

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS COM ÊNFASE EM
BIOGÁS

GENERACION DE ENERGIA A TRAVES DE BIOGAS EN
COLOMBIA

Héctor Hernando Herrera

Foz do Iguaçu
2013

Héctor Hernando Herrera

**GENERACIÓN DE ENERGÍA A TRAVÉS DE BIOGÁS EN
COLOMBIA**

Monografía presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Especialista en Energías Renovables, con Énfasis en Biogás.

Orientadora:
Profa. Jocylaine Nunes Maciel.

Foz do Iguaçu
2013

533.73 Herrera, Héctor Hernando.
H557g Generación de energía a través de biogás en
Colombia./ Héctor Hernando Herrera. -- Foz do
Iguaçu, 2013.
127 f.: il.

Monografia (Especialização em energias
renováveis com ênfase em biogás) – Universidade
Federal da Integração Latino Americana, Foz do
Iguaçu, PR, 2013.

Bibliografía.

Orientador: Profa. Jocylaine Nunes Maciel

1. Biogás. 2. Energia renováveis. I. Título.

DEDICATÓRIA

A mi Sol y su soiecito, por el acompañamiento y el apoyo durante el curso, a la gente del Paraguay y Brasii, por recordarme con la experiencia que vivimos realidades diferentes en lo social, energético y ambiental pero compartimos los mismos sueños.

AGRADECIMIENTOS

El futuro inmediato nos presenta retos entre ellos está la necesidad de adquirir una formación acorde con nuestros principios y el compromiso ineludible que tenemos con nuestras *crianças* de brindarles un mundo donde cada uno de ellos pueda satisfacer sus propias necesidades, pensando más en términos de solidaridad y compromiso que de consumismo desaforado. Quiero agradecer la oportunidad brindada por el Parque Tecnológico de Itaipu, por la UNILA y por los *parceiros* como OLADE, la magnífica experiencia que significa compartir con profesionales de Brasil, los puntos de vista y las expectativas ante la incertidumbre provocada por el Cambio Climático y las oportunidades de desarrollo de nuevas tecnologías que esto nos brinda.

A mis colegas del curso por su desbordada hospitalidad, en esto los *brasileiros* son *os melhores do mundo...*

RESUMEN

El estudio de las energías renovables en Colombia, ha despertado interés, por la potencialidad que el país presenta en cuanto a los recursos hídricos, eólicos, térmicos, solares y de biomasa. La Unidad de Planeación Minero Energética ha desarrollado proyectos con el objetivo de caracterizar las fuentes, generar un plan de desarrollo de fuentes no convencionales de energía y revisar los obstáculos y barreras para el establecimiento de estas fuentes. Buscando contribuir a la caracterización del potencial del uso de la biomasa residual establecido en el Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia, mediante consideraciones de restricciones técnicas en cuanto al aprovechamiento para generación de biogás, se han establecido prioritariamente el tipo de biomasa susceptible de metanizar, de acuerdo al origen de la misma, sus potenciales de generación por actividad productiva, enfocada principalmente a los sectores agrícola, examinando la información reportada en el Atlas, con interés en los ocho cultivos que generan mayor crecimiento económico del PIB agrícola y el sector pecuario con los tres subsectores que potencialmente generan más residuos, debido a su mayor intensidad, teniendo la recopilación de la biomasa residual generada se procede a caracterizar su uso potencial en el corto y mediano plazo teniendo en cuenta los consumos sectoriales de Gas natural en el país, en las etapas de consumo de energía primaria, para generar energía eléctrica en las plantas termoeléctricas del país y considerando posteriormente el siguiente eslabón de la cadena con es el consumo sectorial, identificando de acuerdo al Balance Energético Nacional BEN desarrollado por la UPME, las demandas específicas sectoriales, tanto por energético con o por usos finales. El potencial encontrado de acuerdo a los supuestos y limitaciones establecidas, resulto ser de gran interés puesto que según las cifras estimadas, la producción de biogás en Colombia es suficiente para cubrir la demanda de combustible para la generación con Gas Natural y en un 90% de la demanda total de combustibles considerando la totalidad de la generación térmica.

La estimación de la generación de biogás en Colombia, vista desde el lado de la demanda de energía, presenta una gran ventaja, puesto que la implementación de proyectos de biogás además de generar beneficios económicos en los sectores de consumo, genera externalidades ambientales, sociales y de salud, que es necesario abordar con más profundidad en un estudio más detallado, es decir esta primera aproximación nos revela pistas acerca del abordaje de un análisis de viabilidad de implementación a gran escala de proyectos de generación de biogás, ya no solo con fines energéticos sino contemplado también por ejemplo la valorización del digestado lo que le agrega un ítem de viabilidad a los proyectos de este tipo.

Palabras clave. Biogás - Balance Energético colombiano - Biomasa Residual - Potencialidad de generación - Usos del Biogás Colombia.

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS.

T	tonelada métrica = 1000 kg.
m ³	metros cúbicos.
J	joule =
MJ	millón de joule (10 ⁶ Joules)
TJ	millón de mega joule (10 ¹² Joules)
MWh	millon de Watios hora
MBtu,	millon British thermal units
ARD	Agua Residual Domestica.
D.B.O.	Demanda Bilógica de Oxígeno.
D.Q.O.	Demanda Química de Oxígeno
GN	Gas natural
GNV	Gas Natural Vehicular
AUGURA	Asociación de bananeros de Colombia
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
Colciencias	Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación
CRA	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
DNP	Departamento Nacional de Planeación.

FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación
FEDEGAN	Federación nacional de ganaderos.
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MME	Ministerio de Minas y Energía
PIB	Producto Interno Bruto.
UIS	Universidad Industrial de Santander
UNILA	Universidad Federal de Integración Latino-Americana
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 Digestión Anaerobia	20
FIGURA 2 Etapas de Digestión Anaerobia	20
FIGURA 3 biodigestor Hindú	25
FIGURA 4 Modelo Chino.....	26
FIGURA 5 Modelo Laguna Cubierta.....	27
FIGURA 6 Reactor anaerobio de flujo ascendente.....	28
FIGURA 7 Disposición general de componentes y cobertura de un relleno sanitario	29
FIGURA 8 Fuentes de Biomasa Residual	31
FIGURA 9 Potencial Generación de Biomasa por cultivo.	43
FIGURA 10 Potencial Generación de Biomasa Sector Pecuario.....	44
FIGURA 11 Potencial Generación de Biomasa.....	49
FIGURA 12 Tipos de biomasa y su aprovechamiento.	50
FIGURA 13 Potencial Biogás Pecuario	53
FIGURA 14 Balance Anaerobio de DQO.....	54
FIGURA 15 Degradación Anaerobia de la DQO.	55
FIGURA 16 Potencial de Generación de Biogás	60
FIGURA 17 Opciones para la utilización del biogás.	62
FIGURA 18 Potencial Generación Biogás por Sector	63
FIGURA 19 Equivalencias de biogás con otras fuentes de energía	64
FIGURA 20 Alternativas de utilización del biogás y sus requerimientos de purificación	66
FIGURA 21 Oferta Interna de Energía 2010.....	68
FIGURA 22 Balance Energético Nacional UPME 2010 Colombia	69
FIGURA 23 Capacidad Generación 2010	70
FIGURA 24 Generación Eléctrica MWh/año. por Tecnología 2010.	71
FIGURA 25 Generación Eléctrica Térmica	72
FIGURA 26 Consumo Energético Colombia 2010.....	74
FIGURA 27 Consumo Gas Natural Sectorial 2010.....	75
FIGURA 28 Consumo GN sector Transporte 2010.	77
FIGURA 29 Consumo Gas Natural Sector Industrial.....	79
FIGURA 30 Consumo Energético Sector Residencial	81
FIGURA 31 Consumo Energía Sector Comercial	82
FIGURA 32 Potencial Biogás y Demanda de Gas Natural.....	84
FIGURA 33 Usos del Biogás	85
FIGURA 34 Consumo de Biogás en la Unión Europea	93
FIGURA 35 Potencial de producción de Biogás España	94
FIGURA 36 Producción de Biogás en Europa.....	94
FIGURA 37 Potencial Máximo Teórico de Biogás para las diferentes biomasa	95
FIGURA 38 Categorías de potenciales de biomasa.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Exigencias ambientales para la digestión anaeróbica.	22
TABLA 2 Composición del biogás derivado de diversas fuentes.	23
TABLA 3 Tipos de biomasa residual y características físicas.....	41
TABLA 4. Producción nacional para biomasa residual de cultivos	43
TABLA 5 Producción de biomasa residual del sector pecuario	44
TABLA 6 Cantidad de Residuos Plazas de Mercado.	45
TABLA 7 Características de las Aguas Residuales Municipales.....	46
TABLA 8 Producción nacional de Biomasa Arrial	48
TABLA 9 Potencial de biogás a partir de diferentes residuos orgánicos animales.....	51
TABLA 10 Generación de biogás para Residuos Pecuarios.....	52
TABLA 11 Generación Biogás ARD	56
TABLA 12 Potencial de generación de biogás para Residuos de Cosecha	59
TABLA 13 Composición del biogás generado.	61
TABLA 14 Potencial de generación de biogás por sustrato	63
TABLA 15 Utilización y consumo de biogás	64
TABLA 16 Oferta de Energía Primaria.....	67
TABLA 17 Capacidad de Generación Eléctrica.....	70
TABLA 18 Generación Real 2010 Tecnologías.....	71
TABLA 19 Consumo de Combustible Generación Térmica 2010.	72
TABLA 20 Consumo Energía Sectorial.....	73
TABLA 21 Consumo Gas Natural 2010	75
TABLA 22 Consumo Gas Natural Transporte.....	76
TABLA 23 Consumo Gas Natural Sector Industrial	78
TABLA 24 Consumo Energía Residencial.....	80
TABLA 25 Consumo Energético Sector Comercial.....	81
TABLA 26 Potencial Biogás y Demanda de Gás Natural.	84
TABLA 27 Sustancias Contaminantes del biogás sus efectos y necesidad de remoción	91

CONTENIDO

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE TABLAS	10
1. OBJETIVOS Y ALCANCE.....	17
1.1 Objetivo General.....	17
1.2 Objetivos Específicos.....	17
2. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS Y EQUIPOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.	19
2.1 Fases de la digestión anaeróbica.	19
2.1.1 Condiciones de reacción.	22
2.1.2 Características del biogás.....	23
2.2 Reactores para la producción de Biogás.....	24
2.2.1 Biodigestor modelo Hindú.	25
2.2.2 Biodigestor modelo Chino.	26
2.2.3 Biodigestor modelo laguna cubierta:	26
2.2.4 Reactores de tipo UASB.	27
2.2.5 Relleno sanitario.	28
3. ESTIMACIÓN DE POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN COLOMBIA.....	30
3.1 Potencial de producción de biomasa residual	30
3.1.1 Sector agrícola.....	32
3.1.2 Sector pecuario.....	36
3.1.3 Sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos.	38
3.1.4 Potencial de producción de residuos sólidos urbanos RSU.....	38
3.1.5 Efluentes domésticos de las grandes urbes en Colombia.	40
3.2 Producción de sustratos para la generación de biogás.	41
3.2.1 Producción de biomasa residual de cultivos.	42
3.2.2 Producción de biomasa residual sector pecuario.....	44

3.2.3	Producción de biomasa residual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos de centros de acopio y plazas de mercado.	45
3.2.4	Producción de Aguas Residuales.	46
3.2.5	Producción de Residuos Sólidos Urbanos.	47
3.3	Producción de Biomasa Total susceptible de Metanizar.	48
3.4	Potencial de producción de biogás.	49
3.4.1	Caracterización del potencial de producción de biogás por sustrato.	51
4.	ESTIMACIÓN DE FACTIBILIDAD DE UTILIZACION POTENCIAL DE BIOGÁS EN COLOMBIA.	61
4.1	Potencial de generación de biogás.	62
4.2	Aprovechamiento del biogás.	64
4.3	Demanda de energía y biogás.	67
4.3.1	Consumo de energía térmica para generación eléctrica.	70
4.3.2	Consumo de Energía en Colombia.	73
4.4	Consumo de Gas Natural Sectorial.	74
4.4.1	Consumo de Gas Natural sector transporte.	76
4.4.2	Consumo de Gas Natural Sector industrial.	77
4.4.3	Consumo de gas residencial.	80
4.4.4	Consumo de Gas Natural Sector Comercial.	81
4.5	Análisis de competitividad.	83
4.5.1	Exigencias tecnológicas por uso.	85
4.5.1.1	Producción de biogás para generación eléctrica.	86
4.5.1.2	Producción de biogás para generación térmica.	88
4.5.1.3	Integración en la red de gas natural.	89
4.5.1.4	Utilización como combustible vehicular.	89
4.6	Técnicas de purificación del biogás.	90
4.6.1	Métodos de depuración del biogás según tecnologías.	90
4.6.1.1	Métodos de adsorción.	91
4.6.1.2	Métodos de absorción.	91
4.6.1.3	Métodos biológicos.	91
4.7	Experiencias internacionales.	92
4.7.1	Unión Europea.	92
4.7.2	América Latina.	95
5	POLITICAS DE INCENTIVOS Y CONCLUSIONES.	97
5.1	Legislación aplicable a la promoción.	97

5.1.1	Legislación en Biocombustibles.....	97
5.1.2	Legislación en Biogás.....	98
5.2	Conclusiones del estudio.....	99
5.3	Recomendaciones.....	101
	BIBLIOGRAFÍA.....	103
	ANEXO A.....	109
	Potencial energético de la biomasa Residual en Colombia.....	109
	ANEXO B.....	123
	Tecnologías y métodos de purificación de Biogás.....	123

INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo fue abordado el estudio del potencial de la producción de biogás en Colombia, se parte de la base de información recopilada en diferentes estudios sobre caracterización de la matriz energética colombiana, la participación de las energías renovables, el potencial de biomasa residual y la caracterización de la producción de biogás de diversas fuentes en Colombia.

Basado principalmente aunque no exclusivamente en la información recolectada por la Unidad de Planeación Minero Energética UPME, en el estudio Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia, el cual contiene la información de la caracterización de la biomasa residual resultante de las actividades agropecuarias en Colombia, donde se evalúa la oferta energética de la biomasa contenida en algunas especies representativas de los sectores agrícola, pecuario y de los residuos sólidos orgánicos urbanos.

También se recopiló información del potencial de generación de biogás procedente de sistemas de tratamiento de aguas residuales en centros poblados y sitios de disposición de residuos sólidos urbanos correctamente dispuestos.

Desde los puntos de vista del potencial existente por fuente, tecnología de producción, aspectos y condiciones fisicoquímicas involucradas, valoración energética de cada uno de ellos y por ende las posibilidades de empleo del biogás producido así como un análisis de conveniencia preliminar, como argumento de decisión para la destinación de utilización del biogás resultante en los sectores de consumo y las posibilidades de utilización.

El biogás producido a partir de la digestión anaeróbica de biomasa presente en diversos efluentes y residuos domésticos, industriales y agropecuarios, representa una alternativa renovable de energía, importante en el contexto mundial,

en Colombia, este recurso aun no ha sido suficientemente estudiado y este trabajo busca establecer las bases para la exploración de la caracterización de su potencial energético y las condiciones técnicas, ambientales, sociales y económicas para el aprovechamiento del biogás.

Información existente acerca de la potencialidad de producción de Biogás en las diferentes fuentes y procesos está caracterizada de acuerdo, a los requerimientos técnicos a la producción para el mismo, especificaciones fisicoquímicas contenido en metano y contenido energético resultante del proceso.

En Colombia la política de masificación del consumo de Gas Natural GN ha llevado a que el empleo del mismo sea común y se hayan construido redes de distribución domestica y tenga una gran aplicación en el uso vehicular GNV, pero también se cuenta con estudios para determinar el potencial de producción de biomasa residual, entendida según la UPME 2010, como los subproductos que se derivan de las transformaciones naturales o industriales que se llevan a cabo en la materia orgánica y residuos de cosecha RC, residuos sólidos urbanos, los cuales pueden emplearse para su transformación en la producción de Biogás.

Teniendo claridad sobre la potencialidad de producción de biogás, a través del aprovechamiento de los residuos de biomasa y residuos urbanos; se hace necesario determinar bajo las condiciones existentes, de tecnología, de potencial de producción, de condiciones sociales, ambientales y económicas el aprovechamiento del biogás potencialmente producido, para la generación de energía, ya sea mecánica, como combustible vehicular, térmica eléctrica, para calentamiento de agua y cocción y demás usos térmicos domésticos y/o para la generación de energía eléctrica..

Además de las estimaciones de potencial, el estudio realizó una prospección de la normativa y políticas que impactan la instalación y operación de plantas de biogás de biomasa en Colombia desde una perspectiva estratégica, es decir, se tienen en cuenta aspectos agropecuarios, tecnológicos, medioambientales y energéticos.

Este trabajo busco estimar el potencial de producción y aprovechamiento energético del biogás en el contexto colombiano, para lo cual en el capítulo 1 se

establecen el Objetivo General buscado con esta investigación y los objetivos específicos del mismo, en el capítulo 2 son descritos los procesos y equipos para la producción de biogás.

En el capítulo 3, se estimado el potencial de producción de biogás considerando las diferentes materias primas inventariadas a partir de los cuales se puede producir biogás; biomasa residual, residuos sólidos urbanos y efluentes domésticos de las grandes urbes en Colombia.

En el capítulo 4 se analiza la factibilidad de la sustitución de biogás para los diferentes usos energéticos posibles utilizados actualmente; producción de calor, cogeneración, generación eléctrica y uso como combustible vehicular, y se establece el análisis de competitividad en relación con los demás energéticos usados para estos fines.

En el capítulo 5 se presentan las medidas políticas y de incentivos para la producción de biocombustibles en Colombia, especialmente de biogás y las posibilidades factibles para su aprovechamiento energético así como las conclusiones y recomendaciones del estudio.

1. OBJETIVOS Y ALCANCE.

La potencialidad de generación de biogás en Colombia, partiendo de la biomasa residual como sustrato y sea han generado documentos técnicos para la caracterización energética de esa biomasa así como se han establecido las características de producción de biogás y el Balance Energético Nacional UPME 2012 dan cuenta de la demanda de gas natural como energético y sus posibilidades de sustitución.

1.1 Objetivo General.

El desarrollo de este proyecto busca estimar el potencial de generación de biogás en Colombia, a partir de biomasa residual generada en actividades agropecuarias y de disposición de residuos urbanos y sus posibilidades de sustitución como energética en los sectores de consumo, basado en estudios desarrollados por la Unidad de Planeación Minero Energética UPME, y la información secundaria recopilada para este estudio. Par lo cual se propone desarrollar y dar alcance a las siguientes actividades.

1.2 Objetivos Específicos.

- Describir los procesos, variables y equipos para la producción de biogás.
- Estimar el potencial de producción de biogás considerando las diferentes materias primas inventariadas a partir de los cuales se puede producir biogás; biomasa residual, residuos sólidos urbanos y efluentes domésticos de las grandes urbes en Colombia.

- Analizar la factibilidad de la sustitución de biogás para los diferentes usos energéticos posibles utilizados actualmente; producción de calor, cogeneración, generación eléctrica y uso como combustible vehicular.
- Establecer el análisis de competitividad en relación con los demás energéticos usados para estos fines.
- Recuento de las medidas políticas y de incentivos para la producción de biocombustibles en Colombia, especialmente de biogás y las posibilidades factibles para su aprovechamiento energético así como las conclusiones y recomendaciones del estudio.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS Y EQUIPOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.

Los procesos de digestión de materia de origen animal han sido utilizados durante largo tiempo en la India y China, para la obtención de biogás de uso energético y para la obtención de un material acondicionador de suelos y más recientemente como una medida medioambiental para procesos naturales de degradación de la materia orgánica.

