combustion interna de baja eficiencia	0.936
Motor de combustion interna de alta eficiencia	0.995
Quemador	0.98

Las emisiones de metano relacionadas con el proceso de combustión utilizado pueden ser determinadas de acuerdo con la cantidad de metano que se estima será capturada. La siguiente ecuación puede ser utilizada para tal fin.

$$CE_{(P)} = \left[(CH_{4(P)} - LK_{(P)}) \times (1 - C_{\text{eff}}) \right] \quad (8)$$

Donde: $CE_{(P)}$ = Emisiones relacionadas con la combustión, kg CH_4 /año

- CH_{4 (P)} = producción de metano estimada, a partir de estiércol y/o procesamiento de desechos agrícolas, kg/año
- C_{eff} = Eficiencia de combustión

b. Emisiones relacionadas con combustibles fósiles

Los proyectos de digestión anaeróbica pueden incrementar el uso de combustibles fósiles por procesos asociados principalmente al transporte del estiércol o materiales de desecho al sitio de tratamiento. Como resultado de esto hay un incremento en las emisiones de CO₂ relacionadas al uso de combustible fósil. En la Tabla 26 se muestran los valores de emisiones de metano equivalentes para gasolina y diesel usados como combustible en transporte.

Tabla 26: Emisiones relacionadas al uso de gasolina y diesel para el transporte. (Regional Greenhouse Gas Initiative, Inc., 2007)

Combustible	Valores de referencia, kg/L
Gasolina	2.38
Diesel	2.75

Los valores de la Tabla 26 pueden ser utilizados en la siguiente ecuación para estimar las emisiones de CO₂ resultantes por el incremento del uso de combustibles fósiles.

$$FF_{(P)} = \frac{(FF_{(Use)} \times C_{factor})}{21} \quad (9)$$

- Donde: FF_(P) = Emisiones de CO₂ por combustibles fosiles, en equivalentes de metano, kg CH₄ /año
- FF_(U) = Combustible fosil adicional usado, L/año
- C_{factor} = Factor de conversion, kg CO₂/L
- 21 = Potencial de calentamiento global (GWP) del metano con respecto al CO₂. kg CO₂/kg CH₄

4.2 Compensación de carbón y uso potencial de energía

El uso de sistemas anaeróbicos de digestión con recuperación de metano tienen la ventaja que este puede ser usado para generar energía eléctrica y reducir las emisiones o compensar las emisiones por el uso de otros combustibles fósiles utilizados para el mismo fin. En general el valor del biogás como combustible, es determinado por el costo, sobre una base de energía, del combustible convencional a ser sustituido. En países con bajos costos de energía debido a los subsidios, la digestión anaeróbica para reducir emisiones y generación energética puede ser poco atractiva financieramente. La siguiente tabla muestra los potenciales usos del metano en diferentes sectores mencionados.

En Colombia, la energía eléctrica proviene en un 75% de hidroeléctricas, el 25% restante es generado por termoeléctricas que funcionan principalmente con gas natural y carbón, siendo el gas natural el más utilizado.

Tabla 27: Potenciales usos del metano en diferentes sectores

Sector	Energía eléctrica	Energía térmica
Sacrificios porcino/bovino/aves	Cámaras de frío, bombas, sistemas de calentamiento, equipos en general.	Gas natural / carbón en calderas
Oleoginosas	Sistemas de extracción.	Gas natural / carbón en calderas
Destilerías	Utilizan la energía generada por la quema de bagazo.	Gas natural para calderas
Granjas	Iluminación, sistemas de alimentación.	Gas natural para sistemas de calentamiento de lechones.

La siguiente tabla muestra la compensación de emisiones de CO₂ por reemplazar combustibles fósiles por biogás para generación eléctrica.

Tabla 28: Compensación de emisiones de CO₂ por reemplazo de combustibles fósiles

Combustible a reemplazar	Reducción de emisiones de CO ₂
Generación eléctrica – depende del tipo de energía 100 % carbon 100 % hidroeléctrica o nuclear	1.02 kg/kWh from CH ₄ 0 kg/kWh from CH ₄
Gas natural	2.01 kg/m ³ CH ₄
Gas licuado de petróleo	2.26 kg/m ³ CH ₄
Combustible destilado de petróleo	2.65 kg/m ³ CH ₄

4.3 Opciones tecnológicas

Hay una variedad de procesos de digestión anaeróbica, que pueden ser categorizados de forma amplia como procesos de crecimiento suspendido o adherido. La aplicabilidad de cualquier proceso específico está determinada principalmente por las características físicas del residuo o mezcla de residuos que serán anaeróbicamente digeridos. Los procesos de crecimiento adherido son adecuados para residuos con bajas concentraciones de materia particulada. Para residuos con mayores concentraciones de materia particulada, los procesos de crecimiento suspendido son generalmente más apropiados. Las opciones de procesos de digestión anaeróbica que son aplicables a los diferentes tipos de estiércol de ganado y residuos de procesamiento de productos agrícolas se discuten abajo.

4.3.1 Estiercol

Para el manejo del estiercol generado en las granjas existen 4 opciones: 1) Flujo pistón, 2) mezclado, 3) laguna cubierta y crecimiento adherido. La opción o opciones apropiadas son determinadas por la concentración de material particulado, generalmente medido como concentración de sólidos totales (ST) en el estiércol recolectado. Por el tipo de estiércol y por el clima, tal como se muestra en la Tabla 29.

Tabla 29:- Overview of Anaerobic Digestion Options for Livestock Manures

	Flujo pistón	Mezclado	Laguna cubierta	Crecimiento adherido
Concentración de sólidos totales	11—13 %	3—10	0.5—3	<3
Tipo de estiércol	Solo ganado lechero	ganado lechero porcinos	ganado lechero porcinos	ganado lechero porcinos
Pre tratamientos requeridos	Ninguno	Ninguno	Eliminación de fibra gruesa de ganado lechero	Eliminación de fibra gruesa de ganado lechero
Clima	Todos	Todos	Templado y cálido	Templado y cálido

Como se indica en la tabla anterior, el uso de lagunas cubiertas y reactores de crecimiento adherido para la generación de metano a partir del estiércol generado en las granjas, requiere remisión de fibras gruesas antes de la digestión anaeróbica. Para la opción de crecimiento adherido se aconseja hacer una remoción de pelos y materiales extraños. Las lagunas cubiertas y los reactores de crecimiento adherido operan a temperatura ambiente y estos son aptos para climas cálidos. En lugares con variaciones estacionales de la temperatura, la velocidad de producción de metano también puede variar.