El objetivo del estudio es abordar la potencialidad de generación de biogás, en Colombia, para lo cual se presenta una descripción de las fases de la digestión anaeróbica como principal tecnología empleada para la obtención de biogás, las fases de la digestión anaeróbica, las condiciones de reacción óptimas para el máximo aprovechamiento del sustrato, las características de biogás generado y los principales tipos de reactores empleados y su descripción.

2.1 Fases de la digestión anaeróbica.

El método más común de producción de biogás es la digestión anaeróbica en un tanque cerrado llamado 'biodigestor'. (Figura 1.) La biomasa se mezcla en el digestor con agua para formar una suspensión, en la cual la digestión anaeróbica del material orgánico se realiza en dos pasos. En el primer paso, llamado licuefacción, la materia es descompuesta por hidrólisis enzimática y fermentada para producir principalmente ácidos y alcoholes.

Seguidamente, en la etapa de gasificación, las bacterias metanogénicas rompen los ácidos y los alcoholes, para producir metano y dióxido de carbono, nitrógeno y ácido sulfhídrico (Figura 2).

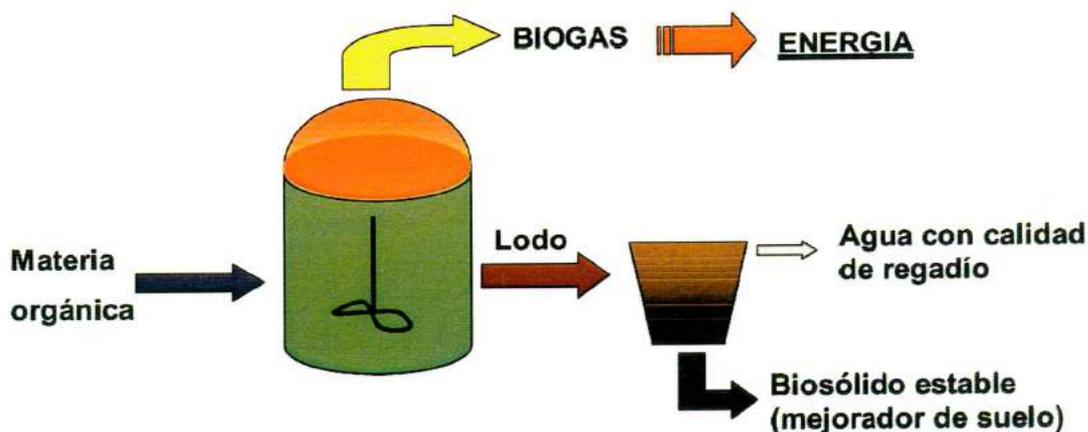


Figura 1 Digestión Anaerobia.

Fuente: Chamy 2008

Las fases involucradas en la digestión anaeróbica se muestran a continuación en la figura 2

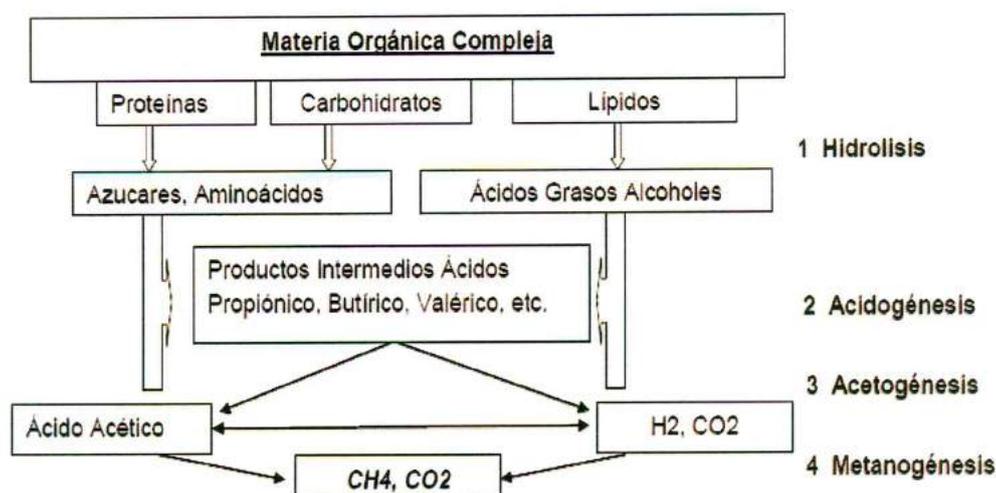


Figura 2 Etapas de Digestión Anaerobia

Fuente: Cuesta Santines 2011.

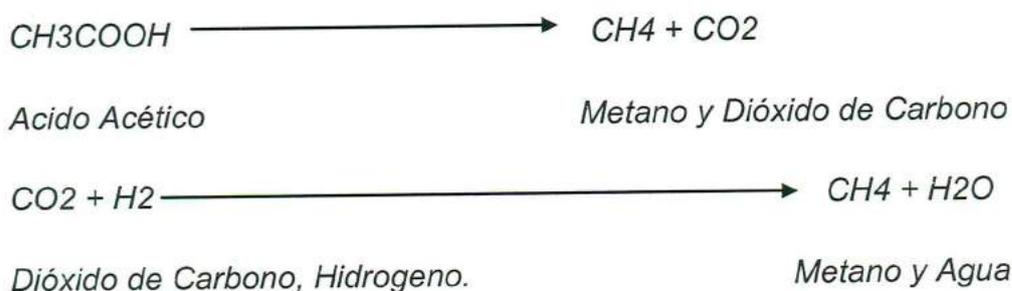
Según Cuesta Santianes y otros 2011, La fermentación anaeróbica de la materia orgánica consta de cuatro (4) etapas en las que intervienen diferentes tipos de bacterias: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis las fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos son:

1) Hidrolisis: Es el primer paso necesario para la degradación de la materia orgánica. En esta etapa, las bacterias hidrolíticas actúan sobre la materia orgánica rompiendo los polímeros enzimáticamente en los correspondientes monómeros o cadenas más sencillas. Transformando los lípidos a ácidos grasos de cadena larga y glicerina. Las proteínas son hidrolizadas en péptidos y aminoácidos, y los polisacáridos son convertidos en monosacáridos.

2) Acidogénesis: Los compuestos solubles obtenidos son transformados por las bacterias acidogénicas en ácidos grasos volátiles, alcoholes, amoníaco, hidrógeno y dióxido de carbono. Los ácidos grasos volátiles son principalmente ácido acético, propiónico, butírico y valérico.

3) Acetogénesis: En esta etapa por la acción de las bacterias acetogénicas los productos intermedios del proceso (ácido propiónico, butírico, etc.) son transformados en productos más sencillos, como ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono que, posteriormente, pueden ser aprovechados por las bacterias metanogénicas.

4) Metanogénesis. En esta etapa, las bacterias metanogénicas transforman el ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono en metano y dióxido de carbono. Las bacterias responsables de este proceso son anaeróbicas estrictas, es decir solo sobreviven en ambientes anóxicos. De ellas se existen dos tipos de microorganismos, los que degradan el ácido acético a metano y dióxido de carbono y los que reducen el dióxido de carbono con hidrógeno a metano y agua.



La principal vía de producción de metano es la primera reacción, la cual es la responsable de alrededor del 70% del metano producido Según Cuesta Santianes.

Para hacer posible algunas reacciones es necesaria la asociación sintrófica entre bacterias acetogénicas y metanogénicas, creando agregados de bacterias de estas diferentes poblaciones.

2.1.1 Condiciones de reacción.

Como se anteriormente sobre la digestión anaeróbica para la producción de biogás, este es obtenido a partir de la digestión anaeróbica de los sustratos. La digestión anaeróbica corresponde a una serie de reacciones bioquímicas con la participación de diferentes microorganismos con cambios metabólicos y determinadas condiciones de reacción explicadas a continuación.

De acuerdo a Padilha Botton, al igual que todos los procesos biológicos, la permanencia de las condiciones de vida es muy importante. El cambio en la temperatura o los cambios en la concentración de sustratos o sustrato puede conducir a la pérdida de la producción de gas. El gas puede no ser producido por tres semanas o incluso más, hasta que el sistema biológico se adapta a las nuevas condiciones y comenzar la producción de biogás de nuevo sin ninguna intervención externa.

Los procesos de metabolismo microbiano dependen de varios parámetros (Tabla 1), y para el proceso de fermentación ideal, varios parámetros deben ser considerados y controlados. Además, el medio de cultivo de bacterias fermentativas, por lo que la hidrólisis y acidificación de los sustratos se producen, tienen requerimientos que difieren de los requeridos para los microorganismos productores de metano.

Tabla 1. Exigencias ambientales para la digestión anaeróbica.

Parámetros	Hidrólisis/acidogénesis	Formación de metano
Temperatura	25–35°C	Mesófilos: 32–42°C
		Termófilos: 50–58°C
Rango de pH	5,2–6,3	6,7–7,5
Relación C:N	10–45	20–30
Materia seca	<40% de materia seca	<30% de materia seca
Potencial redox	+400 a -300 mV	<- 250 mV
Relación C:N:P:S	500:15:5:3	600:15:5:3

Traza de elementos	Sin exigencia especial	Esenciales: Ni, Co, Mo, Se
--------------------	------------------------	----------------------------

Fuente: Deublein, 2010.

2.1.2 Características del biogás.

Las características físicoquímicas del biogás dependen de la presión, temperatura, humedad, concentración de metano, y la concentración de gases inertes y o los ácidos. Puede ser utilizado en condiciones donde se genera y, dependiendo de la aplicación, puede ser necesario reducir la concentración de contaminantes H₂S y el CO₂, reducción de la humedad o incluso elevarle la presión para hacerlo más manejable (KUNZ, 2012).

Dependiendo del sustrato empleado, las condiciones de reacción, las condiciones medioambientales, el contenido de humedad y acidez, el biogás resultante contiene una mayor cantidad de metano que lo hace más valioso desde el punto de vista de contenido energético.

La Tabla 2 resume la composición promedio del biogás según la fuente. El valor calorífico varía entre 17 y 34 MJ/m³ según el contenido de metano.

Tabla 2 Composición del biogás derivado de diversas fuentes.

Gases	Desechos agrícolas	Lodos cloacales	Desechos industriales	Rellenos sanitarios	Propiedades
Metano	50 - 80%	50 - 80%	50 - 70%	45 - 65%	combustible
CO ₂	30 - 50%	20 - 50%	30 - 50%	34 - 55%	ácido, asfixiante
Vapor agua	saturación	saturación	saturación	saturación	corrosivo
Hidrógeno	0 - 2%	0 - 5%	0 - 2%	0 - 1%	combustible
H ₂ S	100 - 7000ppm	0 - 1%	0 - 8%	0,5 - 100ppm	corrosivo, olor, tóxico
Amoníaco	trazas	trazas	trazas	trazas	corrosivo
CO	0 - 1%	0 - 1%	0 - 1%	trazas	tóxico
Nitrógeno	0 - 1%	0 - 3%	0 - 1%	0 - 20%	inerte

Oxígeno	0 - 1%	0 - 1%	0 - 1%	0 - 5%	corrosivo
Orgánicos	trazas	trazas	trazas	5ppm	corrosivos, olores

Fuente: Colmares y Santos 2007.

El contenido energético del biogás varía en función del contenido de metano en su composición, cuanto más metano es más rico el biogás. Para biogás generado en rellenos sanitarios el contenido de metano es en promedio del 50%; mientras que cuando este es generado en reactores anaeróbicos de efluentes, la concentración media es más elevada, alcanzando esta aproximadamente cerca de 70%. Sin embargo en comparación con el gas natural (95% de metano), presenta menor poder calorífico, como resultado de su bajo contenido de metano. Colmares y Santos 2007.

2.2 Reactores para la producción de Biogás.

Tal como ha sido establecido anteriormente, la digestión anaeróbica es un proceso por etapas según la cual algunos grupos de bacterias que actúan en ambientes anóxicos, degradan la materia orgánica para producir compuestos más simples como metano, dióxido de carbono, agua, etc., extrayendo simultáneamente la energía necesaria para su crecimiento.

Un biodigestor es un reactor biológico, donde bajo condiciones controladas ocurren las reacciones establecidas de la digestión anaeróbica, el mayor control de las condiciones de reacción producidas en el bioreactor genera un biogás con mayor contenido de metano y por ende mayor contenido energético .

Existen básicamente tres (3) modelos de bioreactores estandarizados a nivel internacional los cuales han demostrado su eficacia en el tratamiento de residuos y material en la producción de biogás. En seguida son descritos algunos de esos modelos.

2.2.1 Biodigestor modelo Hindú.

Es originario de India y se ha difundido mucho debido a la presión de trabajo constante que se logra en el proceso, generalmente son verticales, con el gasómetro incorporado (por lo que llama digestor de Cúpula Móvil), la estructura se construye de bloques y concreto, el gasómetro es de acero, lo que lo hace costoso.

El gasómetro posee una camisa que se desliza en un eje y lo mantiene centrado para que no roce con las paredes ni se oxide, este eje descansa en una viga transversal de concreto armado enjaulado.

Estos digestores son de alimentación continua, se construyen generalmente enterrados quedando la cúpula sin gas en un nivel cercano a la superficie del terreno (Figura 3) Torres 2009.

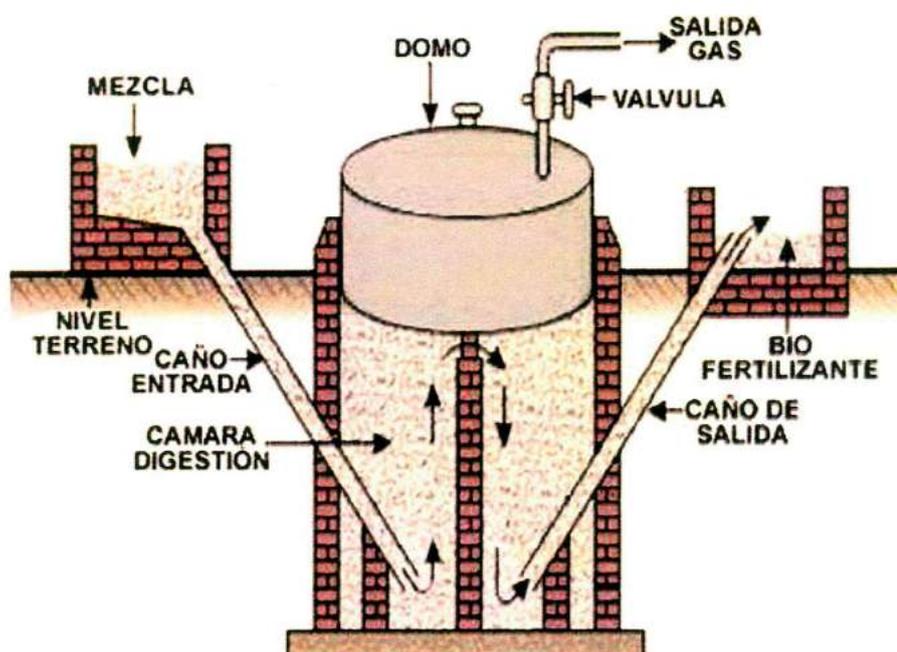


Figura 3 Biodigestor Hindú.

Fuente: Torres y Arteaga 2009

2.2.2 Biodigestor modelo Chino.

Este modelo (Figura 4) está muy difundido en China, más de cinco millones de biodigestores se han construido en el país, pero desgraciadamente, la tecnología no ha sido tan popular fuera de éste.

Este modelo corresponde a un digestor de cúpula fija en forma cilíndrica, enterrado con cámaras de hidropresión. La estructura puede ser de hormigón, de ladrillo, bloques, adobes y se les puede adicionar el gasómetro externo.

Este digestor por estar enterrado favorece el proceso fermentativo, con poca influencia por los cambios de temperatura, la desventaja que presenta es que la presión del gas es variable dependiendo del volumen acumulado.

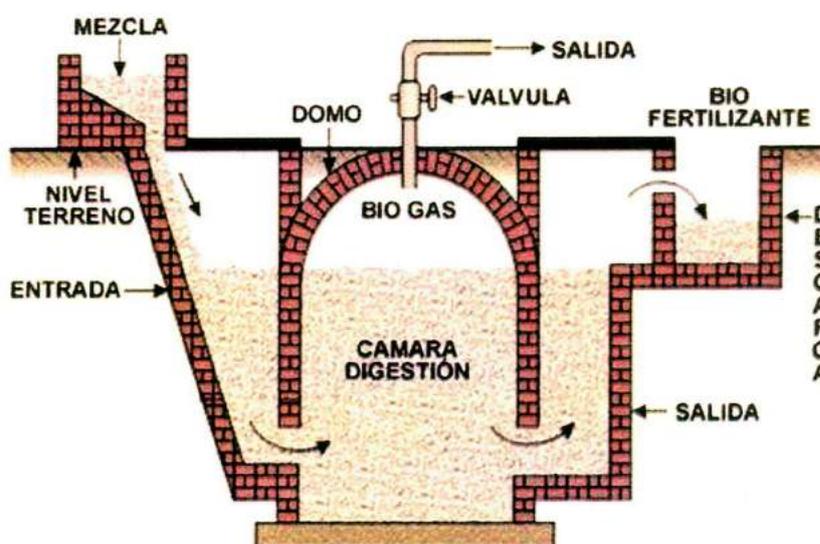


Figura 4 Modelo Chino

Fuente: Torres y Arteaga 2009

2.2.3 Biodigestor modelo laguna cubierta:

Este tipo de biodigestor se utiliza para proyectos de gran escala. En el momento en que se determine que se requiere de un número importante de

biodigestores tubulares en serie o paralelo, se pasa al uso del biodigestor tipo laguna cubierta.

Este tipo de biodigestor tiene la ventaja de poder hacerse con mayores profundidades lo que se reduce el área para el proyecto de biodigestión.

Se realiza una laguna con las dimensiones adecuadas y luego se hace un cubrimiento de la misma utilizando HDPE (polietileno de alta densidad). Luego se hace la colocación de la cubierta, que puede ser PVC reforzado o bien HDPE (Figura 5).

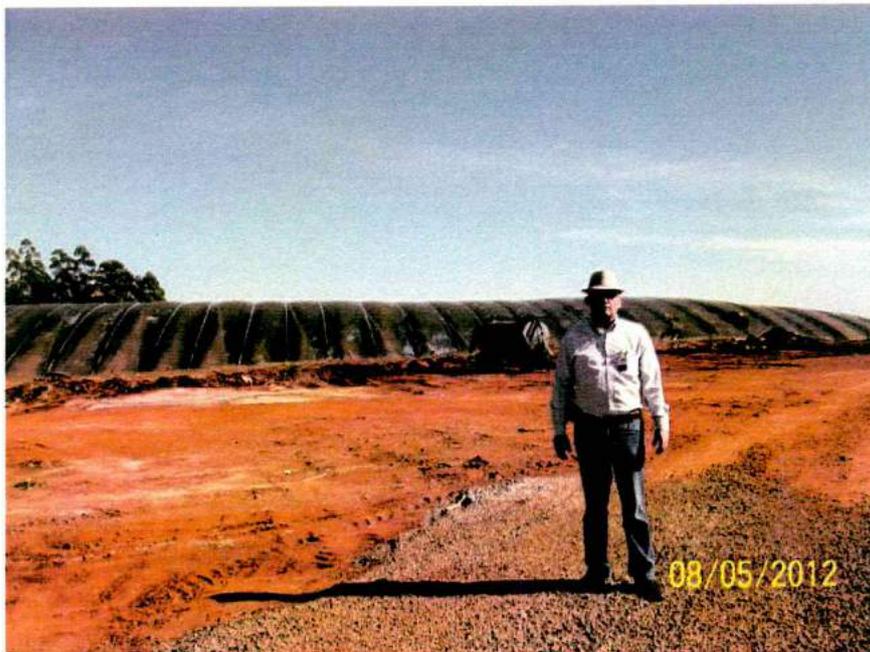


Figura 5 Modelo Laguna Cubierta

Fuente: Fotografía Autor

2.2.4 Reactores de tipo UASB.

Estos reactores anaeróbicos presentan un alto desempeño en la producción de biogás, caracterizándose por el flujo ascendente de los efluentes UASB por su nombre en inglés (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket).

Una limitación de estos reactores se basa en el hecho que no toleran altas concentraciones de sólidos en la alimentación del sistema, necesitando una buena separación sólido-líquido previa (Figura 6)

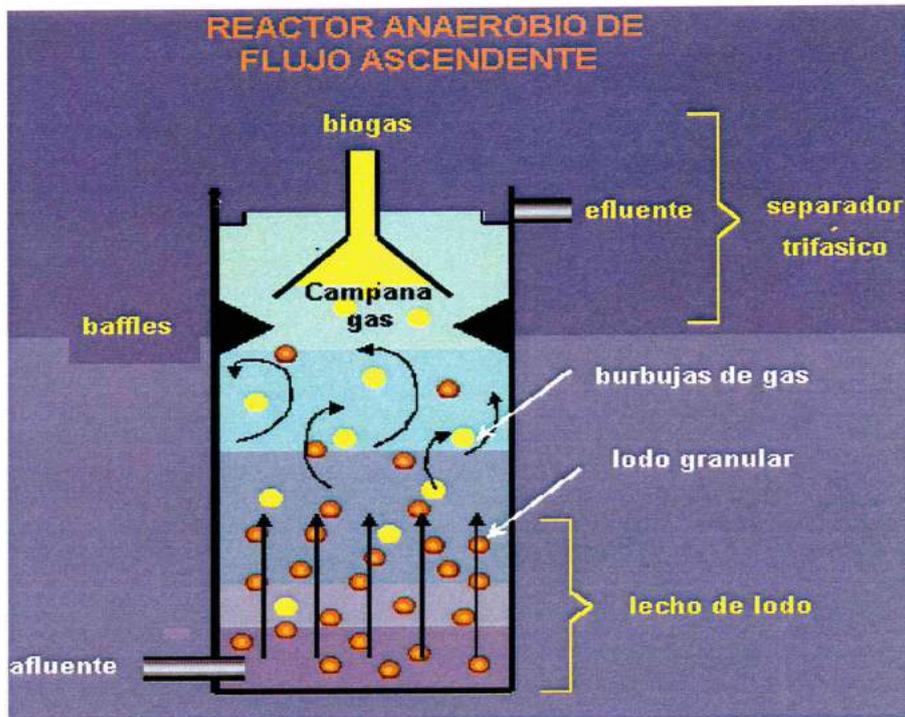


Figura 6 Reactor anaerobio de flujo ascendente.

Fuente: Morillo 2005

2.2.5 Relleno sanitario.

Según Serrano 2005, un relleno sanitario es un gigantesco biodigestor anaerobio que tiene el potencial de producir energía renovable a partir del metano contenido en el biogás. Alternativamente, a escala mucho menor, puede llevarse a cabo un tratamiento de fermentación aeróbica controlada (es decir, un proceso de compostaje) para la producción de compost, utilizando materia orgánica, particularmente restos vegetales y de alimentos, así como papel y demás productos celulósicos.

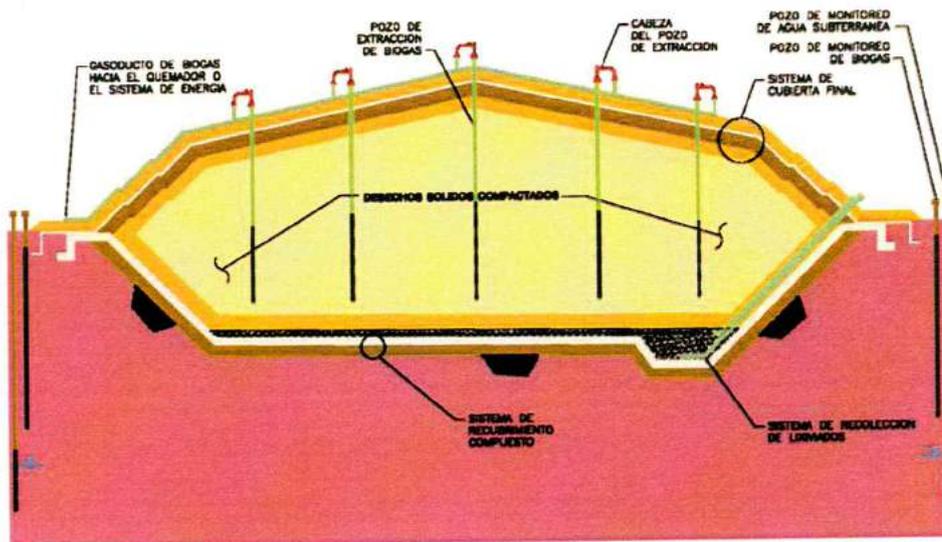


Figura 7 Disposición general de componentes y cobertura de un relleno sanitario

Fuente: Dávila 2009

De acuerdo con Serrano, es necesario considerar algunos aspectos importantes en el momento de decidir por la iniciación de un proyecto de recuperación de biogás.

Documentar adecuadamente la metodología de manejo integral de los RSU y la captación y uso del biogás.

Para casos de interés nacional, la diversidad de la utilización del biogás, va desde su utilización térmica para uso doméstico, combustible vehicular, generación eléctrica, pilas de combustible y demás.

Según los objetivos del diseño del relleno sanitario se puede necesitar una planta de tratamiento del biogás, para lograr un producto con las características del biogás o del metano producido acordes a estándares sobre contenido de humedad, dióxido de carbono, sulfuro de hidrogeno, etc.

La cobertura de disposición final en rellenos sanitarios, potencia la generación de biogás y su manejo ambiental sostenible. Los proyectos de biogás-energía están reconocidos como fuentes competitivas de energía renovable que generan las 24 h/día y están disponibles más del 90% del tiempo y que puede competir con alternativas energéticas como gas natural, carbón y derivados del petróleo, particularmente en el área de influencia del relleno.

3. ESTIMACIÓN DE POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN COLOMBIA.

Establecidas en el capítulo anterior, las fases y etapas de producción de biogás, los reactores tipo y las características fisicoquímicas y energéticas del biogás generado por categoría de sustrato, seguidamente son presentadas las estimaciones basadas en estudios de inventarios y potencialidades para cada uno de los sustratos y el procesamiento necesario para la producción de biogás y sus cuantificación teórica, disponible y aprovechable.

3.1 Potencial de producción de biomasa residual

La UPME 2009, estableció en su estudio, la potencialidad de disponibilidad de biomasa residual en Colombia, con el fin de establecer el atlas de biomasa y constituir un documento de consulta y referencia, para formuladores de política energética, con el fin de ofrecer información para la exploración de potencialidades de energías renovables alternativas y su posibilidad de aprovechamiento, así como la posibilidad de brindar información a potenciales inversionistas interesados en la promoción y explotación de fuentes energéticas renovables. La información fue estructurada de acuerdo al siguiente orden Figura 6.



Figura 8 Fuentes de Biomasa Residual

Fuente: UPME 2009.

El Atlas elaborado con el fin de tener un acercamiento más acertado acerca del potencial energético de fuentes no convencionales renovables de energía, incluye la identificación, la caracterización y la evaluación del potencial energético de la biomasa residual, generada en las actividades agropecuarias de ocho cultivos promisorios, tres actividades pecuarias y dieciocho municipios en los cuales se recopiló información de residuos sólidos urbanos en plazas de mercado, además de los generados por las podas y arreglo de parques en áreas urbanas.

El Atlas se elaboró como respuesta a los requerimientos de la sociedad que complementa las publicaciones: Atlas de Radiación Solar y Atlas de Viento y Energía Eólica, realizados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, y la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, ahora, estas dos entidades con el concurso del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias y la Universidad Industrial de Santander – UIS, desarrollador una ardua labor de recopilación de información de los gremios productores agropecuarios, de las entidades encargadas de la disposición de residuos sólidos orgánicos a nivel municipal, generando el inventario y caracterizaron en pruebas de laboratorio, muestras de biomasa residual, contiene la identificación, caracterización y evaluación del potencial energético de residuos orgánicos provenientes de ocho cultivos promisorios, tres actividades pecuarias y dieciocho municipios como fuente de residuos sólidos urbanos en plazas de

mercado, además de los generados por las podas en áreas urbanas, estableciendo mediante información geográfica la elaboración de mapas de potencial de la biomasa residual, que conforman el Atlas.

En este se establecen las referencias para un muy aproximado dimensionamiento de la oferta energética de la biomasa residual el cual conforma el potencial teórico, entendido este, según Chamy y Vivanco 2007, como la cantidad total de biomasa global que es producida o generada en forma de residuos sin considerar restricciones técnicas o económicas.

El estudio desarrollado para la UPME 2010, del potencial energético de la biomasa residual contribuye a un mayor conocimiento del país para el aprovechamiento eficiente de los recursos orgánicos con fines energéticos, lo que conlleva a beneficios ambientales en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero GEI y la disposición de contaminantes al suelo, agua y aire.

La información que se utilizó para el cálculo del potencial de producción de biogás está organizada por la producción anual de residuos, el potencial energético del biogás generado para: i) sector agrícola, ii) sector pecuario, iii) potencial de producción de residuos sólidos urbanos RSU e iv) Efluentes domésticos de las grandes urbes en Colombia.

El anexo A muestra la información resumen de la biomasa residual y los mapas de potencial para los principales cultivos, contenida en el Atlas UPME 2009.

3.1.1 Sector agrícola

Se consideraron en este importante renglón económico los residuos generados por residuos agrícolas de cosecha y residuos agroindustriales, de acuerdo a la importancia en la contribución de cada uno de ellos en el crecimiento económico del producto interno bruto agrícola, estos cultivos han sido divididos en cultivos transitorios o de cosecha y los cultivos permanentes.

3.1.1.1 Cultivos permanentes:

En Colombia e la variación climática se debe a la presencia bianual de temporadas de lluvias, lo que lleva a la posibilidad de establecer cultivos permanentes, de los cuales la biomasa residual está conformada por los desechos generados durante los procesos de recolección y transformación de las cosechas, definidos como residuos agrícolas de cosecha y residuos agroindustriales dependiendo de su proceso de transformación y su cantidad.

Para el Atlas, así como para la determinación de potencial teórico, se han considerado de importancia en la generación de biomasa residual con potencial energético los cultivos de:

a) Banano: (*Musa paradisíaca*). Tal como lo establece la Asociación de bananeros de Colombia AUGURA, el banano representa para Colombia un gran renglón en la economía agrícola, pues contribuye con cerca del 3% de las exportaciones totales y contribuye con un 0.4% del PIB del país.

El atlas de biomasa residual de la UPME 2009, considera la existencia de materia prima susceptible de aprovechamiento energético para el banano, el raquis, el vástago y el banano de rechazo.

De esta caracterización y de acuerdo a información reportada por Guarnizo Franco y Martínez, 2010, el alto contenido de Lignina en el raquis del banano es un limitante para la degradación de la biomasa, por lo cual solo se tiene en cuenta para este potencial teórico, el banano de rechazo reportado por UPME.

b) Café: (*Coffea*). El café es cultivo tradicional de Colombia, de acuerdo a la Federación nacional de Cafeteros en los últimos treinta años este ha respondido en promedio por el 23% del PIB Agrícola, el 13% del PIB Agropecuario y el 2,3% del PIB total, posee grandes áreas de cultivo localizado en los valles interandinos de las cuencas Magdalena Cauca .

El Atlas de biomasa de la UPME 2009, establece para el cultivo de café como proveedor de biomasa residual, la pulpa de café, El cisco y los tallo, pero debido a consideraciones establecidas el cisco y el tallo por su alto contenido de lignina , Rodríguez 2011.

Los materiales con alto contenido de materiales lignocelulosos (Lignina, celulosa y hemicelulosa) producen una velocidad de degradación tan lenta que suele ser la etapa limitante del proceso. FAO 2011, por lo cual para esta primera aproximación estos materiales (cisco y tallos) deben ser descartados para la generación de biogás en este potencial teórico.

c) Caña de azúcar. La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) es la forma industrial de utilización del cultivo de caña en Colombia, se cultiva en el valle alto del Magdalena y Cauca y en esta zona el cultivo esta industrializado, de allí se han instalado la mayoría de plantas productoras de etanol, y también allí se hace un aprovechamiento de bagazo para proyectos de cogeneración.

d) Caña de panela: Para la producción de panela¹ se utiliza la caña cultivada en pequeñas plantaciones en minifundios los cuales emplean la caña cosechada para la producción de panela y de guarapo y alimento de ganado. Este producto es un importante renglón de la economía campesina.

En nuestro país el área sembrada con caña es de 474.559 hectáreas (has), de las cuales se destinan 218.000 has para la producción de azúcar y 266.559 has para la producción de panela. Existen un total de 70.000 productores de panela, 13 ingenios productores de azúcar y 5 plantas productoras de Etanol. (Fuente: CENICAÑA)

En Colombia la producción de alcohol a partir de caña de azúcar alcanzó los 274 millones de litros de alcohol, en el año 2006, dicha producción fue soportada por cinco ingenios azucareros del valle geográfico del río Cauca. Estas plantas tienen una capacidad instalada de 1.050.000 l/día de alcohol y son abastecidas con 3,8 millones de toneladas de caña de azúcar, equivalentes al 16% de la producción del país. Colombia inició la producción industrial de biodiesel a partir de palma de aceite en el año 2008 con un estimativo en rendimientos de 4.600 litros de combustible por hectárea sembrada. (Departamento Nacional de Planeación, 2008). UPME 2009.]

¹ La panela, también conocida como piloncillo, raspadura, rapadura, atado dulce, tapa de dulce, chancaca (del náhuatl *chiancaca*), empanizado, papelón, o pancha en diferentes latitudes del idioma español, es un alimento cuyo único ingrediente es el jugo de la caña de azúcar que es secado antes de pasar por el proceso de purificación que lo convierte en azúcar moreno (o mascabado). Fuente: Wikipedia

Los residuos considerados en UPME 2009, para la estimación del potencial de generación de biogás son los establecidos para el bagazo, pues los cogollos y las hojas por su dificultad de procesamiento se descartan en este análisis.

e) Palma de aceite: La palma de aceite es una planta tropical propia de climas cálidos que crece en tierras por debajo de los 500 metros sobre el nivel del mar. Se denomina popularmente; palma africana de aceite.

La expansión del cultivo en Colombia ha mantenido un crecimiento sostenido, hoy existen más de 360.000 hectáreas (a 2010) en 73 municipios del país distribuidos en cuatro zonas productivas (Fuente: FEDEPALMA).

Los residuos principales de la producción de aceite de palma, son cuesco, raquis y fibra, de los cuales por las mismas consideraciones establecidas para el raquis de plátano, alto contenido de lignina, se descarta para su consideración.

f) Plátano. El cultivo de plátano en Colombia, ha sido un sector tradicional de economía campesina, de subsistencia para pequeños productores, de alta dispersión geográfica y de gran importancia socioeconómica desde el punto de vista de seguridad alimentaria y de generación de empleo. Se estima que del área cultivada en plátano en Colombia, un 87% se encuentra como cultivo tradicional asociado con café, cacao, yuca y frutales, y el restante 13%, está como monocultivo tecnificado. Espinal, Martínez y Peña, 2005.

Del plátano se ha considerado para estimar el potencial de generación de biogás, el plátano de rechazo y los vástagos resultantes de la cosecha del mismo.

3.1.1.2 Cultivos transitorios.

En Colombia debido a sus condiciones geográficas y de estacionalidad de los periodos de lluvias, es factible la siembra y cosecha de cultivos de rápida cosecha o cultivos transitorios Plantas de carácter anual, bianual y plurianual, cuyo valor de no proviene de la planta en cuanto tal, sino del volumen del producto que ella ofrece en cada cosecha, en el país son de importancia según los parámetros establecidos de su contribución la PIB agropecuario, el maíz y el arroz.

a) Arroz. (*Oryza sativa*). El arroz en Colombia participa con el 4.5% del PIB agropecuario, para 2011 su área cultivada alcanza las 452.000 Has y una producción de 2.7 millones de toneladas, [Fuente Discurso Ministro de agricultura 2011).

Para el establecimiento del potencial de biogás generado de los residuos de cosecha del arroz, es necesario considerar el tamo de arroz y se descarto la cascarilla por su baja tasa de descomposición. Calderón Sáenz.

b) Maíz., El maíz es el cereal cuyo cultivo ocupa la segunda mayores extensiones en Colombia, según EL UNIVERSAL 2012, en Colombia 605 mil 700 hectáreas fue el área total de maíz en el año 2011 y la producción fue de 1.715.000 toneladas. Cuatro (4) millones de toneladas fue el consumo total de maíz en Colombia en el último año y el 29% de la producción nacional sirvió para atender el consumo interno en el 2011, 250 municipios del país tienen áreas sembradas de este cereal. El maíz es el primer cultivo de ciclo corto. Concentra el trece (13) por ciento del área agrícola y aporta el siete (7) por ciento a la producción nacional, Según el DANE a marzo de 2012, el 34,4% del PIB agrícola del país lo aporta el maíz.

Para el análisis de potencial teórico de producción de biogás a partir de los residuos de cosecha del maíz, se consideran el residuo denominado rastrojo para el cálculo del mismo.

3.1.2 Sector pecuario.

Como se ha establecido en el análisis a considerar de la biomasa residual, los otros sectores caracterizados para establecer el potencial teórico de generación de biogás, es el sector pecuario y sus subsecuentes subsectores Avícola Bovino y porcino.

a) Avícola. Según el ciber boletín de Industria Avícola, para el 2011, en Colombia se criaron 615 millones de pollos con una producción de 1.077.000

Toneladas de carne, en lo concerniente a la producción de huevos la cifra para 2010 era de 10.662 millones de unidades con un encasamiento de 30 millones de aves.

Para la consideración del potencial teórico de biogás generado por los residuos resultantes del proceso de producción avícola se considera de la información de UPME 2010, los residuos aprovechables de las aves estabuladas, o sea las ponedoras y las dedicadas a engorde.

b) Bovino: El sector bovino en Colombia, según Gomez Guarnizo y Rueda R, 2011, FEDEGAN en su informe sobre el Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana (PEGA), concluye que según el valor de su producción agropecuaria tiene una participación de 3,6% en el PIB Nacional (2007), y participa con el 27% del PIB agropecuario y con el 64% del PIB pecuario de Colombia.

En este importante sector de la economía agropecuaria para establecer un potencial teórico de generación de biogás, se consideran las cifras correspondientes a los residuos aprovechables de terneros menores de un año por considerarse el animal estabulado y susceptible de generar biomasa.

c) Porcino: En el sector porcino, se hacen consideraciones de manejo de animales estabulados, para lo cual es susceptible de aprovechar la biomasa generada es esta importante actividad agropecuaria con los datos de UPME 2009.

De acuerdo al boletín mensual de SIPSA 2007, tomando en cuenta sólo el sacrificio formal, en el 2006 se produjeron 145 mil toneladas de carne de cerdo. Para el 2003 la producción tecnificada en nuestro país se lleva a cabo en la actualidad en más de 1.518 granjas, de las que proviene la producción de carne por sacrificio formal.