4.3.2 Aguas Residuales de Procesamiento de Productos Agrícolas

Como se discutió anteriormente, las operaciones de procesamiento de productos agrícolas pueden generar ya sea aguas residuales o residuos sólidos o ambos. No hay un único proceso de tratamiento que sea adecuado para todas estas aguas residuales, excepto la laguna anaeróbica cubierta, debido a la amplia variación en características físicas y químicas. Aún las características físicas y químicas de las aguas residuales del procesamiento de un único producto pueden variar reflejando ampliamente prácticas diferentes de procesamiento y saneamiento. Por ejemplo, algunas plantas de procesamiento evitarán que residuos sólidos, en la medida de lo posible, entren a las aguas residuales generadas mientras que otras no lo harán. Adicionalmente, algunas plantas usarán procesos de pretratamiento de aguas residuales tales como el cribado, sedimentación gravitacional, o flotación por aire disuelto (DAF) para remover materia particulada mientras que otras no. Aunque la laguna anaeróbica cubierta tiene las ventajas de la aplicabilidad universal y la simplicidad de operación y mantenimiento, el área de terreno necesario debe estar disponible. Si el volumen de aguas residuales generado es bajo, una posibilidad es la co-digestión con residuos de estiércol de ganado o de tratamiento de aguas residuales. Otras opciones para el tratamiento anaeróbico de estas aguas residuales se describen brevemente a continuación.

Para aguas residuales con altas concentraciones de materia particulada (sólidos suspendidos totales) o concentraciones extremadamente altas de materia orgánica disuelta (demanda bioquímica o química de oxígeno), los procesos de reactor completo mixto, de contacto anaeróbico, o de lote anaeróbico secuencial (ASBR) son alternativas. Todos se operan de forma típica a temperaturas mesofílicas (30 a 35 °C) o termofílicas (50 a 55 °C).

Tabla 30: Tasas Típicas de Carga Orgánica para Procesos Anaeróbicos de Crecimiento Suspendido a 30 °C. (Metcalf y Eddy, Inc., 2003)

Proceso	Carga Orgánica Volumétrica, kg DQO/m ³ -día	Tiempo de Retención Hidráulica, días
Mezcla completa	1.0—5.0	15—30
Contacto anaeróbico	1.0—8.0	0.5—5
Reactor lote anaeróbico secuencial (ASBR)	1.2—2.4	0.25—0.50
Laguna anaerobia	0,2 – 0,32	10 - 25

Como se muestra en la Tabla 30, los procesos de contacto anaeróbico y ASBR operan a tiempos de retención hidráulica (HRTs) significativamente más cortos que el proceso completo mixto. Un HRT requerido más corto se traduce directamente en un volumen requerido de reactor más pequeño y menor espacio del sistema. Sin embargo, la operación de los procesos de contacto anaeróbico y ASBR es progresivamente más compleja.

Para aguas residuales con bajas concentraciones de sólidos suspendidos totales (TSS) o aguas residuales con bajas concentraciones TSS después del cribado o alguna otra forma de reducción de TSS, tal como flotación por aire disuelto, puede aplicarse uno de los procesos anaeróbicos de manta de lodos. Se incluyen el proceso básico de manta de lodo anaeróbico de flujo ascendente (USAB), el reactor de pistón anaeróbico, y el reactor anaeróbico de manta migrante (AMBR[®]). Los procesos anaeróbicos de manta de lodos permiten altas tasas de carga DQO volumétricas debido a la retención de una alta densidad microbiana en la manta granulada de lodos. Las aguas residuales que contienen sustancias que afectan de forma adversa la granulación de lodos, causan espumas, o formación de éstas, tales como proteínas y grasas, son problemáticas. Por lo tanto, el uso de procesos anaeróbicos de manta de lodos se limita generalmente a aguas residuales con altos carbohidratos.

Los procesos anaeróbicos de crecimiento adherido son otra opción para aguas residuales de procesamiento de productos agrícolas con bajas concentraciones de TSS. Se incluyen procesos de reactores de: 1) lecho empaquetado de crecimiento adherido de flujo ascendente, 2) lecho extendido anaeróbico de crecimiento adherido de flujo ascendente, 3) lecho fluido anaeróbico de crecimiento adherido, y 4) crecimiento adherido de flujo descendente. Todos han sido utilizados exitosamente en el tratamiento anaeróbico de una diversidad de aguas residuales de alimentos y otros procesamientos de productos agrícolas pero son operativamente más complejos que los procesos de crecimiento suspendido y manta de lodos.

Los reactores de digestión anaeróbica: 1) Flujo pistón, 2) mezcla 3) laguna cubierta, La opción u opciones apropiadas están determinadas por la concentración de materia particulada, generalmente medida como concentración de sólidos totales (ST) en el

estiércol recolectado; tipo de estiércol; y clima, como se muestra en la Tabla 31 . La concentración ST en el estiércol recolectado se determina mediante el método de recolección, mecánica (raspado) o hidráulica (lavado), y el volumen de agua usada para estiércol hidráulicamente recolectado.

Tabla 31: Generalidades sobre Opciones de Digestión Anaeróbica

	Flujo Pistón	Mezcla	Laguna Cubierta
Tipo de estiércol	Solo ganado lechero	Lechero y pocino	Lechero y pocino
Concentración de sólidos totales	11—13 %	3—10	0.5—3
Pre-tratamiento requerido	Ninguno	Ninguno	Remoción de fibras y partículas gruesas
Clima	Todos	Todos	Templado y cálido

Como se indicó en la Tabla 31, el uso de reactores de laguna cubierta y crecimiento adherido para producción de metano requiere la remoción de fibras gruesas, usualmente por cribado, antes de la digestión anaeróbica. Para la opción de crecimiento adherido, se recomienda el cribado para remover materia extraña. Los reactores de laguna cubierta y de crecimiento adherido operan a temperatura ambiente y por lo tanto sólo son adecuados para climas templados y cálidos. En climas templados, puede haber alguna variación estacional en la tasa de producción de metano.

4.4 Costos y Beneficios Potenciales

4.4.1 Costos

El costo de digerir anaeróticamente estiércol de ganado y residuos de procesamiento de productos agrícolas y del uso del metano capturado como combustible dependerá del tipo de digester fabricado y la opción empleada de utilización del metano. Adicionalmente, estos costos variarán geográficamente reflejando los costos locales financieros, de materiales y de mano de obra. Sin embargo, se puede asumir que el costo de capital aumentará a medida que el nivel empleado de tecnología aumente. Para la digestión, la laguna anaeróbica cubierta requerirá la menor inversión de capital, con manta de lodos anaeróbico y los procesos de crecimiento adherido requerirán los mayores. A medida que la complejidad del proceso de digestión anaeróbica aumente, también aumentarán los costos de operación y mantenimiento. Por ejemplo, se requieren sólo conocimientos básicos de gestión y operación para la operación de laguna cubierta mientras que los procesos de manta de lodos anaeróbica y crecimiento adherido requieren un nivel más sofisticado de entendimiento de los fundamentos del proceso.

Para el uso del metano capturado, la inversión requerida de capital para la quema será la menor y la generación de electricidad será la mayor. El costo de un conjunto de generador-motor será al menos 25-30 por ciento del costo total del proyecto, dependiendo si hay venta de energía a la red. Además, los costos de operación y mantenimiento de la quema son mínimos y pueden ser importantes para la generación de electricidad. Por

ejemplo, el uso de biogás capturado para generar electricidad requiere un programa continuo de mantenimiento del conjunto motor-generador y puede incluir la operación y mantenimiento de un proceso de remoción de sulfuro de hidrógeno del biogás.