3.1.3 Sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos.

Los centros urbanos generan los denominados residuos sólidos urbanos que provienen de diferentes actividades y están constituidos por cantidades considerables de residuos como papel, madera, carbón vegetal, alimentos, aguas negras y residuos vegetales provenientes de la poda de zonas verdes, los cuales constituyen su fracción orgánica. No se ha considerado el cálculo del potencial teórico de la generación de biogás a partir de estos residuos, puesto que estos se consideraran en los residuos sólidos urbanos, y por las características de material lignocelulósico consideradas anteriormente.

Dentro de este material susceptible de aprovechar energéticamente UPME 2010, considera;

a) Centros de acopio y plazas de mercado; Dentro de las consideraciones de producción de biomasa residual se contempla la incorporación de información de los residuos generados en centros de abasto y plazas mayoristas que reportan la mayor cantidad de generación de residuos.

b) Actividades de Poda: Los residuos sólidos orgánicos urbanos, conformados por los residuos de centros de acopio, de plazas de mercado y de poda de zonas verdes, constituyen una fuente orgánica que ha sido empleada para otros fines diferentes al aprovechamiento energético.

3.1.4 Potencial de producción de residuos sólidos urbanos RSU.

Tal como se hay especificado en la introducción, un relleno sanitario manejado técnicamente es un bioreactor, el cual descompone por digestión anaerobia el componente orgánico de los Residuos Sólidos Urbanos y transformándolos esencialmente en biogás y un material estabilizado, el cual no se

puede recuperar pero ya no genera el impacto negativo que producen los lixiviados conexos con la disposición de Residuos Sólidos Urbanos.

En Colombia el establecimiento de regulación en el manejo y la disposición de residuos sólidos urbanos son de competencia de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA, pero en el ordenamiento institucional actual, existe una serie de organismos e instituciones involucradas en diversos aspectos del manejo de residuos sólidos. Sin embargo, en algunos casos, no está del todo clara la extensión del ámbito de competencias de cada entidad ni las obligaciones que le corresponde asumir a cada una. Así, el Ministerio del Medio Ambiente, el Ministerio de Salud y el Ministerio de Desarrollo Económico a través de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico - CRA, tienen competencias normativas cuyo alcance no está claramente delimitado, hecho que genera una superposición parcial de facultades.

La ley 142 de 1994 y sus decretos reglamentarios establecen que es responsabilidad de los municipios y distritos asegurar que se preste a todos sus habitantes el servicio público de aseo de modo eficiente, continuo e interrumpido, sin poner en peligro la salud, ni usar procedimientos y métodos que puedan afectar el ambiente.

Los residuos sólidos urbanos, mal dispuestos han generado impactos ambientales negativos y la tendencia actual a generar cada vez más por el mayor consumismo y la menor aceptación de la responsabilidad individual, asunto asociado al incremento de la población y a los hábitos de consumo de los individuos.

Desde el estado se ha asumido la propuesta para tratar de buscar solución a éste problema, mediante la implementación de líneas políticas como la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS), de la cual hace parte una integralidad de procesos que van desde: separación en la fuente, hasta la transformación o reutilización de los recuperables o la disposición final de los no reciclables.

La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA, genera regularmente información acerca de la situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia, la cual sirve de base técnica y de inventario de la generación y disposición de RSU, otra fuente de información importante es la

generada por la Iniciativa Global de Metano, GMI (por su sigla en inglés), la cual es una alianza internacional pública-privada para reducir las emisiones de gases invernadero mediante el incremento de la captura y el uso de metano.

Esta iniciativa ha desarrollado herramientas para cálculo y cuantificación de la generación de Biogás en rellenos sanitarios tal como el modelo Colombiano de Biogás, Agencia para la Protección del Ambiente (U.S. EPA), el cual sirve para contrastar con la información producida por la CRA para la cuantificación del Potencial de biogás en rellenos sanitarios para ciudades colombianas que cuenten con esta tecnología y cumplan con las condiciones de producción, caracterización y poblaciones establecidas.

De información de UPME 2009 los 32 departamentos, con sus 1.085 municipios, que conforman el territorio colombiano, generan aproximadamente 21.000 t/día de residuos sólidos procedentes de las actividades residenciales, comerciales e institucionales, con un porcentaje de material orgánico del 56,44% (IDEAM, 2008). En Colombia, con una población de 42.888.592 habitantes (DANE, 2005), según datos de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, la generación de residuos ordinarios en cabeceras municipales para el año 2000 fue de 7.921.034,78 toneladas, equivalente a una producción per cápita de 0,721 kg/hab/día; mientras que para el año 2004, se generaron 8.558.981,47 toneladas (0,716 kg/hab/día). Los anteriores datos indican que la generación per cápita promedio de residuos sólidos en Colombia se constituye en otra fuente importante de biomasa residual.

Con esta información recopilada en UPME 2010, y contando con datos de generación de otras fuentes referenciadas se ha calculado el potencial teórico de generación de Biogás a partir de RSU, correctamente dispuestos.

3.1.5 Efluentes domésticos de las grandes urbes en Colombia.

El metano se produce en las aguas residuales municipales cuando el material orgánico contenido en estas se descompone por digestión anaeróbica. El Metano es generado durante todo el proceso de disposición; recogida, manipulación y

tratamiento de aguas residuales dependiendo del método utilizado. Un gran número de técnicas y equipos se pueden emplear para reducir o recuperar y utilizar el biogás de aguas residuales para su uso energético lo cual impacta en aspectos económicos, de la calidad ambiental, el aire, y beneficios de salud pública.

Solo se consideran para esta aproximación, la información correspondiente a los centros poblados y ciudades que cuentan con una disposición de aguas residuales y plantas de tratamiento de Aguas Residuales Domesticas.

3.2 Producción de sustratos para la generación de biogás.

Basados en las referencias establecidas para cada sustrato se construye la Tabla 3 la cual establece las referencias para estimar el potencial teórico de producción de biogás.

Tabla 3 Tipos de biomasa residual y características físicas

Fuente generadora de Biomasa	Tipo de residuo	Características físicas
Residuos forestales	Restos de aserrío: corteza, aserrín, astillas	Polvo, sólido, HR >50%
	Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas	Polvo sólido, HR 30–45%
	Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces	Sólido, HR >55%
Residuos agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales	Sólido muy húmedo
	Cáscara y polvo de granos secos	Polvo, HR <25%
	Estiércol	Sólido muy húmedo
	Tallos, hojas, cáscaras, maleza, pastura	Sólido HR >55%
Residuos industriales	Pulpa y cáscara de frutas y vegetales	Sólido moderadamente húmedo
	Residuos de procesamiento de carnes	Sólido muy húmedo
	Aguas de lavado de carnes y	Líquido

	vegetales	
	Grasas y aceites vegetales	Líquido grasoso
Residuos urbanos	Aguas negras	Líquido
	Desechos domésticos orgánicos	Sólido muy húmedo
	Basura orgánica	Sólido muy húmedo

Fuente: UPME 2009.

Los resultados del inventario de potencial UPME 2009, tiene caracterizado el potencial de generación de biomasa residual para los sectores anotados.

Para el aprovechamiento energético de la biomasa residual existen varios procedimientos en los cuales están involucradas diferentes tipos de reacción que buscan aprovechar el contenido energético de la biomasa residual.

Uno de ellos es la bioconversión mediante digestión anaeróbica que genera dos corrientes, una gaseosa con un contenido de metano cercano al 60% y una fracción sólida estabilizada con propiedades de acondicionador de suelos tipo compost.

En la siguiente sección se establece de acuerdo a las referencias anotadas y los datos de UPME 2009, la información pertinente para cada sector y subsector especificado, teniendo en cuenta las salvedades en cuanto a las características fisicoquímicas que limitan la generación de biogás.

3.2.1 Producción de biomasa residual de cultivos.

De acuerdo a la información reportada en UPME 2009, se ha construido la tabla 4, la cual recopila la información presentada en el Atlas, con las consideraciones argumentadas anteriormente.

Tabla 4. Producción nacional para biomasa residual de cultivos

Cultivo	Área Sembrada Has.	Residuo Ton /año
Arroz	455.444	5 789 669
Banano	75.634	281 729
Café	762.846	2 008 192
Caña de azúcar	210.566	8 525 718
Caña de panela	240.057	3 832 640
Maíz	604.783	1.936.479
Palma de aceite	260.596	546 381
Plátano	393.139	497 903

Fuente: Autor Datos UPME 2009

Una manera grafica de presentar esta información se muestra en la figura 8, la cual establece la potencialidad de generación de biomasa residual para los cultivos considerados.

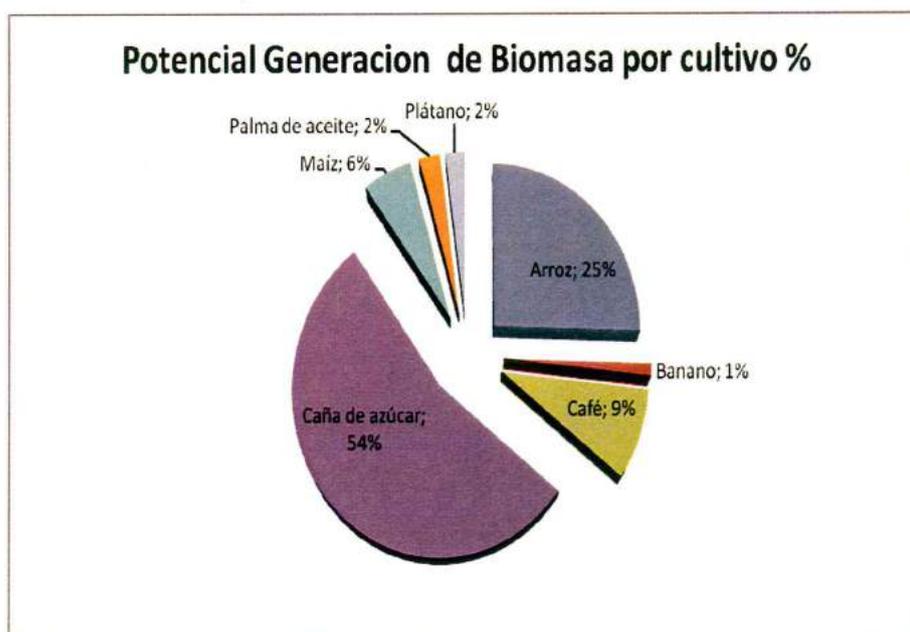


Figura 9 Potencial Generación de Biomasa por cultivo.

Fuente: elaboración propia.

3.2.2 Producción de biomasa residual sector pecuario.

Con las salvedades establecidas para las consideraciones del sector pecuario, se construye la tabla 5, la cual reflejada la información necesaria para el calculo

Tabla 5 Producción de biomasa residual del sector pecuario

Sector	Cantidad de estiércol
	Ton/año
Avícola	3 446 348
Bovino	6 275 870
Porcino	2 803 111

Fuente: Autor datos UPME 2009.

La información reflejada en la grafica 10, presenta la distribución porcentual de la generación de biomasa susceptible de metanización del sector pecuario.

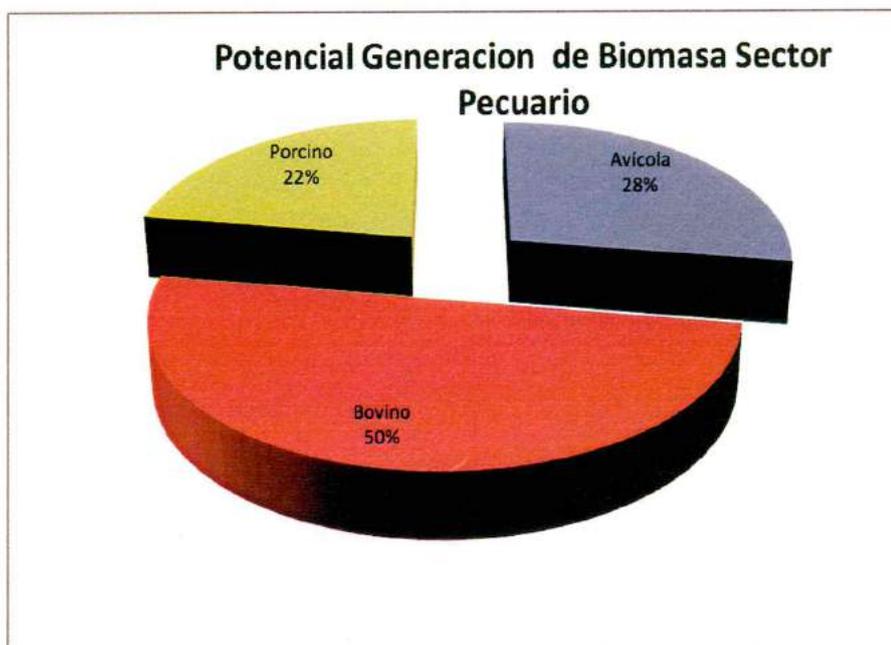


Figura 10 Potencial Generación de Biomasa Sector Pecuario.

Fuente: elaboración propia.

De esta figura 10, podemos apreciar que el mayor potencial de generación de biomasa en el sector pecuario se encuentra en la ganadería, y de ella en animales estabulados.

3.2.3 Producción de biomasa residual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos de centros de acopio y plazas de mercado.

De UPME 2009 se rescata la información acerca de la producción municipal de la biomasa residual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos de centros de acopio y plazas de mercado importantes. En la Tabla 6, esta recopilada la información acerca de los residuos sólidos, resultantes de las plazas de mercado para las ciudades establecidas en UPME 2009 con el fin de calcular la disponibilidad de estos residuos para metanización.

Tabla 6 Cantidad de Residuos Plazas de Mercado.

Ciudad	Población	Ton/año
Bogotá	7.952.375	36.912
Medellín	3.306.490	15.754
Cali	2.593.563	19.451
Barranquilla	1.737.327	9.970
Bucaramanga	1.024.350	9.812
Cartagena	892.545	1.365
Cúcuta	587.676	4.896
Ibagué	498.401	8.532
Pereira	443.554	1.793
Villavicencio	384.131	1.817
Manizales	379.972	3.676
Montería	378.970	6.455
Total		120.210

Fuente: UPME 2009

3.2.4 Producción de Aguas Residuales.

En cuanto a la generación de aguas residuales domesticas de datos de Departamento Nacional de Planeación DNP en el CONPES 2002. Considera que el potencial de generación de aguas residuales de los centros urbanos se estiman en 67 m³/s donde Bogotá representa el 15%, Antioquia 13%, Valle del Cauca 10% y los demás departamentos están por debajo del 5%. El impacto que generan estos vertimientos varía a lo largo del país, dependiendo del volumen de los vertimientos puntuales frente a la capacidad de asimilación de los cuerpos de agua donde se vierten. Entre los casos de impacto más conocidos se encuentran las descargas domésticas de Bogotá al humedal Juan Amarillo y el río Fucha. Sin embargo, en la actualidad no existe un diagnóstico confiable sobre contaminación doméstica a escala nacional, ni información suficiente sobre el estado del recurso hídrico que considere elementos como la capacidad de asimilación del cuerpo receptor y el efecto nocivo real de los vertimientos.

Collazos 2008. Considera que de los 6 millones de m³ por día, el 20% son conducidas a Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales domesticas y el 8% son efectivamente tratadas

El 80% de estos efluentes, vertidos sin tratamiento al suelo, ríos, quebradas, lagos y el mar.

Botero S 2006 establece datos de características de Aguas Residuales Urbanas el cual es presentado en la tabla 7.

Tabla 7 Características de las Aguas Residuales Municipales

Región urbanizada	DBO Total generado[Ton]	Región urbanizada	DBO Total generado [Ton]
Bogotá	75604.62	Villavicencio	4462.17
Cali	34928.44	Armenia	7333.26
Medellín	44854.18	Sincelejo	4020.55
Barranquilla	22381.91	Tulúa	4393.
Bucaramanga	15127.56	Valledupar	4086.43
Pereira	13743.43	Pasto	6271.9
Santa Marta	7166.27	Popayán	3669.22

Cúcuta	10.848.99	Sogamoso	3926.75
Cartagena	11093.03	Barrancabermeja	2863.28
Manizales	8007.06	Tunja	2065.65
Ibagué	6838.16	Girardot	2177.56
Montería	2949.19	Neiva	5083.02
TOTAL			298 813

Fuente: Botero 2006

3.2.5 Producción de Residuos Sólidos Urbanos.

La producción de Residuos Sólidos Urbanos RSU ha estado ampliamente caracterizada en Colombia y la Iniciativa Global de Metano (GMI) de la EPA, la cual es una alianza internacional pública-privada para reducir las emisiones de gases invernadero mediante el incremento de la captura y el uso de metano, esta ha desarrollado una herramienta de cálculo disponible en <http://www.epa.gov/lmop/international/colombia.html> la cual mediante un modelo en una hoja electrónica, sirve para estimar generación y recuperación de biogás en rellenos sanitarios colombianos que cuenten o planeen tener un sistema de recolección de biogás.

Esta herramienta es de fácil manejo y aplicación para el dimensionamiento de proyectos, pero para los objetivos de este análisis de generación potencial de biogás de RSU, se utilizó información secundaria de Ordoñez M 2011. presenta en su trabajo de grado el potencial de generación de residuos sólidos urbanos, A enero de 2009 se contabilizan 58 rellenos sanitarios regionales, 14 más que en el año 2008 en 23 departamentos (Antioquia, Atlántico, Bolívar, Boyacá, Caldas, Caquetá, Casanare, Cauca, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Guaviare, Huila, Magdalena, Meta, Nariño, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Sucre, Tolima y Valle) donde se dispone un total de 23.087 toneladas día provenientes de 486 municipios, es decir el 72% del total de los municipios que disponen en relleno sanitario.

Colombia cuenta con 32 departamentos y 1.112 municipios, de los cuales se cuenta con información de 1.088 sobre el tipo de disposición final que está empleando. Con base en la información reportada al Sistema Único de Información,

SUI por los prestadores del servicio de aseo, se pudo determinar que en Colombia se generan aproximadamente 25.079 toneladas diarias de residuos, de las cuales el 90.99% (22.819,2 ton/día) son dispuestas en rellenos sanitarios o plantas integrales de tratamiento de residuos sólidos; persistiendo la disposición inadecuada del 9.01% restante (2.260 ton/día).

Para el año 2008, los residuos sólidos son dispuestos en 254 rellenos sanitarios, de los cuales 43 son regionales y 59 plantas integrales de residuos sólidos, donde acuden 751 municipios del país, es decir el 69,03% de total de los municipios con información. De éste total, 653 municipios realizan la disposición del 88.54% de la producción nacional de residuos sólidos (22.204,26 ton/día) en rellenos sanitarios y 98 municipios lo realizan en plantas integrales, lo que corresponde al 2,45% de la producción (615 ton/día), lo que corresponde a 8 104 555 Ton / año.

3.3 Producción de Biomasa Total susceptible de Metanizar.

Una recopilación de la información se presenta en la Tabla 8, la cual agrega toda la información establecida en la literatura y las consideraciones para el cálculo de la generación potencial de biogás en Colombia.

Tabla 8 Producción nacional de Biomasa Anual

Sector	Potencial Ton/Año
Agrícola	22 760 874
Pecuario	12 525 329
RSU y RSOU	8 224 765
ARD	298 813
Total	43 809 781

Fuente Autor.

Una aproximación visual de la información contenida en la tabla 8 se presenta en la figura 11, la cual muestra la composición porcentual de la generación de biomasa susceptible de metanización, en el anexo A se puede ver la localización de las principales fuentes de biomasa por sector y cultivo y renglón pecuario.