4.4.2 Beneficios Potenciales

Como se explicó anteriormente, la digestión anaeróbica de estiércol de ganado y residuos de procesamiento de productos agrícolas puede generar ingresos para al menos compensar e idealmente exceder los costos de capital y de operación y mantenimiento. Hay tres fuentes potenciales de ingresos. La primera son los créditos de carbono que pueden obtenerse por la reducción de emisiones de metano al modificar las prácticas existentes de manejo de residuos por la adición de la digestión anaeróbica. Como se indicó anteriormente, los factores de conversión de metano y por lo tanto, la reducción en emisiones de metano y los créditos de carbono acompañantes ganados son determinados por el sistema existente de manejo de residuos y varían desde esencialmente 0 hasta 100 por ciento. Así, el crédito de carbono será una fuente importante de ingresos para algunos proyectos y nulo para otros.

La segunda fuente potencial de ingresos es del uso del biogás capturado como combustible. Sin embargo, el ingreso obtenido dependerá del valor de la forma de energía reemplazada y de su costo local. Ya que el biogás no tiene un valor monetario determinado por el lugar de mercado, los ingresos obtenidos por su uso en lugar de una fuente convencional de energía estarán determinados por el costo de la fuente convencional de energía reemplazada. Si hay disponible electricidad de bajo costo generada por una hidroeléctrica, las ganancias derivadas del uso de biogás para generar electricidad pueden no justificar la inversión requerida de capital y los costos de operación y mantenimiento. Otro factor que necesita ser considerado en la evaluación del uso de biogás para generar electricidad es la capacidad de vender la electricidad en exceso al proveedor local de energía y el precio al que sería pagada. Puede haber una diferencia sustancial entre el valor de la electricidad usada en sitio y la entregada a la red local y esta última podría no ser adecuada para justificar el uso de biogás para generar electricidad. Idealmente, debería haber la capacidad de suministrar la generación en exceso a la red local durante periodos de baja demanda en sitio y posteriormente recuperarla durante periodos de alta demanda en sitio bajo algún tipo de contrato de medición de la red.

La tercera fuente potencial de ingresos son los créditos de carbono obtenidos de la reducción en emisiones de dióxido de carbono de combustible fósil cuando el uso de biogás reduce el uso de combustible fósil. Como con las ganancias derivadas directamente del uso de biogás como combustible, los créditos de carbono generados dependerán del combustible fósil reemplazado. Por usar biogás para generar electricidad, la magnitud de la reducción en emisiones de dióxido de carbono relacionadas con combustible fósil dependerá de la mezcla combustible usada para generar la electricidad reemplazada. Así, la mezcla combustible tendrá que ser determinada para soportar la validez de los créditos de carbono reclamados.

4.4.3 Proyectos Centralizados

De forma general, las pequeñas empresas de producción ganadera y de procesamiento de productos agrícolas no son candidatos adecuados para digestión anaeróbica para reducir emisiones de metano de sus corrientes de residuos debido a los altos costos de

capital y operación. Lo anterior también es cierto para empresas que solo generan residuos estacionales. Si todas las empresas están ubicadas en un área geográfica razonablemente pequeña, una opción posible es combinar residuos compatibles de una o más empresas para digestión anaeróbica localizada en una de las fuentes de residuos o en una ubicación centralizada. Al incrementar la escala del proyecto, el costo unitario de capital se reducirá. Sin embargo, los costos de operación aumentarán y la digestión centralizada no siempre será una opción viable si hace falta la capacidad de generar ingresos adecuados para al menos compensar los costos aumentados de operación.

Hay dos posibles modelos para proyectos centralizados de digestión anaeróbica. En el primer modelo, la digestión ocurre en una de las fuentes de residuos con el residuo de los otros generadores siendo transportado al sitio. Este es el modelo que típicamente se sigue cuando los residuos de una o más operaciones de procesamiento de productos agrícolas son co-digeridos con estiércol de ganado. En el segundo modelo, los residuos de todas las fuentes son transportados a un sitio separado para la digestión. La combinación de la distribución geográfica de fuentes de residuos y las opciones para maximizar las ganancias del metano capturado deben ser la base para determinar cuál modelo debe ser considerado con mayor análisis de una situación específica.

Para proyectos centralizados de digestión anaeróbica, el análisis de factibilidad debe comenzar con la determinación de la ubicación del proyecto que minimice los requerimientos de transporte para los residuos a ser digeridos anaeróbicamente y del efluente a ser desechado. La ubicación óptima del digester podría determinarse por ensayo y error, pero construir y resolver un modelo sencillo de transporte debe tener un enfoque más eficiente. Aunque es posible obtener manualmente la solución óptima, se debe considerar el uso de programación lineal. Con este enfoque, se pueden obtener y comparar las ubicaciones óptimas respecto a la minimización de los costos de transporte para un número de escenarios. Por ejemplo, se pueden delinear y comparar los costos de transporte asociados con la localización del digester anaeróbico en el mayor generador de residuos versus una ubicación geográficamente central.

A continuación, se deben calcular los ingresos que se generarán de la venta de créditos de carbono obtenidos de la reducción de emisiones de metano y del uso del metano capturado como combustible. Éstas dependerán de un número de factores que incluyen la ubicación del digester y las oportunidades para usar el metano capturado en lugar de fuentes convencionales de energía. Generalmente, el metano capturado que puede ser usado para satisfacer la demanda en sitio de electricidad o calentamiento tendrá el mayor valor monetario y producirá el mayor ingreso para al menos compensar e idealmente exceder los costos de capital del sistema y de operación y mantenimiento. Así, se debe desarrollar un perfil de uso de energía para cada fuente de residuos en un posible sistema centralizado para determinar el potencial del uso de metano en sitio y el ingreso que sería obtenido.

De forma ideal, la ubicación del digester que minimice el costo de transporte estará en la fuente de residuos con la mayor oportunidad de utilización de metano en sitio. Por lo tanto, el costo de transporte de residuo se minimizará mientras que el ingreso se maximizará. Sin embargo, la ubicación del digester que minimice costos de transporte podría no maximizar el ingreso del uso de metano debido a baja demanda de energía en sitio. Así, se deben evaluar localizaciones alternativas del digester para identificar la ubicación que maximice la diferencia entre la generación de ingresos del uso de metano y costo del transporte. De nuevo, se recomienda usar un tipo de modelo de transporte

simple para determinar la ubicación óptima del digestor. Si la localización óptima no se encuentra en una de las fuentes de residuos, será necesario un análisis adicional de incorporación de costos de compra de sitio.

5. ANEXOS

A.1 Contactos en Colombia

A continuación se listan todos los contactos en el país que tienen que ver con sectores, fuentes de financiación y distribuidores de tecnologías de digestión anaeróbica.

EMPRESA	CONTACTO	CARGO	e-mail	Teléfono
Federaciones y asociaciones del sector agropecuario				
Federación Nacional de Ganaderos – FEDEGAN	José Félix Lafaurie Rivera.	Presidente ejecutivo	fedegan@fedegan.org.co	(57x4) 5782020
Asociación Colombiana de Porcicultores - PORCICOL	Fernando Fajardo	Jefe Gestión Ambiental	medioambiente@porcicol.org.co	(57x1) 248 6777
	Juan Carlos Cuao	Encargado Ambiental ANTIOQUIA	medioambiente1@porcicol.org.co	
Federación Nacional de cultivadores de palma de aceite - FEDEPALMA	Laura Mantilla Miguel Mazorra	Programa de medio ambiente	lauram@fedepalma.org	(571x1)3138600
Asociación de cultivadores de caña- ASOCAÑA	Luís Fernando Londoño Capurro	Presidente	acampo@asocana.org	57 1x) 6647902
Centro de investigación de la caña de azúcar CENICAÑA	Edgar Castillo	Director de fábrica	dirfabri@cenicana.org	(57x2) 6876611
Federación Nacional de avicultores - FENAVI	Jorge Enrique Bedoya Vizcaya	Presidente Ejecutivo	jbedoya@fenavi.org	(57x1) 3219835

Entidades de financiación de proyectos de implementación o pilotos				
EMPRESA	CONTACTO	CARGO	e-mail	Teléfono
Instituto Colombiano de Ciencia y Tecnología - COLCIENCIAS	Juan Francisco Miranda Miranda	Director General	www.colciencias.gov.co	(571)6258480
Fondo para la Acción Ambiental y la Niñez - FPAA	Luis Germán Botero Ortiz	Director Administrativo y Financiero	www.accionambiental.org	(0571)4007168
FOMIPYME	Ricardo Lozano Pardo	Director	www.mincomercio.com.co	(57 1) 6067676
Agencia Presidencial para la Acción Social y la Cooperación Internacional	Luis Alfonso Hoyos Aristizabal	Director	www.accionsocial.gov.co	57 1) 596 0800 Ext. 01/02
Universidades y centros de investigación				
EMPRESA	CONTACTO	CARGO	e-mail	Teléfono
Universidad de Antioquia/ Laboratorio GIEM	Carlos Peláez	Investigador	labgiem@yahoo.es	(57 4)2195652
Universidad Pontificia Bolivariana/ Grupo de Investigaciones Ambientales	Carlos Naranjo	Investigador	www.upb.edu.co/gia	(57 4) 4488388
Centro de investigaciones Biológicas	Diego Miguel Sierra	Director general	www.cib.org.co	(57 4)4410855
Centro Investigación Agricultura Tropical			www.ciat.cgiar.org	(57 2) 4450000

A.2 SUBSECTORES CON POTENCIAL DE GENERACIÓN DE METANO

El sector agropecuario y agroindustrial genera dentro de sus procesos biomasa residual con un alto potencial de aprovechamiento energético. En esta sección se hace referencia a los sectores que tienen potencial de generación de metano, pero que actualmente no están generando por sus prácticas de tratamiento de efluentes.

A.2.1 Subsector Banano

a. Información del Sector

La producción de banano de exportación se concentra en 2 regiones de Colombia, Santa Marta (Magdalena) que cultiva el 25% de las hectáreas a 2007 y Urabá (Antioquia) que cultiva el 75% de las hectáreas a 2007. Las principales comercializadoras de banano en Colombia son Uniban, Banacol y Tecbaco, entre otras.

El área de banano cultivada en Colombia en 2007 fue de 42.827 Ha (Hectáreas)^{iError! Marcador no definido.}. Según UNIBAN, la productividad por racimos es de 2350 Racimos por Hectárea, sin embargo tomamos una productividad más baja para referenciar el promedio para Colombia. A continuación se listan las bases de cálculo para obtener la cantidad de banano de rechazo generado en Colombia en 2007.

Productividad para Banano de exportación (promedios): Según UNIBAN

- 2150 racimos por Ha – año (Estimado)
- 25,3 Kg por racimo promedio (22.77 kg fruta + 2.53 vástago)³

1984 cajas de exportación (18,14 Kg/caja), por Ha – año^{iError! Marcador no definido.}

Tabla 32: Producción de Banano en Colombia

Zona	Hectáreas Cultivadas 2007	Racimos - Año	Producción Fruta (Kg/año)	Fruta Exportada (Kg-año)	Fruta de Rechazo (Kg-año)	Fruta de Nacional (Kg-año)	Fruta Compostada (Kg-año)
Urabá	32.327	69.503.050	1.582.584.449	1.162.774.000	419.810.449	199.753.667	114.188.442
Santa Marta	10.500	22.575.000	514.032.750	379.126.000	134.906.750	64.191.156	36.694.636
Total Colombia	42.827	92.078.050	2.096.617.199	1.541.900.000	554.717.199	263.944.823	150.883.078

A continuación se exponen los indicadores de aprovechamiento con base en la producción de racimos (promedios según datos 2007):

- 71% Fruta Exportación % en peso producción de racimos⁴
- 9% Fruta Nacional % en peso producción racimos
- 6% Compostaje % en peso producción racimos
- 4% Desperdicio no aprovechado % en peso producción racimos
- 10% Residuo de Vástago % en peso producción racimos

³ Suministrado por UNIBAN

⁴ Informe de Coyuntura Bananera 2007 – www.augura.com.co

b. *Manejo, disposición y composición de los residuos.*

La producción de banano de exportación (variedad Cavendish valery) en Colombia genera grandes cantidades de residuos de frutos de banano no aprovechable y vástagos (porción de tallo) debido a los altos estándares de calidad que le exigen al producto en el mercado Internacional. Estos rechazos han sido objeto de manipulación incontrolada, en años pasados como la «...costumbre de disponerlos a cielo abierto y en botaderos no autorizados...» (Banatura, 2003, p. 38). Actualmente se está realizando compostaje a una porción, otra es molida y dispuesta en el cultivo y posiblemente todavía haya una porción que no se maneje adecuadamente. Su degradación natural genera gases tóxicos y de efecto invernadero, atracción de vectores y producción de lixiviados que arremeten contra la calidad hídrica superficial y subterránea y la calidad de los suelos.

En la Tabla 33 se muestra la cantidad de residuos que se generan en el año a razón de la producción de banano. La fruta de rechazo corresponde a la fruta no apta para exportar, la cual está destinada principalmente al consumo interno y al compostaje. Sin embargo hay una cantidad considerable que no es utilizada y es dejada en pilas en los sitios donde se genera (ver Figura 19).

Tabla 33: Cálculos Desperdicio de Banano de exportación

Zona	Fruta de Rechazo (Kg-año)	Fruta Nacional (Kg-año)	Compostaje Fruta (Kg-año)	Desperdicio fruta (Kg/Fruta)	Vástago (Kg-año)
Urabá	419.810.449	199.753.667	114.188.442	105.868.340	175.842.717
Santa Marta	134.906.750	64.191.156	36.694.636	34.020.958	57.114.750
Total Colombia	554.717.199	263.944.823	150.883.078	139.889.298	232.957.467



Figura 19: Pilas de banano de rechazo.