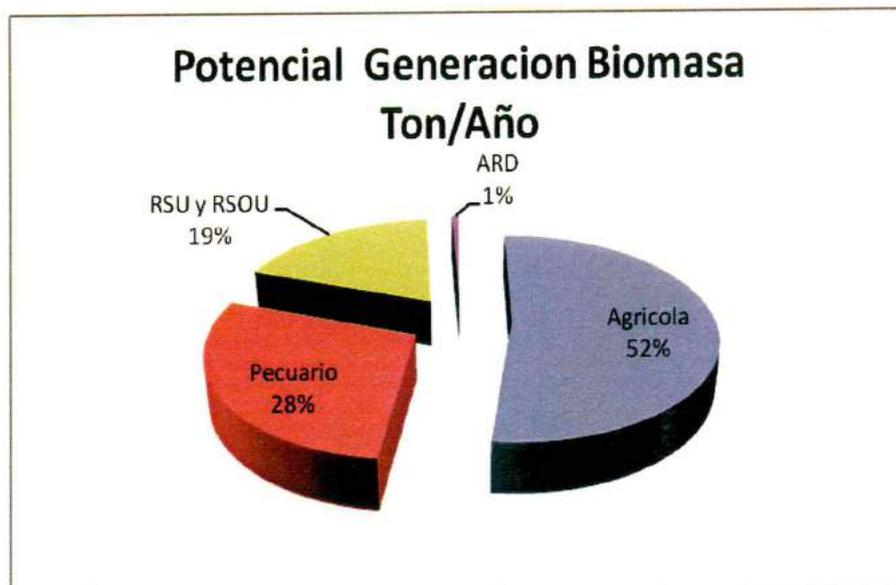


Figura 11 Potencial Generación de Biomasa.

Fuente: elaboración propia.

3.4 Potencial de producción de biogás.

Para el cálculo del potencial teórico de biogás, se utilizaron factores de conversión de materia orgánica estimados a partir de datos bibliográficos reportados en los diferentes estudios y bibliografía especializada consultada.

Tal como se ha establecido el aparte anterior y de acuerdo con Planella 2011, la viabilidad económica para la producción de biogás depende de la del uso energético destinado, el cual está en relación con:

- Costos de la fuente energética a sustituir. Cuanta más alta sea, más margen existirá para implantar tecnologías innovadoras o de mejor inversión.
- Estado de la tecnología. Si la tecnología está probada y está en fase comercial, los costos de inversión se reducen y la fiabilidad aumenta.
- Complejidad de la aplicación. Las aplicaciones más simples tienen mayor fiabilidad y requieren menos personal reduciendo costos y maximizando la producción.

Más allá de los factores económicos a considerar, se debe considerar la sostenibilidad de su aplicación, es decir tener en cuenta el impacto ambiental, la eficiencia energética del proceso y la aceptación social de la producción y sustitución de energéticos por biogás.

Basados en estas consideraciones, es necesario tener en cuenta la aplicación que se da a la biomasa para uso energético dependiendo del tipo de aprovechamiento que de ella se haga. La figura 12 presenta un esquema de la generación de biomasa y su potencial de aprovechamiento, teniendo en cuenta el proceso involucrado en el mismo.

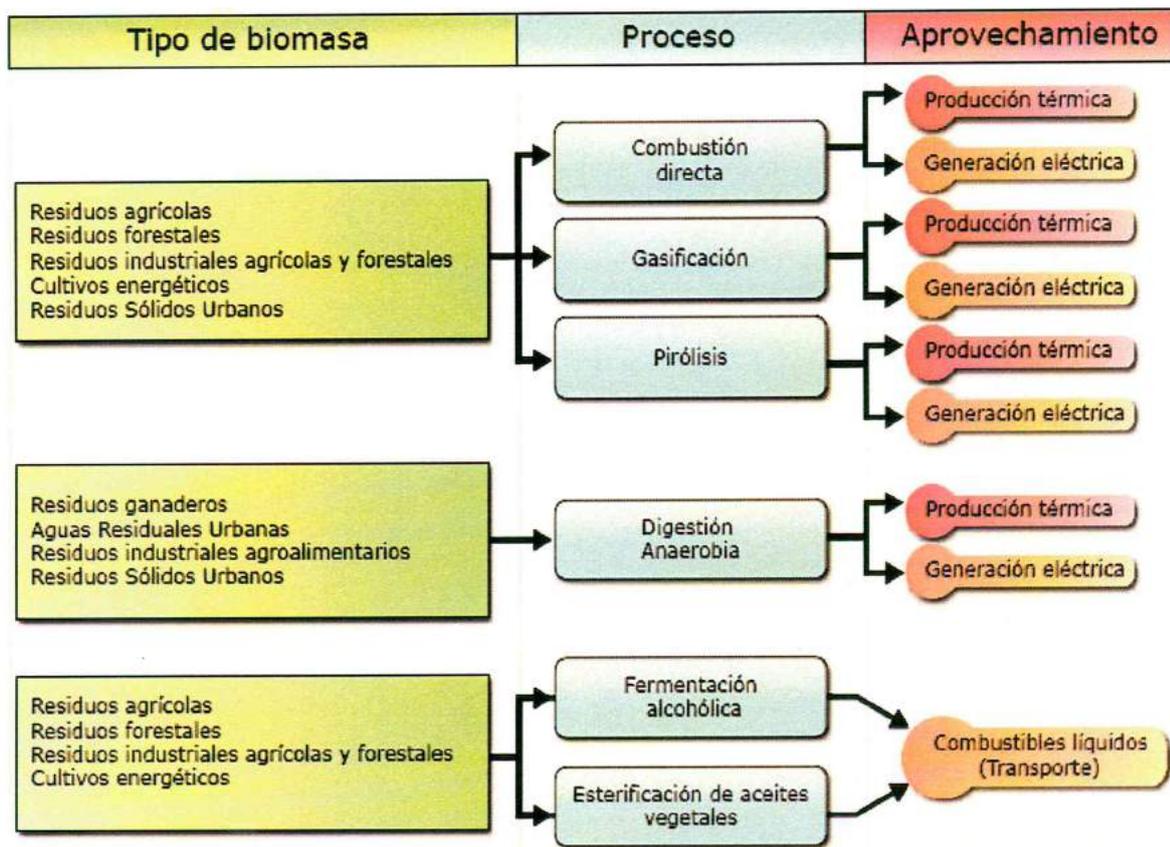


Figura 12 Tipos de biomasa y su aprovechamiento.

Fuente: Dirección General de Industria, Energía y Minas, 2002.

De acuerdo con la destinación que se muestra en la Figura 12, los tipos de biomasa más utilizados para la digestión anaerobia son:

- *Residuos ganaderos (avícolas bovino y porcino)*
- *Aguas residuales urbanas.*

- *Residuos industriales agroalimentarios (Cultivos transitorios y cultivos permanentes)*
- *Residuos sólidos urbanos.*

Es importante aclarar que este gas puede usarse como combustible sólo cuando el metano se encuentra en concentraciones mayores o iguales a 50 % (Guardado C J 2006).

3.4.1 Caracterización del potencial de producción de biogás por sustrato.

Con la información reportada por la UPME 2009, y la reportada en la literatura consultada, teniendo en cuenta las consideraciones hechas para calcular el potencial de generación de residuos aprovechables y con la información de la tasa de generación de biogás por tipo y categoría de sustrato, se hace un cálculo del potencial de generación de biogás.

3.4.1.1.1 Potencial de generación de biogás para Residuos Pecuarios.

La tabla 9, muestra información acerca del potencial de generación de biomasa por tipo de animal, los factores de generación de biogás,

Tabla 9 Potencial de biogás a partir de diferentes residuos orgánicos animales

Animal (Peso Vivo)	Kg de estiércol/Animal/día	m3 de Biogás/kg estiércol	m3 de biogás / animal /día
Bovino (500 kg)	10-15	0.038	0.36
Cerdo (90 kg)	2.3-2.8	0.079	0.24
Aves (2.5kg)	0.12-0.18	0.050	0.014

Fuente: Kunz 2012.

Tomamos como valor representativo el estimado para los m³ de Biogás/kg de estiércol y aplicamos el dato obtenido del Atlas de Biomasa Residual en Colombia UPME 2009 convirtiendo convenientemente las unidades.

De acuerdo a las consideraciones establecidas, el sector bovino genera potencialmente:

Sector Bovino cálculo de la Generación de Biogás Potencial.

Masa de residuo [t/año]= 6.275.870

m³ de Biogás/kg estiércol= 0.038 lo que es equivalente a 38 m³de Biogás / Ton de Estiércol.

Biogás m³= 6.275.870[Ton/año]*38 [m³_Biogás /Ton.]

Biogás m³= 238 483 060

Los resultados de cálculo hechos para cada uno de los sustratos se condensan en la tabla 10.

Tabla 10 Generación de biogás para Residuos Pecuarios

Generación de biogás para Residuos Pecuarios.			
Sector Residuos	Ton/año	m ³ de biogás/	m ³ de biogás
Avícola	3 446 348	50	172 317 400
Bovino	6 275 870	38	238 483 060
Porcino	2 803 111	79	221 445 769
TOTAL			632 246 229

Fuente: Elaboración propia.

Una primera aproximación al potencial de generación de biogás procedente de desechos pecuarios nos da un valor de 632.246.229 m³ de biogás por año y su distribución porcentual se presenta en la figura 13.

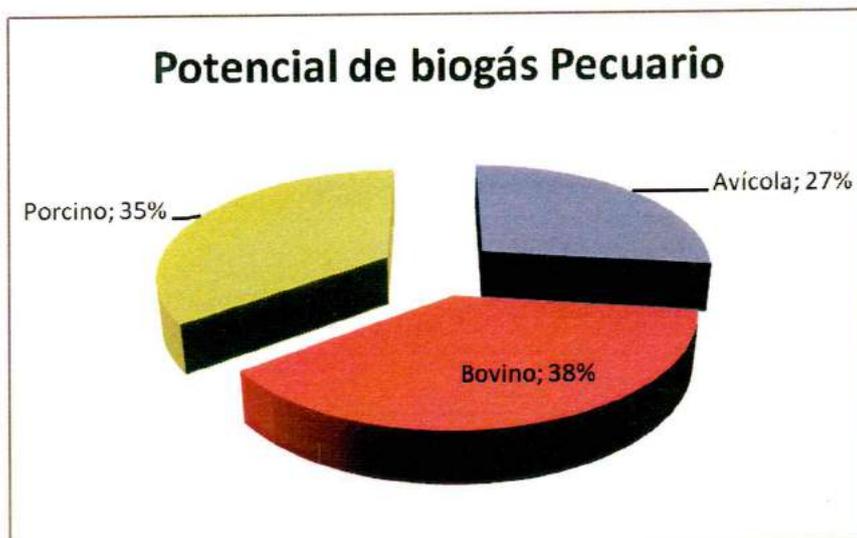


Figura 13 Potencial Biogás Pecuario

Fuente: Elaboración propia.

Bajo las consideraciones hechas de la disponibilidad de biomasa residual en el sector pecuario, las características de este renglón de la economía colombiana reportan una importante fuente de generación potencial de biogás en los sectores porcino, avícola y bovino considerado.

3.4.1.1.2 Potencial de generación de biogás para Aguas Residuales Urbanas.

Según Rodríguez V, 2007 Los procesos anaerobios para el tratamiento de las aguas residuales domesticas (ARD) se pueden ver esquemáticamente como Figura 14.

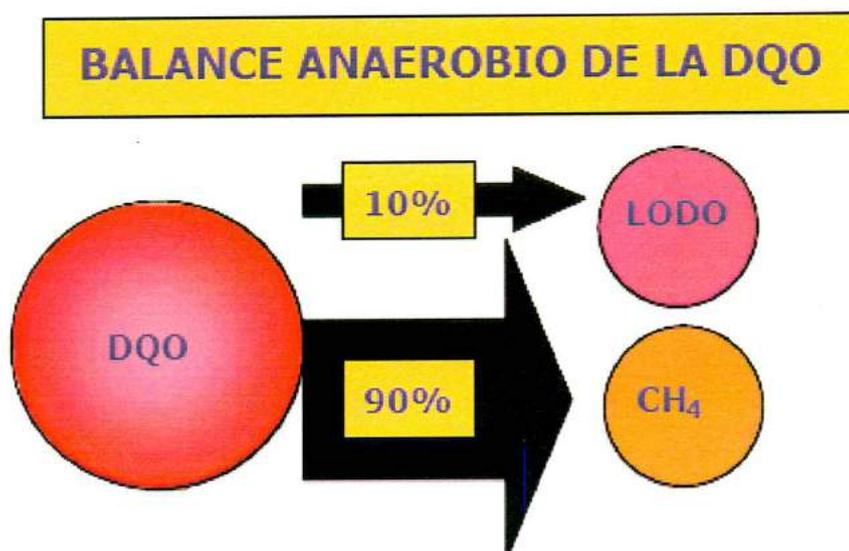


Figura 14 Balance Anaerobio de DQO

Fuente: Rodríguez V. Y 2007

Donde la DQO es un parámetro de medición de la contaminación de la ARD, la contaminación orgánica es evaluada a través de la DQO (demanda química de oxígeno), la cual mide básicamente la concentración de materia orgánica, Rodríguez V. Y. 2007.

Un balance de DQO, según Collazos 2008, la degradación anaerobia de materia orgánica en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas PTARD, se presenta esquemáticamente como la figura 15.

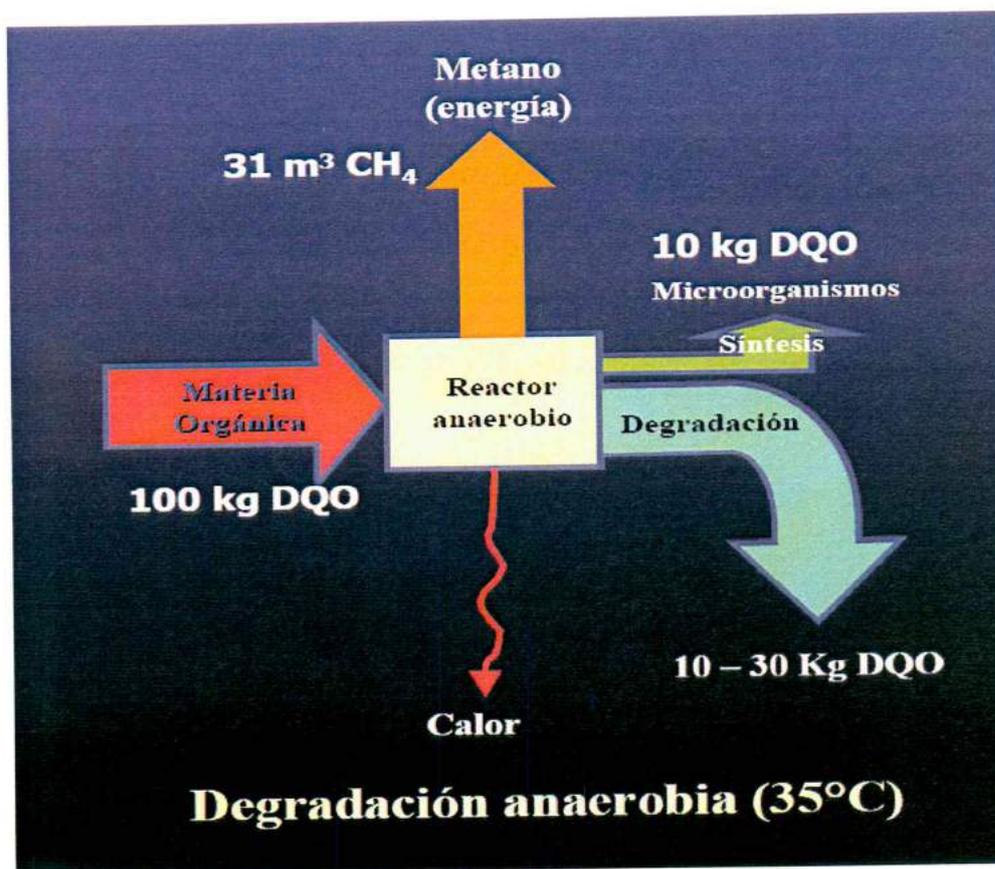


Figura 15 Degradación Anaerobia de la DQO.

Fuente: Collazos 2008.

Para este esquema, COLLAZOS 2008, emplea un factor de producción de metano de 0,6 kg CH₄/kg DBO, propuesto por el IPCC, propuesto en IDEAM, en el cual se establece que según las directrices del IPCC sugieren un valor por defecto de 0,25 kg de CH₄/kg de demanda química de oxígeno DQO. Las aguas residuales domésticas sin tratar tienen comúnmente un valor de DQO (mg/l) que es 2 a 2,5 veces mayor que el de la demanda biológica de oxígeno DBO (mg/l); así que es preciso convertir el valor de DBO basado en la DQO en un valor basado en la DBO, multiplicando el primero por un factor por defecto de 2,5. Por lo tanto, es una buena práctica usar un valor por defecto de 0,25 kg de CH₄/kg de DQO o un valor por defecto de 0,6 kg de CH₄/kg de DBO.

Sector Aguas Residuales Domesticas, cálculo de la Generación de Biogás Potencial.

Bogotá: DBO [Ton/año]= 75.605

Generación de biogás = 0,6 Ton de CH₄/Ton de DBO.

CH₄ [Ton]=. 0,6 Ton de CH₄/Ton de DBO.* 75.605Ton DBO/año

CH₄ [Ton]=. 45.363

Biogás [Ton]. 69789 para un biogás del 65% de CH₄.

Según FAO la densidad normal del biogás es de del biogás es de 1.2 kg m³, lo que equivale a 0.0012 Ton /m³, para Bogotá la generación de biogás por ARD corresponde a e

Biogás m³= 58.147.400

De acuerdo a estas directrices el cálculo de las emisiones de CH₄ para las poblaciones colombianas, con un biogás del 65% en volumen se tiene la tabla 11, la cual muestra los datos generados con la información consultada.

Tabla 11 Generación Biogás ARD

Ciudad	DBO Ton	Ton de CH ₄	Ton de BIOGAS	m ³
Bogotá	75605	45363	69789	58 157 400
Cali	34928	20957	32242	26 868 031
Medellín	44854	26913	41404	34 503 215
Barranquilla	22382	13429	20660	17 216 854
Bucaramanga	15128	9077	13964	11 636 585
Pereira	13743	8246	12686	10 571 869
Santa Marta	7166	4300	6615	5 512 515
Cúcuta	10849	6509	10014	8 345 377
Cartagena	11093	6656	10240	8 533 100
Manizales	8007	4804	7391	6 159 277
Ibagué	6838	4103	6312	5 260 123
Montería	2949	1770	2722	2 268 608
Villavicencio	4462	2677	4119	3 432 438
Armenia	7333	4400	6769	5 640 969
Sincelejo	4021	2412	3711	3 092 731
Tulúa	4393	2636	4055	3 379 231
Valledupar	4086	2452	3772	3 143 408
Pasto	6272	3763	5789	4 824 538
Popayán	3669	2202	3387	2 822 477
Sogamoso	3927	2356	3625	3 020 577

Barrancabermeja	2863	1718	2643	2 202 523
Tunja	2066	1239	1907	1 588 962
Girardot	2178	1307	2010	1 675 046
Neiva	5083	3050	4692	3 910 015
TOTAL				229 855 854
FE de CH4	0,6	Ton CH4/Ton DBO.		
Densidad biogás	1,2	kg/m3		

Fuente: Elaboración propia.

El resultado de la generación de biogás de las plantas de tratamiento de Aguas Residuales Domesticas ARD, para las ciudades de la tabla 11, muestra el potencial de generación de biogás de estas fuentes.

3.4.1.1.3 Potencial de generación de biogás para Residuos Sólidos Urbanos.

La generación de Residuos Sólidos Urbanos RSU, en Colombia estimada para el año 2008, es de producción nacional de residuos sólidos (22.204,26 ton/día) ORDOÑEZ Maria del Carmen, en rellenos sanitarios, el cual se considera como el potencial de generación de RSU para los cálculos pertinentes.

Según Colmares W y Santos K, El *Landfill Methane Outreach Program* de la EPA de Estados Unidos recomienda varios métodos para estimar con mayor o menor precisión la generación de biogás en un relleno sanitario.

El "Método A: Aproximación Simple": Es, como su nombre lo indica una aproximación gruesa basada en la cantidad de basura depositada en un relleno. El procedimiento se basa en una razón empírica entre cantidad de basura y flujo de biogás observada en los muchos y variados proyectos de recuperación de biogás de rellenos sanitarios estudiados por este programa. Es un reflejo de las características del relleno promedio y puede no representar con precisión las distintas características de la basura, el clima y otras variables que pueden estar presentes en un relleno específico. En general la EPA recomienda utilizar esta regla sólo como un proceso preliminar para determinar si es necesario utilizar métodos más complejos.

Esta regla simple de aproximación sólo requiere conocimientos acerca de la cantidad de basura depositada en el relleno de interés y se nutre del juicio y experiencia de expertos de la industria, que han establecido que la generación de biogás varía entre 0,05 y más de 0,20 pies cúbicos (pc) al año por cada libra (lb) de basura. Lo que da la siguiente ecuación (1):

$$\text{Generación anual de biogás (pc)} = GAB = 0.10 \times C \times WIP \times OC \quad [88] \text{ Ecuación (1)}$$

Donde;

GAB = Generación anual de biogás, tasa cf/año;

0.10 = promedio de GAB , cf/lb/año;

C = 2000, factor de conversión, lb/ton;

WIP = Residuos depositados ton; y

OC = contenido orgánico en porcentaje.

$$0,10 \text{ pc/lb} \times 2000 \text{ lb/ton} \times \text{cantidad basura depositada (ton)} \times 56.44\%$$

Este método no considera una serie de características del sitio, entre ellas el tiempo que la basura lleva depositada, el cual tiene una influencia negativa sobre la generación de biogás (después de la etapa de estabilización), por lo que la relación de generación anterior puede ser sólo útil para calcular la generación durante un par de años luego que se comienza a recolectar el gas. De ahí en adelante la EPA recomienda comenzar a aplicarle un factor de disminución anual de entre 2% y 3% a la generación de biogás. Colmares W y santos K.

Tomando como referencia el dato reportado en Ordoñez, que corresponde a la reportada en el Sistema Único de Información SUI, www.sui.gov.co de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios SSPD., la producción nacional de residuos sólidos fue para ese año de 8.558.981 ton/año, en rellenos sanitarios y aplicando la fórmula recomendada por EPA, se tiene (Ecuación 2):

$$\text{Generación anual de biogás (pc)} = 0.10 \times C \times WIP \times OC \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$\text{Generación anual de biogás} = 0.10 \times \text{pc/lb} \times 2000 \text{ lb/ton} \times 8\,558\,981 \text{ Ton/año} \times 56.44\%$$

$$\text{Generación anual de biogás} = 914\,842\,157 \quad \text{pc/año}$$

Lo que equivale a 25 905 445 m³/año, de biogás de RSU.

3.4.1.1.4 Potencial de generación de biogás para Residuos de Cosecha.

De la información presentada en UPME 2009, respecto al Atlas de Biomasa Residual en Colombia, se construye la Tabla 12 y se estima la producción de biogás dependiendo de los factores de producción reportados en la literatura con las salvedades hechas y los coeficientes de producción de biogás por cultivo y residuo reportados en la literatura.

Tabla 12 Potencial de generación de biogás para Residuos de Cosecha

Cultivo	Cantidad de residuo	Factor de producción de Biogás	Biogás generado
	Ton /año	m ³ /Ton.	m ³ /año
Arroz	5 789 669	352 m ³ /Ton *	2 037 963 488
Banano	281 729	292 m ³ /Ton *****	82 264 868
Café	2 008 192	128 m ³ /Ton **	257 048 576
Caña de azúcar	12 358 358	160 m ³ /Ton *****	1 977 337 280
Maíz	1 278 642	514 m ³ /Ton *	657 221 988
Palma de aceite	546 381	14.4 m ³ /Ton ***	7 867 886
Plátano	497 903	292 m ³ /Ton *****	145 387 676
TOTAL			5 165 091 762

Nota: Considerada caña de azúcar y de panela

Fuente * FAO 2007 **Balseca y Cabrera B [36] *** Ramírez M 2008 [40] ***** UPME 2003 [38]. ***** PROBIOGAS 2009. [39].

Fuente elaboración propia.

De los datos anteriores se construye la tabla 13, la cual recopila y agrega la información generada del potencial de generación de biogás por sector.

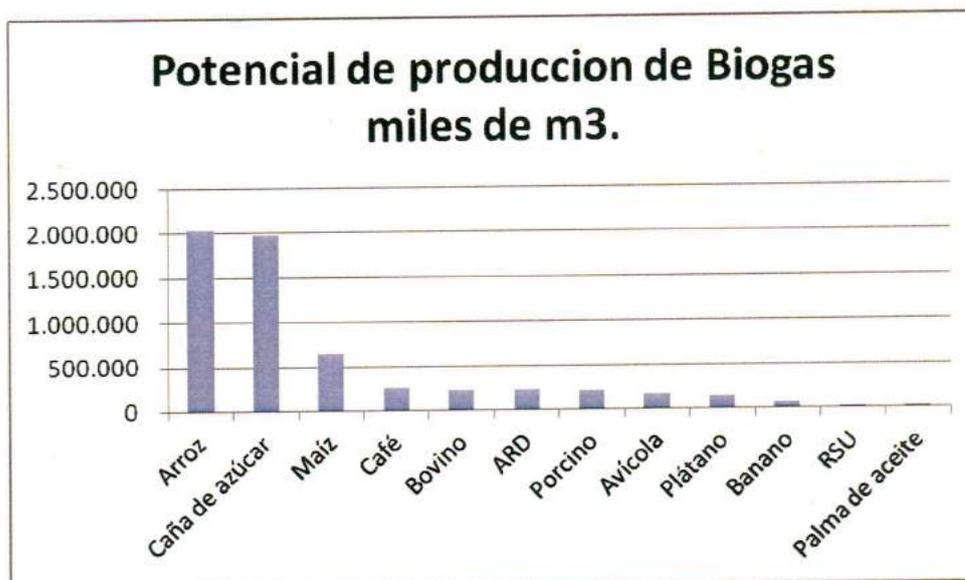


Figura 16 Potencial de Generación de Biogás

Fuente: Elaboración propia.

De esta grafica podemos observar que la mayor potencialidad, bajo las condiciones estudiadas esta en el sector agrícola, especialmente en el cultivo del arroz y la caña de azúcar.

En el anexo A se pueden consultar los mapas de UPME 2009 para estos sustratos de fuentes agrícolas y pecuarios.

4. ESTIMACIÓN DE FACTIBILIDAD DE UTILIZACIÓN POTENCIAL DE BIOGÁS EN COLOMBIA.

El biogás así generado, teniendo en cuenta las consideraciones establecidas, y la potencialidad mayor de generación de biogás de los residuos agrícolas de caña y arroz, una caracterización promedio del biogás generado se muestra en la Tabla 13

Tabla 13 Composición del biogás generado.

Composición	55 – 70% metano (CH ₄) 30 – 45% dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m ⁻³
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m ⁻³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol ⁻¹

Fuente: FAO 2011.

La Figura 17 muestra los potenciales usos de biogás en general y en los cuales se basará el análisis a considerar para estimar la factibilidad de uso final del

biogás generado en las diferentes actividades consideradas; agrícola, pecuaria y residuos, dependiendo de las características y requerimientos, el biogás puede utilizarse en prácticamente las mismas aplicaciones energéticas desarrolladas para el gas natural *i*. Generación de calor mediante combustión, *ii*. Generación de electricidad, *iii*. Integración en la red de gas natural, *iv*. Combustible para vehículos y *v*. Combustible de pilas de combustible. CUESTA 2011

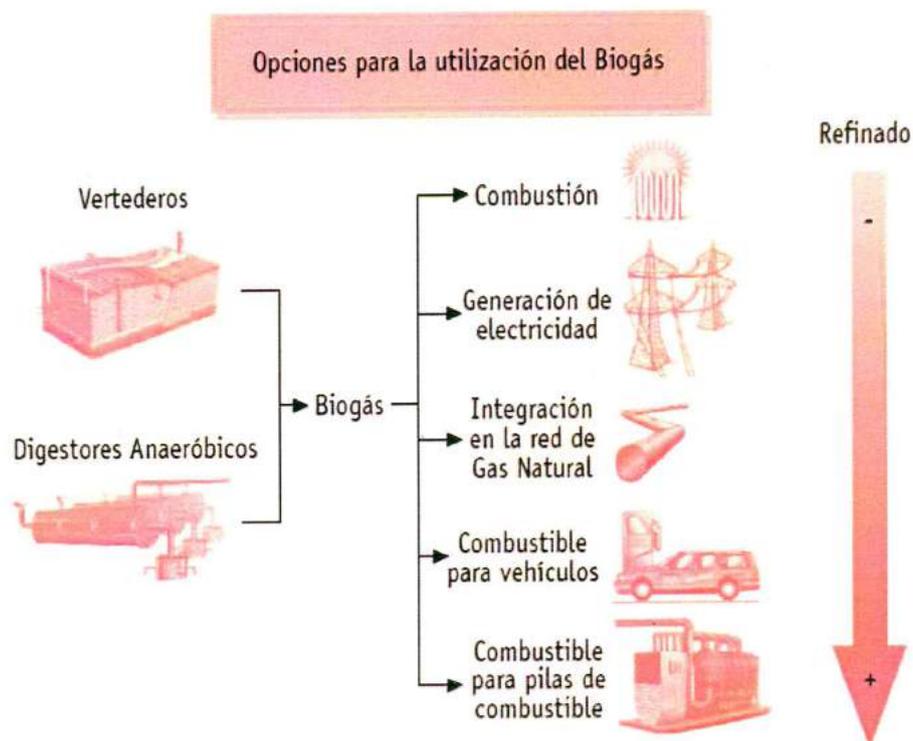


Figura 17 Opciones para la utilización del biogás.

Fuente: Cuesta Santianes 2011

4.1 Potencial de generación de biogás.

Recopilando la información contemplada en las secciones anteriores para los sectores, Agrícolas, Pecuarias y Residuos Urbanos, y con una metodología conservadora de generación de biogás por lo cual es necesario descontar los residuos con alto contenido de Lignina (madera, residuos de Podas, Raquis de plátano), que es el único compuesto orgánico que las bacterias no pueden romper según KÁISER F, agregando la información generada en la Tabla 14.

Tabla 14 Potencial de generación de biogás por sustrato

Sustrato	Miles de m3 de Biogás
Arroz	2.037.963
Caña de azúcar	1.977.337
Maíz	657.222
Café	257.049
Bovino	238.483
Aguas Residuales Domesticas	229.856
Porcino	221.446
Avícola	172.317
Plátano	145.388
Banano	82.265
Residuos Sólidos Urbanos.	25.905
Palma de aceite	7.868
TOTAL	6.053.099

Fuente: Autor

Estos datos agrupados por sector, se exponen en la figura 18, la cual muestra la composición porcentual de cada sector en la contribución en la generación potencial de Biogás en Colombia, bajo las consideraciones acotadas.

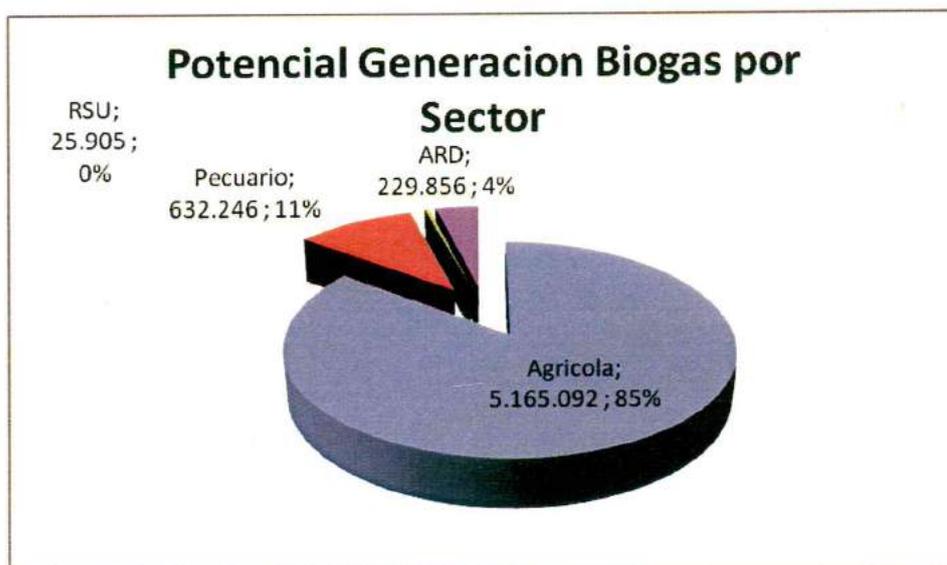


Figura 18 Potencial Generación Biogás por Sector

Fuente: Autor.

La figura 18 recalca el mayor potencial que existe en Colombia para la generación de Biogás proveniente de los Residuos generados en el sector agrícola.

4.2 Aprovechamiento del biogás.

El biogás promedio, de acuerdo a la mesa de Biogás 2010, con un contenido de 70% de metano tiene las siguientes equivalencias energéticas, (Figura 19):

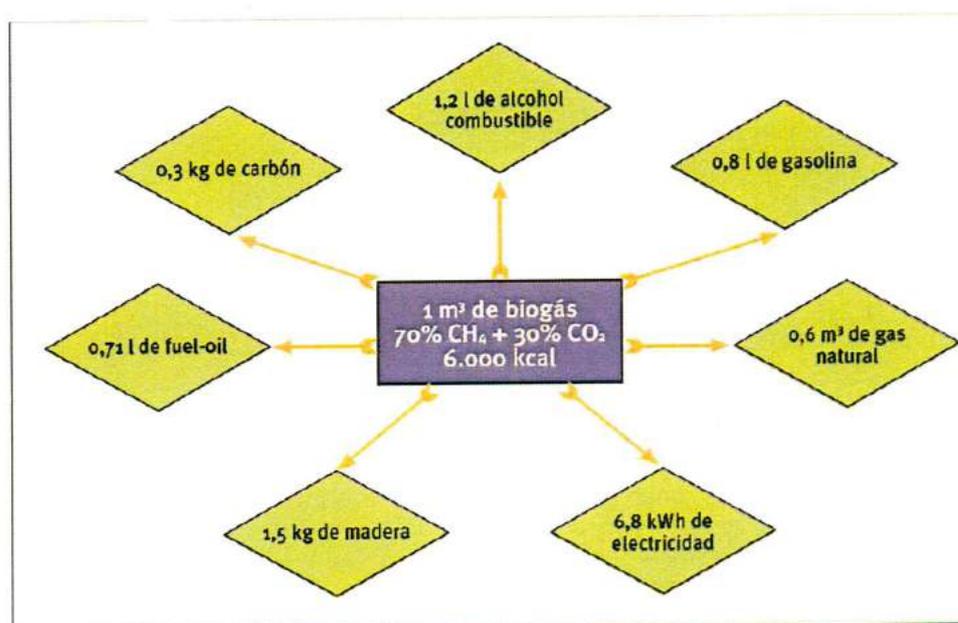


Figura 19 Equivalencias de biogás con otras fuentes de energía

Fuente Mesa de Biogás 2010.

De acuerdo a algunos estudios de caracterización y producción de biogás en Colombia, UPME 2003. el biogás producido se estima sirve como energético para gasodomésticos tipo, en las siguientes valores Tabla 15.

Tabla 15 Utilización y consumo de biogás

Equipo	Consumo de biogás en m ³ /hora
Estufa de cocina	0.150 – 0.200
Fogón para cocinar alimentos	0.300
Lámpara de gas equivalente a una bombilla de 60 W	0.100

Calentadores para lechones o cría de levante	0.250
Calentadores para cría de pollos	0.150
Motor biogás – diesel por b.h.p	0.420
Producción de 1 kWh de corriente eléctrica con una mezcla biogás diesel	0.700

Fuente: UPME 2003.

Así de acuerdo a los objetivos planteados de determinar la potencialidad del uso del biogás generado con fines energéticos en Colombia, contemplado sus usos finales para FAO, para las diversas opciones para la utilización del biogás, dentro de éstas destacan; la producción de calor, generación de electricidad y como combustible para vehículos.

i. Producción de calor o vapor; El uso más simple del biogás es para la obtención de energía térmica (calor). En aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas como cocinar y calentar agua, este es un uso directo que requiere un tratamiento mínimo de retiro de contaminantes como el sulfuro de hidrogeno, H₂S.

ii. Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad. Los sistemas combinados de calor y electricidad, Cogeneración, utilizan la electricidad generada por el combustible y el calor residual que en el proceso se genera. Algunos sistemas de cogeneración producen principalmente calor y la electricidad es secundaria. Otros sistemas producen principalmente electricidad y el calor residual se utiliza para calentar el agua del proceso, el uso de biogás en estos sistemas requiere la remoción de H₂S y vapor de agua.

iii. Combustible para vehículos: El uso vehicular del biogás es posible y se ha empleado desde hace bastante tiempo, el biogás debe tener una calidad similar a la del gas natural vehicular GNV, para usarse en vehículos que se han acondicionado para el funcionamiento con gas natural. La mayoría de vehículos de esta categoría han sido equipados con un tanque de gas y un sistema de suministro de gas, además del sistema de gasolina normal de combustible.

iv. Integración en la red de gas natural. Como combustible para uso residencial comercial e industrial básicamente en usos térmicos.

v. Combustible de pilas de combustible: Usos energético alternativo de reciente incorporación al uso potencial energético del biogás. Las celdas de combustible se consideran las plantas de energía a pequeña escala del futuro para la producción de electricidad y calor con una eficiencia superior al 60% y bajas emisiones.

La figura 20, muestra esquemáticamente las alternativas de utilización del biogás y sus requerimientos de purificación.

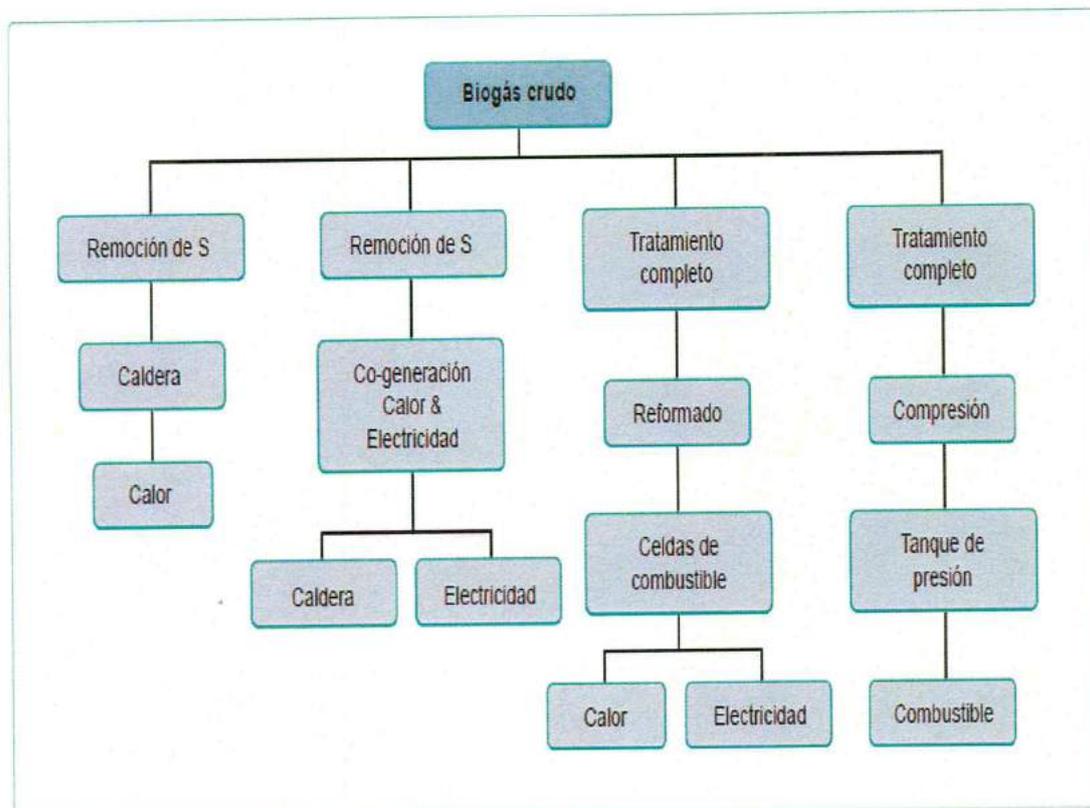


Figura 20 Alternativas de utilización del biogás y sus requerimientos de purificación

Fuente: FAO

Para hacer una estimación de la utilización del biogás en Colombia se requiere caracterizar los consumos actuales, para los usos potenciales y la

posibilidad de sustitución de los mismos con biogás, hacer un análisis del balance energético de Colombia en el año más recientemente publicado por BEN UPME 2012.