El proceso de compostaje se hace directamente en los centros de acopio de banano de las diferentes empresas. Los lixiviados que son generados en este proceso son depositados en piscinas de almacenamiento, una parte de los lixiviados es reincorporada al compost para mantener la humedad requerida. Debido a las condiciones climáticas de la zona y al manejo de las piscinas estas se encuentran generando metano (ver figura).



Figura 20: Piscinas de almacenamiento de lixiviados

c. *Potencial de producción de Metano*

El potencial de producción de metano se determinó para el total de la fruta que se considera de desperdicio. Adicionalmente fue determinada la generación de metano por el almacenamiento de lixiviados.

Varios estudios realizados alrededor del mundo han analizado el factor de producción de metano de residuos de fruta de banano y vástago, a continuación se lista el factor de producción de metano de algunos de dichos estudios.

Residuo	Autor	Factor de Producción de metano (m ³ CH ₄ / Kg SS)	% Sustancia Seca SS - ST	% Sustancia Seca Orgánica SSO - SV	Factor de Producción de metano (m ³ CH ₄ / Kg SSO)	OBSERVACIONES
Vástago Troncos de banano	Instituto de técnica agraria de Leibniz	0,036	5,8%	78,7%	0,79	Condiciones optimas 35°C y pH Neutro
	Chica 1983 - Producción de biogas a partir de banano de desecho. Trabajo de investigación (Ing Agr). Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Facultad de Agronomía. Medellín, Colombia	0,011	5,8%	78,7%	0,24	35°C y pH 5,6
Fruta de Banano	Instituto de técnica agraria de Leibniz	0,116	21,4%	95,0%	0,57	Condiciones optimas 35°C y pH Neutro
	V. C. Kalia 1999 - Anaerobic digestion of banana stem waste	0,05	21,4%	95,0%	0,25	

A.2.2 Centrales de Abasto

a. *Información del Sector*

Dentro de la cadena de procesadores de fruta, uno de los principales actores en cuanto a generación de residuos son las centrales de abastos o centros de acopio de distribución, estos presentan un alto potencial de generación de metano y adicionalmente tienen altos consumos de energía la cual puede ser sustituida por el gas generado.

Por lo tanto se tendrán en cuenta las centrales de abasto de Bogota, Medellín, Cali y Barranquilla, principales ciudades del país.

En la tabla se muestran los residuos generados por tonelada de producto en la central de abastos de Bogotá, así como el porcentaje de utilización de subproductos.

Tabla 34: Resumen principales centrales de abasto de Colombia.

Ciudad	Nombre	Ingreso alimentos Ton/d	Residuos Ton/día	Disposición actual
Bogota	Corabastos	11.000	100	Relleno sanitario
Medellín	Central Mayorista	2500	16 (material orgánico)	Compostaje
Cali	Cabasa	1000	80	Separación, Compostaje.
Barranquilla	Granabastos	1000	100	Agua: USAB Sólidos: separación, compostaje

Medellín

La Central Mayorista de Antioquia, con sede en Itagüí, para transformar los residuos sólidos e incorporarlos al ciclo productivo, dedicada a la recolección selectiva de productos orgánicos e inorgánicos en 1.100 locales, con la participación de 7.500 personas pertenecientes a la Cooperativa de Trabajadores Informales.

Diariamente recupera una tonelada de desechos inorgánicos, los cuales son vendidos a empresas como Peldar y Cartón de Colombia y 15 toneladas más de material orgánico (frutos y cáscaras), que son transformadas en insumos para uso agrícola y alimentos para animales.⁵

Bogota

La central de abastos de Bogota CORABASTOS, es la central más grande del país, con un ingreso diario de 10.000 toneladas de granos, frutas y verduras. En este lugar no existe un plan de manejo de residuos. Diariamente se generan 6500 toneladas de residuos, de los cuales el 80% corresponde a material orgánico. El 20% restante corresponde a cartón y restos de cajas de madera. El material orgánico es llevado en su totalidad al relleno sanitario "Doña Juana", el cual se encuentra ubicado a las afueras de la ciudad. El cartón es reutilizado y en algunos casos es vendido a empresas de reciclaje.

En términos energéticos, la central de abastos tiene un consumo de energía de 900.000 Kw_h/mes y no presenta consumos significativos de gas. Por lo que la generación eléctrica se perfila como una buena opción para este sector. Adicionalmente presenta un alto consumo de frío.

⁵ Estado de Los Recursos Naturales y del Medio Ambiente Municipio de Itagüí – 2005, Contraloría Municipal.

Tabla 35: Residuos por Tonelada de productos ingresados en Corabastos, Bogota.

PRODUCTOS	RESIDUOS SÓLIDOS PUTREFACTIBLES (kg/t de producto)	UTILIZACIÓN COMO SUBPRODUCTO (%)	MANEJO COMO DESECHO SÓLIDO (%)
Manzana	280	68	32
Citricos	390	98	2
Maiz	660	94	6
Aceituna	140	86	14
Durazno	270	33	67
Pera	290	31	69
Arveja	120	67	33
Tomate	80	25	75
Hortaliza miscelánea	220	41	59

Cali

La corporación de abastecimientos del Valle del Cauca CAVASA, se encuentra ubicada en las afueras de la ciudad de Cali. Mensualmente arriban a la central cerca de 30.000 toneladas de alimentos provenientes del departamento del Cauca y otras regiones del país. Los residuos generados inicialmente son separados para aprovechar materiales como cartón, vidrio y plástico. El material orgánico es tratado mediante un proceso de compostaje que permite la recuperación de los nutrientes presentes en dicho material para finalmente utilizarlo como abono de suelos.

Barranquilla

La central de bastos del Caribe GRANABASTOS, se encuentra ubicada en la ciudad de Barranquilla. Diariamente tiene un ingreso aproximado de 1000 toneladas de alimentos. Cuenta con una cooperativa de recicladores, quienes son los encargados de separar el material de vidrio, plástico y cartón para su posterior venta. Los residuos orgánicos son llevados a una planta de compostaje para su aprovechamiento como abono para suelos.

b. Potencial de Generación de Metano

El potencial de generación de metano se calcula teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$CH_{4(SW, P)} = TOW_{(SW)} \times B_o \times MCF_{(SW, P)} \quad (2.10)$$

Donde: $CH_{4(SW, P)}$ = Potencial de producción metano a partir de residuos sólidos, kg CH_4 por año

$TOW_{(SW)}$ = kg de DQO generados por año.

$MCF_{(AD)}$ = Factor de conversión de metano para digestión anaeróbica.

El factor de generación de metano para residuos orgánicos es de $0,54 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{Kg DQO}$ Destruída, $0,033 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{Kg Residuo Fresco}$.

A.3 Sectores no seleccionados

Con el fin de identificar los sectores con mayor potencial se realizó un primer filtro bajo los siguientes criterios, disponibilidad y concentración de biomasa residual, prácticas actuales de manejo de residuos y replicabilidad del aprovechamiento de biogás generado en el sector. Acorde a esto se explica brevemente la no aplicabilidad de los sectores para el objeto del presente estudio.