4.3 Demanda de energía y biogás.

Los sectores de demanda de energía en Colombia están claramente identificados y su cuantificación y recopilación están a cargo de la Unidad de Planeación Minero Energetica UPME, la cual publica anualmente el Balance Energético Nacional BEN.

Para este análisis partimos del BEN estimado por la UPME y disponible en UPME 2012, se presentan en la tabla 16, los valores reportados para la oferta interna de energía en Colombia BEN UPME 2012.

Tabla 16 Oferta de Energía Primaria

Energético	TJ	Participación
Hidroenergía	190464	13,27%
Gas Natural	313077	21,80%
Petróleo	690282	48,08%
Carbón	116292	8,10%
Leña	89353	6,22%
Bagazo	23454	1,63%
Otros	12887	0,90%
TOTAL	1 435 811	100%

Fuente BEN UPME 2010.

Al revisar la estructura de la oferta interna de energía en Colombia para 2010, del BEN UPME 2010, esta presenta la composición establecida proporcionalmente como esta presentada en la figura 21



Figura 21 Oferta Interna de Energía 2010

Fuente: BEN UPME 2012.

El valor de la oferta interna de energía para ese año, según el BEN de la UPME, fue de 1 435 811 TJ, de los cuales al hacer un parangón con el potencial de energía disponible en el biogás, con una capacidad calorífica promedio de 22,32 MJ/Nm³ [Tabla 13] y una producción de 6 053 099 290 m³, con un potencial energético de 135 105 TJ, se puede estimar que este podría llegar a suplir un 9,4% de la oferta interna total de energía y teniendo en cuenta la demanda de 365 832 TJ de Gas Natural en los sectores de consumo final, la generación potencial de biogás bajo estas consideraciones, cubrirían el un 37% de la demanda sectorial de Gas natural, para una revisión más cercana de las posibilidades de utilización del biogás en los sectores y la sustitución del consumo de Gas Natural por Biogás, se analiza la estructura del BEN UPME 2010 Figura 22.

REPÚBLICA DE COLOMBIA - FLUJO ENERGÉTICO 2010
UNIDADES EN TERACALORIAS

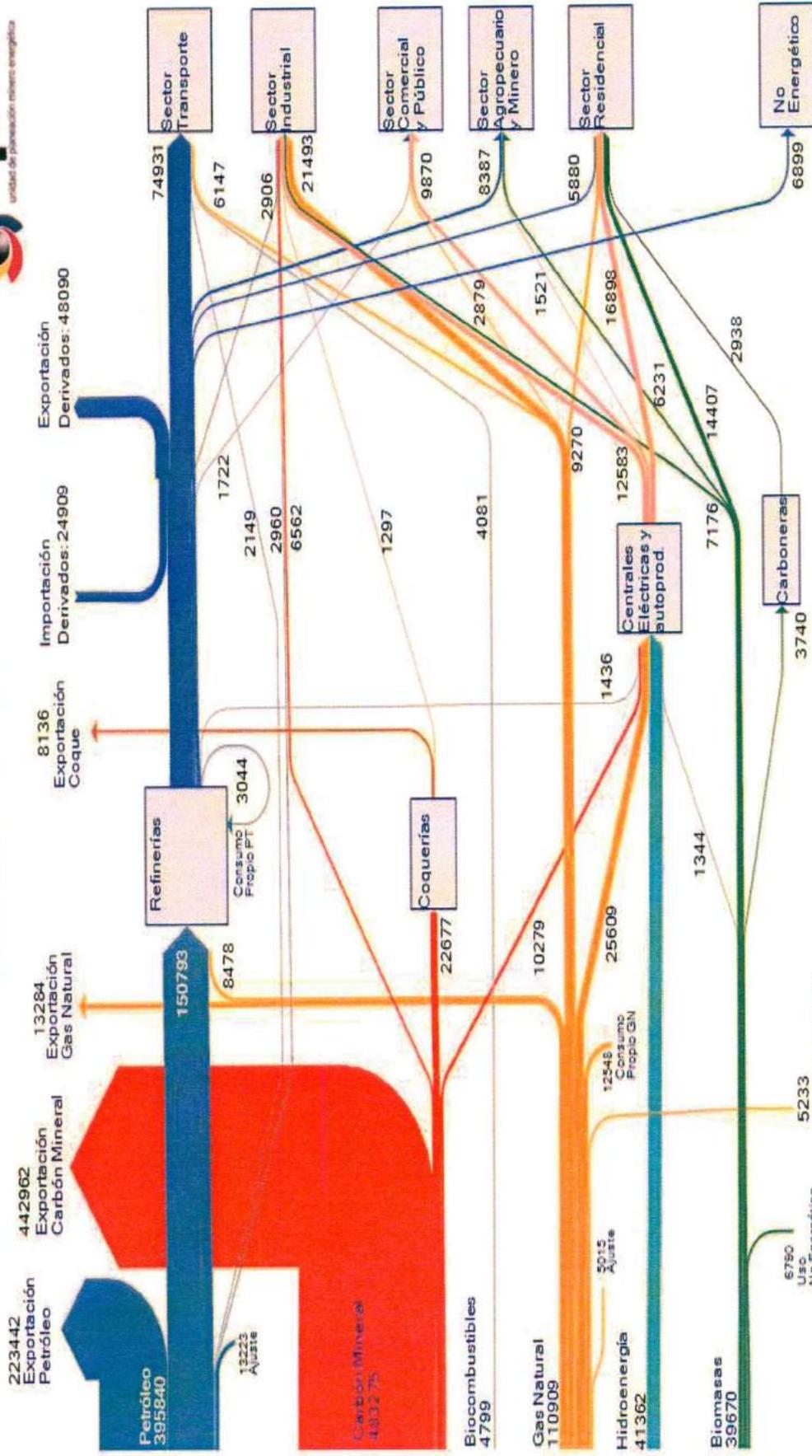


Figura 22 Balance Energético Nacional UPME 2010 Colombia

Fuente BEN UPME 2012.

De la información consignada en el BEN 2010 de la UPME, donde se establecen los valores de oferta y demanda de la energía nacional, se extrae información necesaria para el análisis y consideraciones acerca de la potencialidad de sustitución del Gas Natural en los sectores de consumo o transformación.

4.3.1 Consumo de energía térmica para generación eléctrica.

La capacidad de generación eléctrica colombiana, en la figura 28 Centrales Eléctricas y Autoproducción, está conformada en 2010, de la siguiente manera Tabla 17.

Tabla 17 Capacidad de Generación Eléctrica

Fuente.	Capacidad Instalada MW.	Participación %
Hidráulica.	8525	64
Térmica	4089	31
Menores	621	5
Total	13491	100

Fuente: SIEL 2012.

La figura 23, muestra gráficamente la distribución de la capacidad de generación eléctrica por fuente

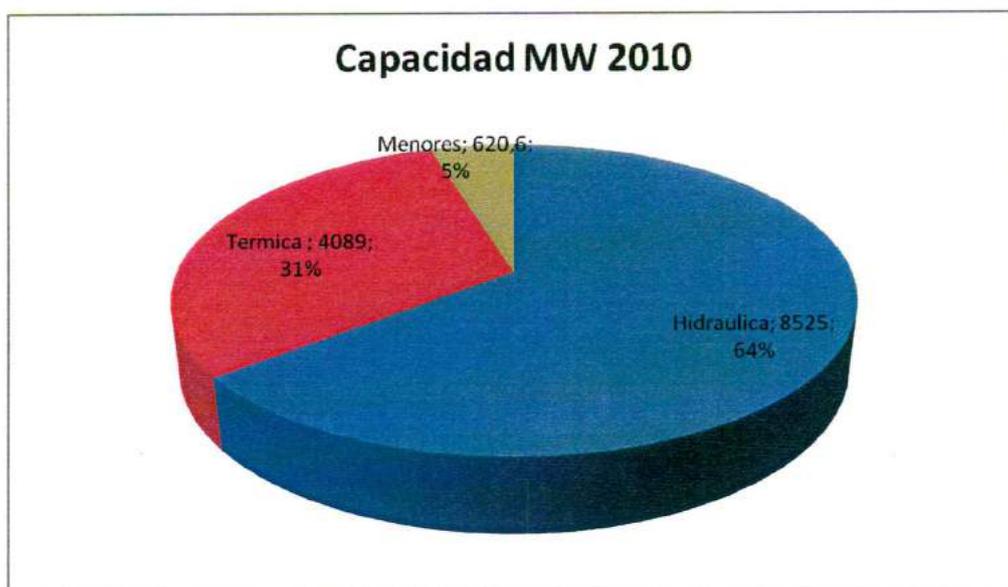


Figura 23 Capacidad Generación 2010

Fuente. Datos SIEL.

En Colombia el mercado eléctrico es privado, se trabaja bajo el esquema de libre competencia, por ello existe una entidad denominada XM S.A. E.S.P. [49] <http://www.xm.com.co> cuya actividad principal se basa en la operación del Sistema Interconectado Nacional colombiano y la Administración del Mercado de Energía en Colombia, en su portal OPESIN <https://sv01.xm.com.co/Opesin/paginas/index.asp> ,[50] es posible acceder a información acerca de las variables de operación del Sistema Interconectado Nacional SIN, este reporta para el año 2010 un valor de 56 865 535 de MWh/año con la siguiente composición de generación Tabla 18.

Tabla 18 Generación Real 2010 Tecnologías

Tecnología	Generación MWh/año	Porcentaje
HIDRO	40 556 385	71,3%
COGENERACION	201 762	0,4%
TERMICA	16 068 818	28,3%
Otros	38 570	0,1%
TOTAL	56 865 535	100%

Fuente OPESIN 2012.

De una manera grafica la figura 24 nos detalla la composición de la generación eléctrica colombiana 2010.

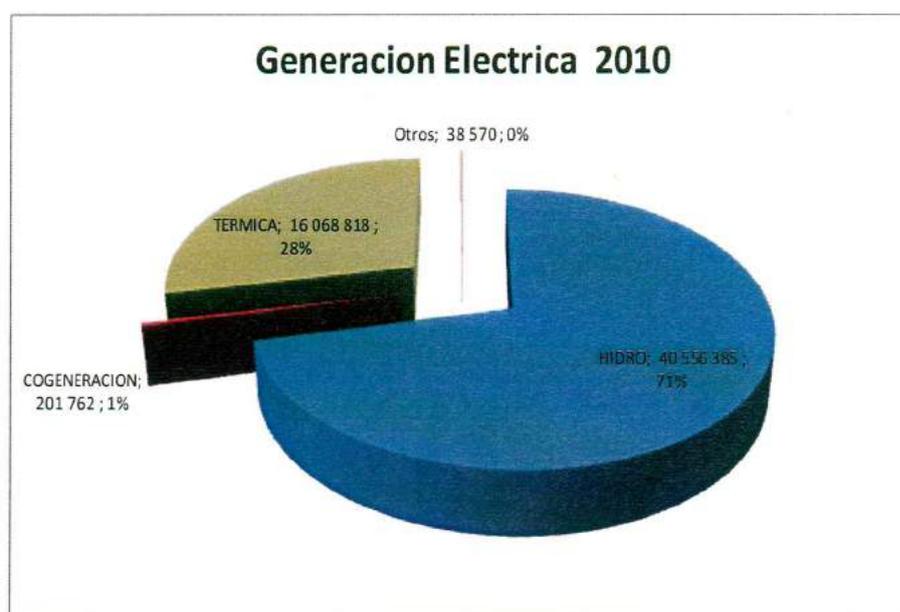


Figura 24 Generación Eléctrica MWh/año. por Tecnología 2010.

Fuente: Datos OPESIN 2012.

Para el propósito de este trabajo la generación térmica 2010, fue de 16 068 818 MWh/año.

Existe una gran participación de la generación térmica la cual está compuesta por plantas a gas y carbón en la siguiente proporción. Figura 25.

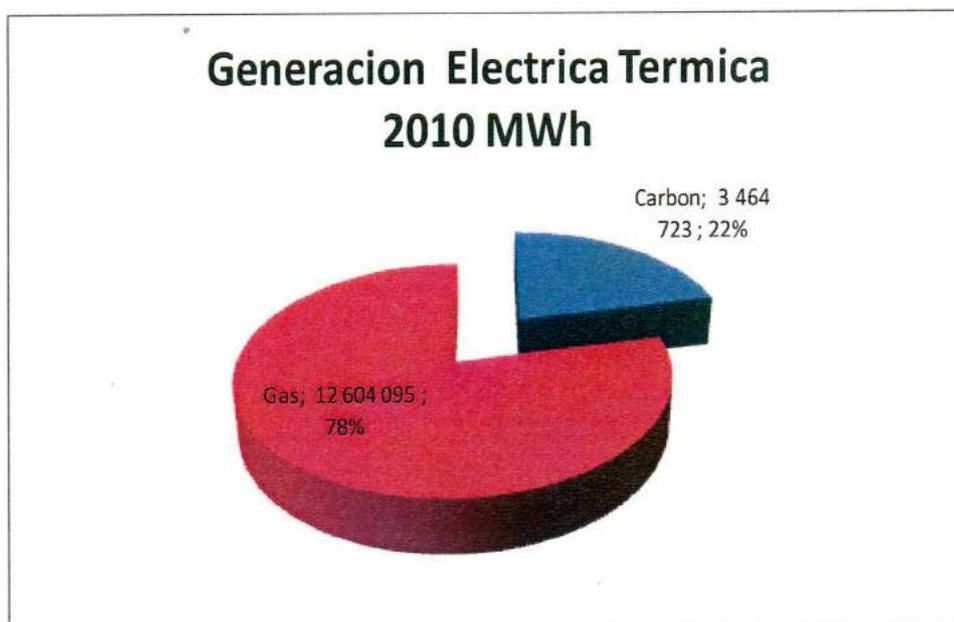


Figura 25 Generación Eléctrica Térmica

Fuente: OPESIN 2010

De información de OPESIN, es posible consultar el consumo de combustibles para generación térmica en MBtu, la cual presenta la siguiente estructura Tabla 19.

Tabla 19 Consumo de Combustible Generación Térmica 2010.

Combustible	Consumo Mbtu	Consumo TJ
Carbón	39 362 460	41 527
Gas	102 178 889	107 799
TOTAL	141 541 349	149 326

Fuente: OPESIN

Por lo cual se establece que la demanda de Gas Natural, para la generación eléctrica puede ser suplida con la producción potencial de biogás, 135 105 TJ de biogás generado bajo estas consideraciones, pero no así para suplir completamente la demanda de energía para la generación eléctrica térmica.

Hasta acá se ha evaluado el potencial de oferta de energía primaria para generación eléctrica térmica, es decir tomando los valores de capacidad instalada y

generación y consumo de energéticos para la producción de electricidad, es decir las flechas del diagrama del Balance de Energía 2010 para Gas Natural que llegan a la caja Centrales Eléctricas y Auto Productores, ahora el análisis se centrara en las líneas de flujo que van a los sectores de consumo o demanda final de la figura 22.

4.3.2 Consumo de Energía en Colombia.

La figura 22 muestra el diagrama de producción, transformación y consumo de energía en Colombia para el año 2010, en ella están contempladas los energéticos primarios y secundarios que son objeto de transformación o consumo sectorial, de allí y de BEN UPME 2012, se ha extraído información para la construcción de la tabla 20 y la figura 23, que muestran la composición de la demanda energética final.

Tabla 20 Consumo Energía Sectorial

SECTOR	Consumo TJ
Residencial	208.968
Comercial y Público	61.682
Industrial	228.286
Transporte	366.172
Agropecuario y Minero	69.489
Otros	29.729
Total	964.325

Fuente: Elaboración propia datos BEN UPME.

La tabla 20 muestra el consumo de energía sectorial en TJ para cada uno de los sectores de demanda en que está organizado el Balance Energético Nacional BEN.

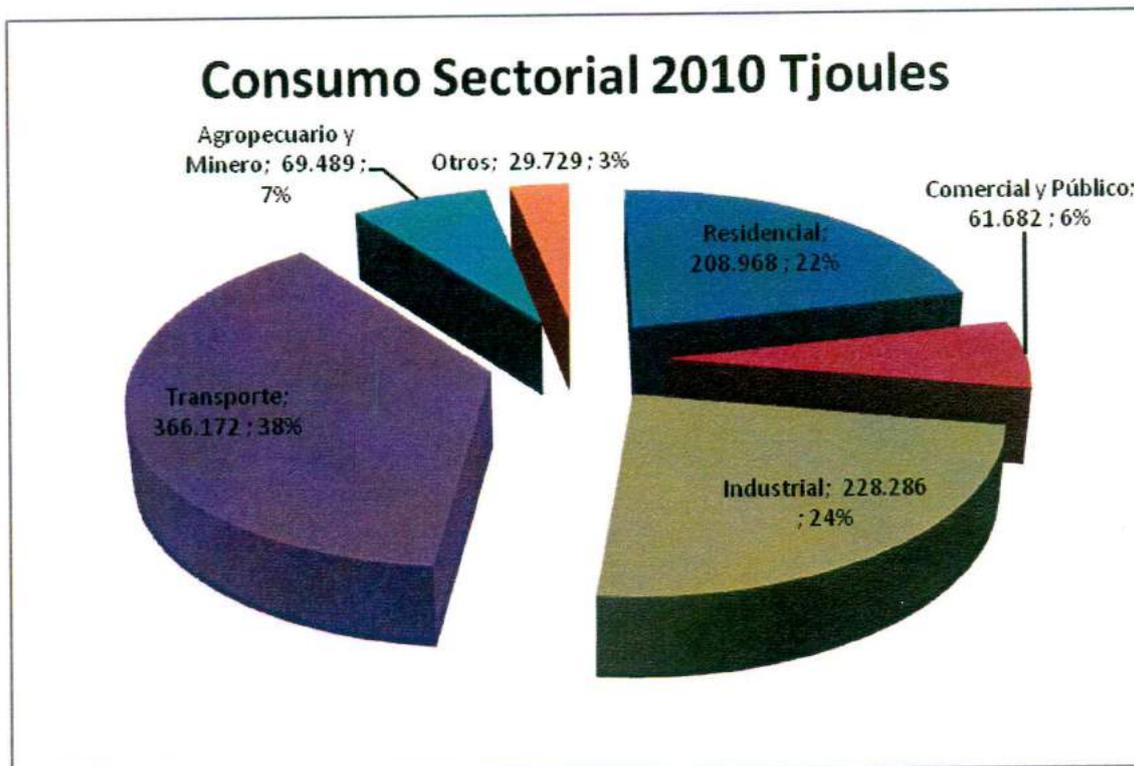


Figura 26 Consumo Energético Colombia 2010

Fuente: Elaboración propia datos BEN UPME.