A.3.1 Abejas y apicultura

En Colombia la cadena de las abejas y la apicultura se encuentra conformada por la producción de miel, polen, propóleo, cera, jalea y larvas. En general se utilizan colmenas móviles fabricadas a base de parafina las cuales pueden ser reutilizada una vez extraída la miel. Este es un proceso productivo limpio en el sentido que no genera residuos orgánicos, por lo tanto no es un sector con emisiones de metano ni con residuos que presenten un potencial de generación y no se tiene en cuenta en el presente estudio.

A.3.2 Subsector Algodón

En Colombia, país privilegiado por su clima para el cultivo de algodón, se obtienen dos cosechas anuales. En la cosecha Costa-Llanos Orientales las siembras se llevan a cabo entre los meses de agosto y octubre dependiendo de las condiciones climáticas que se presenten, y se cosecha desde diciembre hasta marzo del año siguiente. En la cosecha del Interior las siembras empiezan en marzo y se extienden hasta abril, y la cosecha se obtiene entre julio y agosto del mismo año. Este subsector se concentra principalmente en 2 departamentos Córdoba (40% de la producción total de algodón semilla) y Tolima Córdoba (30% de la producción total de algodón semilla).

Tabla 36: Distribución de la producción de algodón semilla, cáscara de algodón y semilla.

Cosecha	Departamentos	Área (Has)	Producción Algodón Semilla (Ton/año)	Algodón Fibra	Cáscara Algodón	Semilla	Cascarilla de Semilla	Torta de semilla
				37%	6%	57%	45%	25%
				Algodón Semilla	Algodón Semilla	Algodón Semilla	Semilla	Semilla
				<u>Ton</u> <u>Año</u>	<u>Ton</u> <u>Año</u>	<u>Ton</u> <u>Año</u>	<u>Ton</u> <u>Año</u>	<u>Ton</u> <u>Año</u>
Costa Llanos 2006	Antioquia	49	59	25	4	33		
	Atlántico	1.028	653	252	39	372		
	Bolívar-Magdalena-Sucre	5.749	7.684	2.821	461	4.380		
	Cesar Norte - Guajira	5.797	7.106	2.717	426	4.051		
	Cesar Sur	3.479	9.108	3.315	546	5.192		
	Córdoba	20.858	46.408	17.337	2.784	26.453	11.903,722	6.613,179
	Llanos Orientales	1.960	2.243	824	135	1.278		
	Subtotal	38.919	73.261	27.290	4.396	41.759	11.904	6.613
Interior 2006	Cauca	26	38	15	2	22		
	Cundinamarca	1.492	3.707	1.393	222	2.113		
	Huila	1.019	2.847	1.118	171	1.623		
	Tolima	14.506	34.917	13.123	2.095	19.903		
	Valle	684	2.364	899	142	1.347		
	Subtotal	17.727	43.873	16.549	2.632	25.007		
Total	56.646	117.133	43.839	7.028	66.766	11.904	6.613	

Este sector genera una gran cantidad de biomasa residual (socas) en las plantaciones debido a que al finalizar la cosecha de algodón, los agricultores están obligados a destruir cualquier tipo de planta de algodón que quede en el área de producción. A partir de la fecha límite para el recibo de algodón semilla en las desmotadoras, es obligatorio destruir cualquier rebrote de plantas que permanezcan en las áreas de cultivos. Es una medida sanitaria que tiene como fin disminuir la prevalencia de las plagas en el siguiente ciclo vegetativo del cultivo. (Observatorio Agrocadenas - Tercer informe de coyuntura algodón 2006).

La cosecha de algodón semilla es comparada por 32 desmotadoras de algodón, 16 de ellas ubicadas en la región del interior y las otras 16 ubicadas en la región de la costa y los llanos, donde 8 de ellas están en el departamento de Córdoba, el proceso de desmote produce 37% algodón fibra y 57% semilla de algodón, la mitad de la producción de semilla de algodón se utiliza en la producción de aceite donde el 45% aproximadamente es la cáscara de la semilla y el 25% queda como torta de aceite.

Aunque según investigaciones realizadas se encontró que las cáscara de algodón, las cáscara de la semilla y la torta de aceite posee un potencial de generación de metano al tratarlas en condiciones anaeróbicas con medio basal o sin medio basal y agua. El tratamiento anaeróbico de este residuo demandaría un consumo de agua en regiones donde no hay abundancia, por esta razón no se calculó el potencial de generación de metano para este sector.

A.3.3 Arroz

El metano en campos de arroz es originado fundamentalmente por la descomposición anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de materia orgánica llevada a cabo por microorganismos del suelo. El metano generado de esta manera es liberado a la atmósfera por tres vías principales: (a) por burbujeo en el agua de inundación; (b) por difusión desde la superficie del agua de riego; y (c) por difusión a través de los tejidos de las plantas de arroz durante la estación de crecimiento.

Sin embargo, las medidas para reducir el metano que se libera a la atmósfera se refieren a buenas prácticas en el manejo del cultivo como lo es drenar el cultivo por dos o tres periodos cortos durante la temporada de crecimiento para airear las raíces de los cultivos y disminuir la actividad anaeróbica. Actualmente no se conocen las técnicas para capturar y aprovechar el metano generado, razón por la cual no será objeto de un estudio más detallado en esta investigación.

A.3.4 Papa

Los residuos de tubérculos que se generan son pocos y se utilizan como alimento para ganado. Por lo tanto ya existe una alternativa de disposición de la biomasa residual y esta no genera metano, adicionalmente los sitios de cosecha están muy dispersos en el territorio Colombiano y el uso de energía eléctrica y térmica no es significativo.

A.3.5 Cacao

Los cultivos de cacao están distribuidos a lo largo de todo el país en pequeñas fincas que generalmente están asociados con otros cultivos, principalmente, con frutales y maderables. Durante la cosecha y recolección el único residuo que se genera son las

mazorcas o vainas, las cuales son depositadas en los suelos como protección y fuente de materia orgánica, por lo que la generación de metano no se hace evidente en este sector.

A.3.6 Caucho

El caucho natural se obtiene a partir del látex emanado de la corteza de algunas especies de árboles. Para extraer el látex se realiza un procedimiento conocido como sangría, que consiste en la remoción de una pequeña porción de corteza con un corte diagonal por el que se da el escurrimiento hasta un recipiente recolector. Posteriormente el látex es tratado de acuerdo al producto requerido. Teniendo en cuenta que la materia prima son los árboles que permanecen plantados aun después de la vida útil de producción de látex, en este sector no se producen residuos que generen emisiones de metano.

A.3.7 Cereales

Los productos que hacen parte de este son: maíz, soya, sorgo, torta de soya, alimento balanceado, carne de pollo y cerdo, y huevos. Para efectos de este estudio, solo se tomarán como cereales el cultivo de maíz, soya y sorgo. En estos cultivos los residuos de cosecha que se generan son depositados directamente al suelo para protección del mismo y en algunos casos es compostado directamente en las fincas para su posterior uso como abono orgánico. Dicha práctica hace que el sector no presente emisiones de metano significativas.

A.3.8 Cítricos

Para efectos de este estudio, el subsector está conformado por la fase primaria del proceso, es decir, desde el cultivo hasta la recolección de las frutas. Los residuos que se generan en este proceso corresponden a frutas que no cumplen con la calidad requerida o que presentan algún tipo de enfermedad. La producción de cítricos en el país es de aproximadamente 1'000.000 de toneladas por año, las cuales corresponden a naranja, mandarina y limón. Los departamentos con mayor a la producción son Cundinamarca con un 7.3%, Valle 13.1%, Quindío 10,8% y Santander 9,9%, el resto de la producción está distribuida en pequeños porcentajes a lo largo del país. En la actualidad estos desechos son depositados nuevamente en el suelo como abono orgánico. Si bien existen unas emisiones por dicha práctica, estas no son significativas ya que el porcentaje de pérdida en los cultivos es bajo.

A.3.9 Procesadores de fruta

Esta cadena cubre los productos tales como frutas y hortalizas en las centrales de abastos, y una serie de productos asociados a la fase industrial como: jugos, concentrados, néctares, purés, pastas, pulpas, jaleas, mermeladas, aceites, esencias y pellets para alimentación animal.

En este subsector se generan grandes cantidades de vertimientos industriales. Las fuentes de generación de estos residuos líquidos obedecen a los procesos de lavado de materias primas, maquinaria, equipo y planta; este tipo de vertidos se caracteriza por tener sólidos en suspensión, altos contenidos de demanda bioquímica de oxígeno, DBO, demanda química de oxígeno, DQO, color y en algunos casos plaguicidas procedentes desde el mismo cultivo, que comúnmente se tratan mediante reactores UASB y tratamientos aerobios. Los residuos sólidos conforman el otro componente ambiental de importancia significativa, están representados por cáscaras y semillas. Adicionalmente se generan muchos residuos sólidos que corresponden principalmente a embalajes.

A.3.10 Piscicultura, atún y camarón de cultivo

Este subsector considera el cultivo de peces y camarones. En estos, no se generan residuos considerables, el agua de recambio del cultivo es vertida directamente a las fuentes de agua cercanas. Durante el procesamiento de los peces, camarones y atunes se generan residuos orgánicos que son tratados mediante procesos de compostaje en el sitio de la planta.

A.3.11 Agroindustria Chocolates, alimentos balanceados y derivados lácteos

Los sectores de chocolates, alimentos balanceados para animales y derivados lácteos. No se tienen en cuenta dentro del inventario debido a que residuos que generan son usados en otros procesos y algunos de ellos poseen sistemas UASB para el tratamiento de sus aguas residuales, los cuales queman el metano generado, adicionalmente sus prácticas de manejo de aguas residuales no son iguales entre las empresas del mismo sector por lo tanto no es posible establecer un indicador o parámetro para consolidarlo.

A.3.12 Panela

Solo se generan aguas de proceso en el lavado de utensilios y es vertida a las fuentes de agua cercanas. Este sector posee biomasa residual disponible, sin embargo hay poca concentración de esta, debido a que son pequeñas empresas y muy dispersas, por lo tanto dicho sector no se tiene en cuenta para el inventario de metano.

A.3.13 Tabaco

En este sector se consideran las plantaciones de tabaco y la industria procesadora. En las primeras, los residuos de hojas y tallos son depositados nuevamente al suelo para protección del mismo. Por otro lado en las industrias procesadoras se generan desechos como venas, picadura, cigarrillos que no cumplen con la calidad requerida, entre otros residuos relacionados. Todos estos desechos son incorporados nuevamente dentro del proceso productivo disminuyendo al máximo la generación de residuos. Por tales razones la industria tabacalera no presenta emisiones de metano a la atmosfera.

A.3.14 Subsector Café

El café es uno de los sectores más importantes dentro de la economía colombiana. Este ocupa el tercer lugar dentro de las exportaciones nacionales y representa el 12% del PIB agropecuario.

Según las estadísticas presentadas por la Federación Nacional de Cafeteros, en el 2006 el total de área cultivada era de 869.158 ha distribuidas en 551.480 fincas. Los departamentos de Antioquia, Tolima, Caldas y Valle, concentran el 47% del total del área sembrada y el 50% de la producción nacional. Según la Federación, en general las mayores diferencias regionales están relacionadas con el nivel de especialización y adaptación de variedades mejoradas (tecnificación). En la Tabla 37 se muestra la distribución del cultivo por departamento, producción y número de caficultores.

Tabla 37. Distribución del cultivo por departamento, producción y número de caficultores.

Departamento	Caficultores	Area (Ha)	Producción			Rendimiento	
	(Número)		Part.(%)	(Sacos 60 Kg)	(Tm)	Part.(%)	(Tm/Ha)
Antioquia	104.316	125.212	14,4%	2.066.400	123.984	17,2%	0,99

Departamento	Caficultores	Area	Producción			Rendimiento	
	(Número)	(Ha)	Part.(%)	(Sacos 60 Kg)	(Tm)	Part.(%)	(Tm/Ha)
Caldas	42.798	91.422	10,5%	1.421.280	85.277	11,8%	0,93
Tolima	55.529	106.131	12,2%	1.356.000	81.360	11,3%	0,77
Valle	64.476	89.570	10,3%	1.181.160	70.870	9,8%	0,79
Risaralda	27.033	62.052	7,1%	942.480	56.549	7,9%	0,91
Quindio	23.460	51.484	5,9%	941.280	56.477	7,8%	1,10
Huila	87.433	76.123	8,8%	894.000	53.640	7,5%	0,70
Cauca	7.360	61.604	7,1%	804.000	48.240	6,7%	0,78
Cundinamarca	47.604	61.121	7,0%	768.000	46.080	6,4%	0,75
Santander	33.106	37.882	4,4%	528.000	31.680	4,4%	0,84
N. Santander	30.336	31.947	3,7%	360.120	21.607	3,0%	0,68
Nariño	19.924	20.490	2,4%	267.600	16.056	2,2%	0,78
Cesar	5.029	21.226	2,4%	179.280	10.757	1,5%	0,51
Magdalena	2.252	16.535	1,9%	128.400	7.704	1,1%	0,47
Boyaca	14.112	12.012	1,4%	126.000	7.560	1,1%	0,63
La Guajira	1.462	4.348	0,5%	36.000	2.160	0,3%	0,50
Total Nacional	566.230	869.158	100,0%	12.000.000	720.000	100,0%	0,83

Fuente: FEDERACAFE , Encuesta Nacional Cafetera 1993/1997.

Durante la cosecha se generan residuos como hojas, tallos y raíces, los cuales son depositados en el cafetal, protegiendo los suelos y aportando materia orgánica. La pulpa generada en los beneficiaderos también es utilizada directamente como abono orgánico para el suelo, compostada o en lombricultivo. Sin embargo, la tradición colombiana ha sido la de utilizar grandes volúmenes de agua durante dicho proceso. Esta agua se contamina con los residuos sólidos (pulpa) y líquidos (mucilago fermentado) y constituye un problema ambiental para las comunidades cafeteras, donde la DQO del vertimiento varía aproximadamente entre 5.000 y 20.000 mg/L dependiendo de los kg de Café pergamino seco producidos. Por esta razón, Cenicafé consideró conveniente investigar formas de descontaminación del agua del beneficio del café, en lo cual fue muy exitoso el proceso de digestión anaeróbica. No obstante el éxito de este proceso de descontaminación, el alto volumen de agua a tratar, que puede ser del orden de los 40 litros/Kg Café Pergamino Seco, lo hizo inviable desde el punto de vista económico. Por esa razón los investigadores del Centro emprendieron un nuevo proyecto de investigación con el reto de, en vez de descontaminar el agua, evitar que ésta se contaminara. Adicionalmente los beneficiaderos de café están en cada finca cafetera, las cuales están atomizadas por toda la región andina, lo que hace difícil contar con una cantidad suficiente y concentrada de la biomasa.

Los investigadores de Cenicafé, entregaron la tecnología conocida como Becolsub Beneficio Ecológico con Manejo de Subproductos. Esta tecnología se convirtió en una revolución tecnológica, ecológica y económica y modificó radicalmente el concepto centenario sobre el proceso de beneficio húmedo del café. Ahora se puede beneficiar el café gracias al Becolsub, con tan solo 0.6 litros de agua por kg de café pergamino seco producido. (Reducción del 95% del volumen de agua empleado). De esta manera se controla el 92% de la contaminación orgánica que tradicionalmente, contaminaba las corrientes de agua. Por esta razón no se evaluara el potencial de producción de metano para este subsector.

A.3.15 Fique

En Colombia existen aproximadamente 17.000 Ha sembradas de Fique, las cuales están distribuidas principalmente en los departamentos de Cauca, Nariño, Santander Antioquia y Risaralda. La cadena de fique está conformada por una etapa primaria y una etapa industrial. Centraremos nuestra atención en las primeras etapas del proceso de producción donde se obtienen fibra de fique (cabuya), y cuyo proceso genera residuos sólidos, bagazo y jugos. Estos últimos son los que representan la mayor problemática ambiental debido a que son altamente corrosivos, tienen un alto contenido de DQO y DBO y un pH entre 4 y 5.

El cultivo de fique es un cultivo asociado, lo que significa que no hay áreas extensas sembradas, sino que está asociado a otros cultivos. Generalmente se siembra en heras para separar los diferentes cultivos o se utiliza como lindero entre terrenos. Cada finca funciona de manera independiente y la fibra que se obtiene es vendida en un centro de acopio a diferentes compañías que posteriormente la utilizan para hacer sacos y artesanías.

Actualmente cada finca posee una máquina desfibadora la cual funciona con gasolina. Durante el proceso de obtención de las fibras, se obtienen como subproductos el bagazo y los jugos. En muchos casos el bagazo es puesto en pilas y compostado, sin embargo la práctica común es la disposición directa sobre los otros cultivos para utilizarlo como abono, o para diferenciar las heras para la rotación de los cultivos. En todos los casos, el jugo cae directamente al suelo y es absorbido por el mismo.

En la actualidad no se están presentando emisiones de metano por el tipo de disposición que tienen estos subproductos. Técnicamente el jugo y el bagazo tienen un alto potencial de producción de metano debido a su carga orgánica tan alta. Sin embargo la falta de un centro de acopio para el desfibrado que permita la recolección de los subproductos para posteriormente generar metano, hace que este tipo de proyectos no sea viable, pues bajo las condiciones actuales implica tener un sistema de digestión anaeróbica en cada finca o transportar los residuos a un acopio, y ninguna de las alternativas es económicamente viable.

A.3.16 Aves de corral

Según el censo nacional avícola realizado en 2002, en Colombia hay 2.996 granjas avícolas de tipo comercial, 1.870 de las cuales están dedicadas al engorde de pollo, 961 a la producción de huevo de mesa, y 165 a reproductoras; respectivamente, dichos establecimientos cuentan con 9.441, 17.410 y 3.806 galpones. La participación regional en la producción de pollo la lidera la Zona Central del país (Cundinamarca, Tolima y Huila), con 35% del total, seguida del Valle (19%), Santanderes (18%), Antioquia (11%), Costa Atlántica (10%), Eje Cafetero (3%) y Oriental (1%). La mayoría de las granjas de reproducción-incubación, engorde, de ponedoras y las plantas de beneficio existentes en el país, se encuentran en los Departamentos de Cundinamarca y Santander, aunque las industrias con mayor productividad y volúmenes diarios se ubican en este último, con producciones diarias superiores a las 50.000 aves. En Cartagena, Medellín, Pereira, Cali y Bogotá hay empresas con producciones que van desde los 15.000 hasta los 35.000 pollos diarios (FENAVI).

De acuerdo con la reunión realizada con el director de la Federación Nacional de Avicultores (FENAVI) para identificar el manejo actual del estiércol, se concluyó que todo el estiércol de aves generado en Colombia se maneja mediante compostaje. Sin embargo algunas empresas como Pimpollo y Pollos Bucaneros han manifestado el interés de

producir biogás y generar energía eléctrica a partir de los desechos generados en las granjas. Para una de estas empresas, con una granja de 4300 pollos de engorde y 140000 reproductoras, se realizó un estudio de prefactibilidad técnica y económica. Se encontró un potencial de producción de metano de $96500\text{m}^3/\text{año}$. Sin embargo fue evidente el alto consumo de agua que se requeriría debido a las características del material de partida y los altos costos de la generación de energía vs. los bajos ingresos por venta de energía a la red, esto debido a que el 80% de la energía eléctrica en Colombia es generada por hidroeléctricas. Se concluyó que este tipo de proyectos tienen mayor factibilidad cuando el gas puede aprovecharse directamente en las granjas.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Asociación Colombiana de Porcicultores, 2007, PORCICOL, www.porcicol.org.co

Asociación de cultivadores de caña- ASOCAÑA.
<http://www.asocana.org/informes/Default.aspx>

Centro de investigación de la caña de azúcar, CENICAÑA
<http://www.cenicana.org/biblioteca/index.php>

Cleaner production assessment in meat processing. UNEP

Descripción de sectores agroindustriales, Observatorio AGROCADENAS,
www.agrocadenas.gov

Encuesta Nacional Agropecuaria, Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas,
www.dane.gov.co

Federación Nacional de Avicultores, FENAVI, www.fenavi.org

Federación Nacional de Cultivadores de palma de aceite, FEDEPALMA
www.fedepalma.org

Estadísticas del sector ganadero:
http://portal.fedegan.org.co/portal/page?_pageid=93,570324&_dad=portal&_schema=PORTAL

“Global Anthropogenic Emissions of Non-CO₂ Greenhouse Gases, 2005. EPA 2005.
<http://www.epa.gov/climatechange/economics/>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Methane to Markets, background information. 2005. www.methanetomarkets.org

Reubicación de las Granjas Avícolas en un escenario de Libre Comercio, XII Congreso Nacional Avícola, agosto 2004

Sacrificio de ganado bovino y porcino en 72 municipios, Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, www.dane.gov.co

Seguimiento a las plantas de sacrificio de ganado bovino y porcino en Colombia 2007, Procuraduría General de la Nación, Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios, Instituto de Estudios del Ministerio Público.