La información expuesta en la sección anterior, nos muestra el orden de magnitud de la oferta y demanda de energía en Colombia.

A continuación el análisis se centrara en el consumo de Gas Natural sectorial y sus usos.

4.4 Consumo de Gas Natural Sectorial.

De acuerdo con el BEN UPME 2012, del balance energético nacional es posible obtener información acerca del de consumo final de gas natural en los sectores de demanda identificados, de la figura 22, es posible extraer información para la construcción de la tabla 20, la cual especifica el consumo de los sectores identificados es decir; Consumo Industrial, Consumo Transporte, Consumo Sector Comercial y Consumo Residencial, allí el biogás puede ser destinado a procesos de combustión o como combustible vehicular, con las siguientes proporciones.

Tabla 21 Consumo Gas Natural 2010

Sectores	Consumo TJ	Participación %
Transporte	25 736	15%
Industrial	89 987	54%
Comercial	12 054	7%
Residencial	38 812	23%
TOTAL	166 589	100%

Fuente: Datos BEN UPME 2012.

La representación grafica de esta distribución en el consumo se muestra en la figura 26. En ella como en la tabla 20, se muestra el gran consumo que de este energético hace la industria para sus procesos de calentamiento de agua, generación térmica, eléctrica y cogeneración, en este renglón hay una importante oportunidad para la sustitución del consumo y la consecuente reducción de emisiones de GEI.

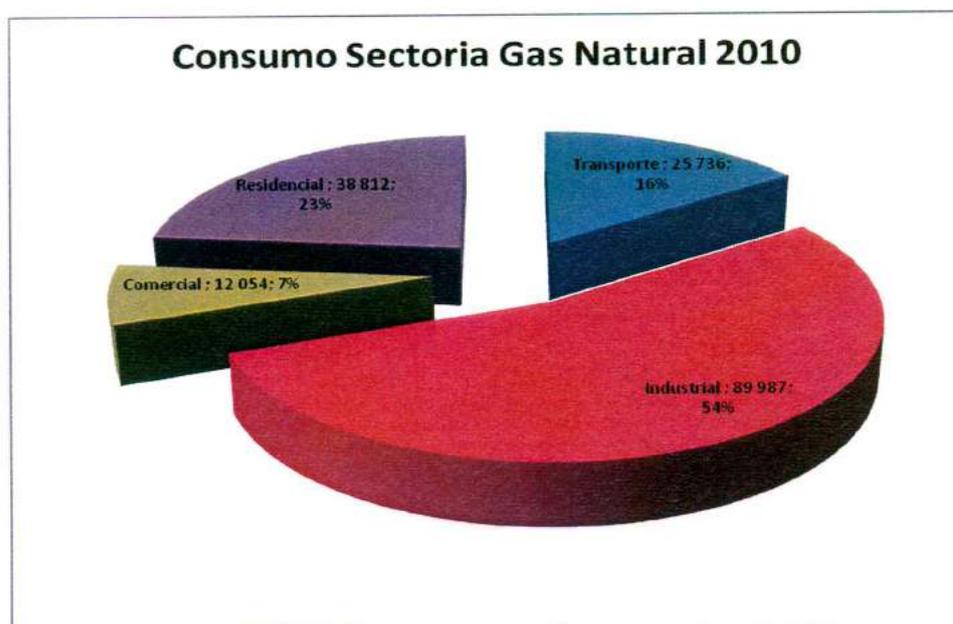


Figura 27 Consumo Gas Natural Sectorial 2010.

Fuente: UPME BEN 2010.

Un análisis de la sustitución de producción de gas natural por biogás indica que bajo las condiciones de generación de biogás y las demandas de este energético únicamente alcanzaría a suplirse el 81% de la demanda, es decir de los 166 589 TJ año que se requieren únicamente se alcanzarían a producir 135 105 TJ de Biogás.

Ahora el análisis se basara en cada uno de los sectores especificados y se centrara en los requerimientos específicos para cada sector y sus requerimientos en cuanto a calidad y procedimientos de purificación y enriquecimiento necesarios.

4.4.1 Consumo de Gas Natural sector transporte.

El balance de la UPME, especifica el consumo de Gas natural para cada uno de los sectores, en el sector transporte éste consumo corresponde a los modos de transporte de pasajeros privado, urbano e interurbano, Publico urbano e interurbano, y las modalidades de carga urbana e interurbana en las siguientes proporciones.

Tabla 22

Tabla 22 Consumo Gas Natural Transporte

Tipo de Transporte	Consumo TJ	Participación.
Pasajeros Privado Interurbano	4 375	17%
Pasajeros Privado Urbano	6 434	25%
Pasajeros Público Interurbano	4 118	16%
Pasajeros Público Urbano	7 978	31%
Carga Urbana	1 544	6%
Carga Interurbana	1 287	5%
TOTAL	25 736	100%

Fuente BEN UPME 2012.

De la información de la tabla 22 se construye la figura 26 en la que se ve la distribución porcentual de consumo de Gas Natural, por modo de transporte.

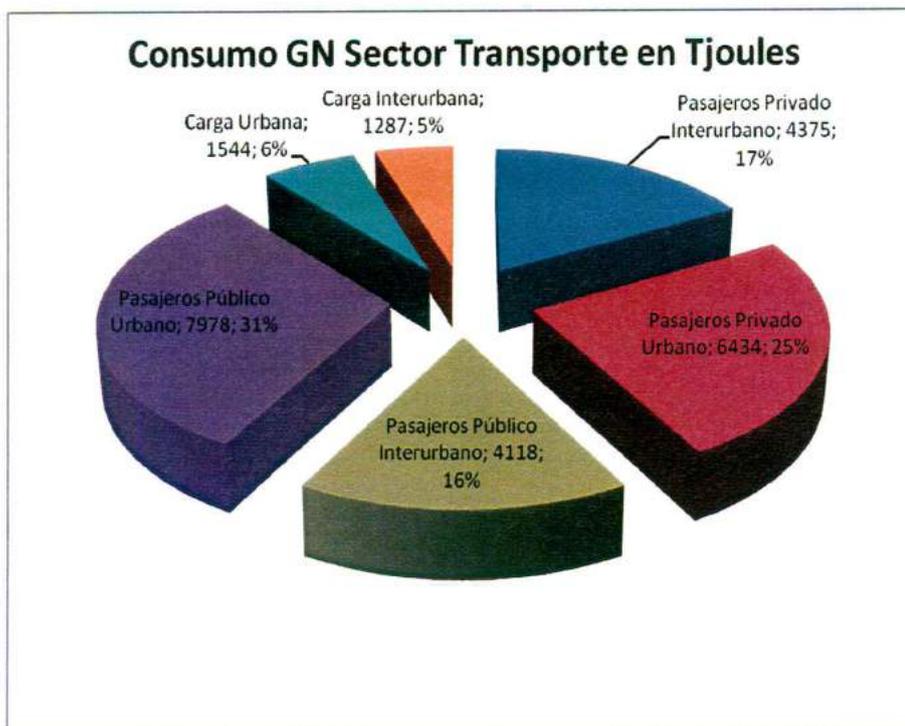


Figura 28 Consumo GN sector Transporte 2010.

Fuente: Elaboración propia datos BEN UPME 2010.

El total del consumo de energía para el sector transporte, según el BEN UPME 2012, para 2010, fue de 294 192 TJ, de los cuales el Gas Natural corresponde al 9%, con la mayor participación del Diesel Oíl con el 48% y la Gasolina Motor con el 37%.

De acuerdo a la potencialidad de generación de biogás, 135 105 TJ, en el contexto colombiano para su utilización como combustible para transporte, alcanzaría para suplir la demanda de Gas Natural en este sector 25 736 TJ, pero no sería suficiente para abastecer el consumo de todos los combustibles fósiles en el transporte.

4.4.2 Consumo de Gas Natural Sector industrial.

Este sector representa según el BEN UPME 2012, que representa el 24% de la demanda energética para el año 2010 Tabla 20., el sector industrial colombiano el

Gas Natural tiene una gran participación como energético empleado en procesos térmicos y de fuerza motriz, así como en generación eléctrica y cogeneración.

El BEN UPME 2010, presenta la siguiente composición de usos de Gas Natural en el sector industrial Tabla 22.

Tabla 23 Consumo Gas Natural Sector Industrial

CONSUMO INDUSTRIAL	TJ
Alimentos Bebidas y Tabaco	5685
Textil y Confecciones	631
Calzado y Cueros	306
Maderas y Muebles	1512
Papel e Imprenta	4294
Químicos	37943
Cemento	33551
Piedras Vidrio y Cerámicas	906
Hierro Acero y No Ferrosos	2503
Maquinaria y Equipos	388
Otros	2270
TOTAL	89988

Fuente: BEN UPME 2012.

La información de la tabla 23, presentada en forma grafica Figura 28, muestra la participación porcentual del consumo del sector industrial de cada uno de los subsectores que conforman este renglón del consumo energético nacional.

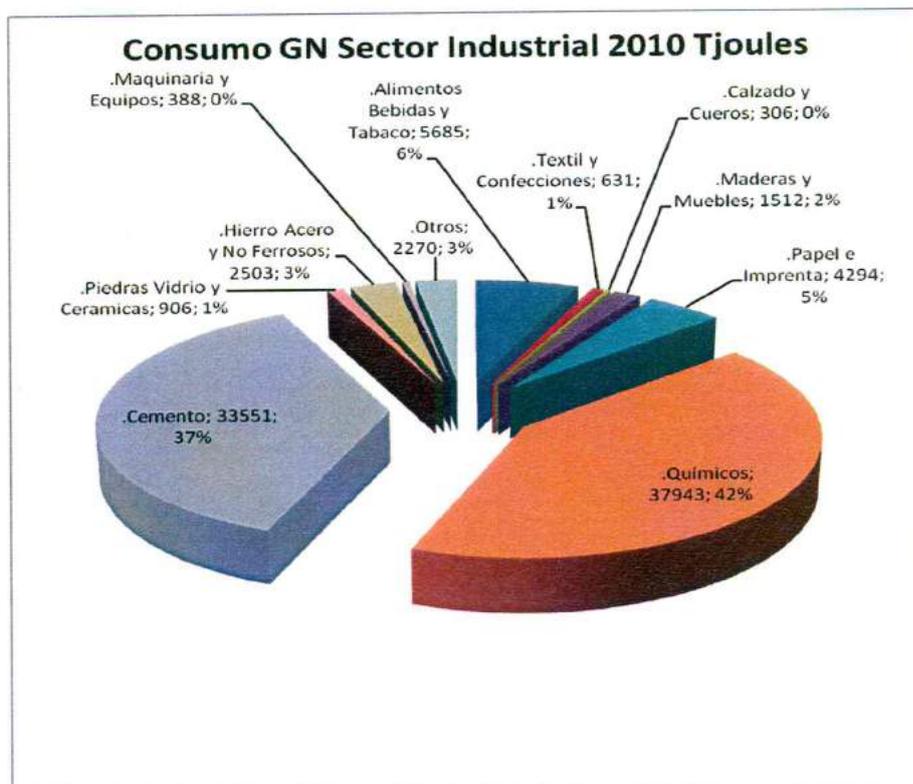


Figura 29 Consumo Gas Natural Sector Industrial

Fuente: Elaboración propia datos BEN UPME 2012.

El consumo energético en el sector industrial colombiano Tabla 20. Es de 227.858 TJ, el cual tiene una alta demanda de Gas Natural 89.988 TJ, con una participación del 39% del consumo industrial, de ella, los subsectores industriales; Químico con el 42% del consumo industrial de Gas Natural y Cemento con el 37%, son los mayores consumidores de este energético.

El potencial calculado de generación de biogás en Colombia, procedentes de biomasa residual, cubre la demanda energética de Gas Natural en este sector, cuyos usos finales, térmico y generación eléctrica, cogeneración y fuerza motriz pueden ser suplidas con este potencial, dependiendo de las condiciones específicas para cada caso, las cuales son analizadas en el capítulo quinto.

4.4.3 Consumo de gas residencial.

De acuerdo a la información del BEN UPME 2012, el consumo total nacional de Gas Natural, Tabla 20, el sector residencial representa el 23% del mismo, con un valor de 38 812 TJ, y sus usos finales son especialmente; cocción 38421 TJ con una participación del 98% y el restante 1% de 388 TJ está representado por el uso en calentamiento de agua, a nivel domestico solamente estos usos y este energético representan el 19% del consumo energético en los hogares colombianos, que es de 208.968 TJ. En la tabla 23 se muestra el consumo energético residencial por energético y los consumos específicos por usos finales para Gas Natural, la figura 29 muestra esta misma información gráficamente.

Tabla 24 Consumo Energía Residencial

Energético	Consumo TJ
Gas Natural	38.810
- Cocción	38.421
- Calentamiento Agua	388
Carbón	2.173
Leña	60.320
Electricidad	70.747
GLP	23.359
Gasolina	1.259
Carbón de Leña	12.301
TOTAL	208.968

Fuente: Autor datos BEN UPME 2010

En Colombia se implementó exitosamente en los noventa se establece el Plan de Masificación del Gas PMG, el cual establece como metas el incremento de conexiones a nivel de usuarios residenciales, el gas natural ya está presente en 6,2 millones de hogares, alcanzando un 52% de la población total del país. PROMIGAS 2010.

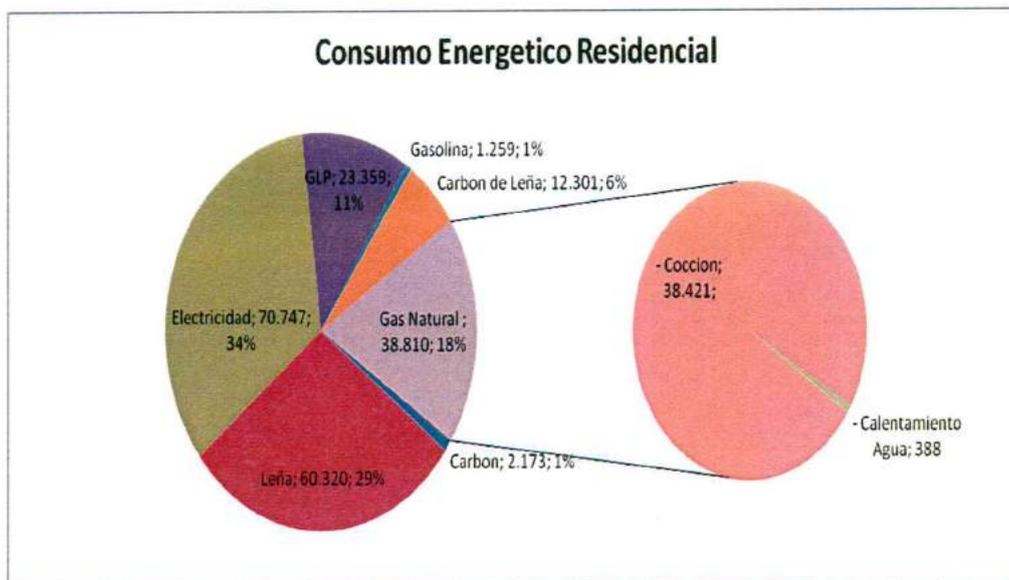


Figura 30 Consumo Energético Sector Residencial

Fuente: Elaboración propia datos BEN UPME 2010.

Con la potencialidad de generación de biogás calculado con la información de UPME 2010, se establece que es posible dotar los requerimientos energéticos en cuanto a la demanda de Gas Natural, y el 98% de los combustibles consumidos en los hogares incluyendo leña lo que se puede ver como un valor agregado positivo para los hogares colombianos especialmente en el sector rural

4.4.4 Consumo de Gas Natural Sector Comercial

La información consignada en el BEN UPME 2012, el sector comercial y publico presentan la composición de consumo de energía mostrada en la Tabla 24. en ella se especifican los energéticos utilizados en este sector.

Tabla 25 Consumo Energético Sector Comercial

Energético	TJ
Gas Natural	12.055

Petróleo	820
Electricidad	41.322
GLP	2.205
Biodiesel	273
Kerosene	817
Diesel Oil	4.182
Fuel Oil	8
Total	61.682

Fuente: BEN UPME 2012.

La figura 30 presenta la configuración del consumo total de energía en el sector comercial.

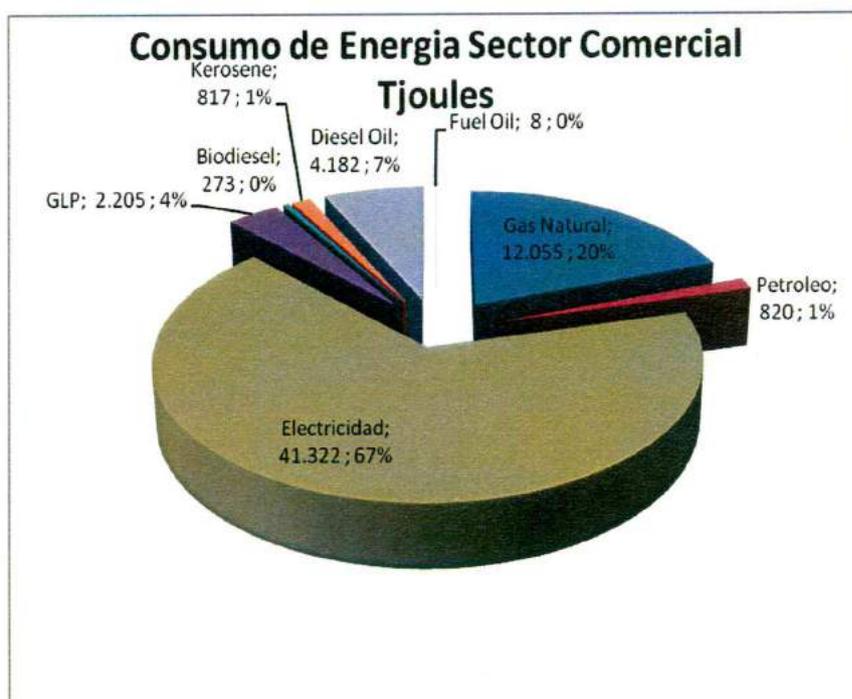


Figura 31 Consumo Energía Sector Comercial

Fuente: Elaboración propia datos BEN UPME 2012.

Esta información muestra la posibilidad de sustituir el uso de Gas Natural en este sector, con una dotación de Biogás, que tiene utilización en calentamiento de agua especialmente.

4.5 Análisis de competitividad.

Un análisis de competitividad de la utilización de biogás como sustituto del Gas Natural en los sectores estudiados, pasa necesariamente por el estudio de conveniencia y disponibilidad del recurso fósil en Colombia y sus costos asociados de producción, comercialización, según Bariloche 2009, en el diagnóstico del sector energético, para Colombia, *“Con base en la información de declaración de producción futura (2018) y los datos de reservas totales probadas y no probadas la oferta de Gas Natural, sería insuficiente para atender a la demanda a partir de 2015 a 2017”*.

Según Portafolio 2013, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) expidió un proyecto de resolución para consulta del mercado mediante la cual avala la construcción de una planta de regasificación en el Caribe, con el fin de abastecer la demanda en momentos de alto consumo, como las temporadas secas y los fenómenos del Niño, además de tomar previsiones para evitar el desabastecimiento, pues si los pronósticos de los productores de gas son realistas, Colombia necesita iniciar la construcción de plantas de regasificación en el océano Atlántico, ubicadas en barcos, para atender la demanda del combustible de los próximos años y respaldar la generación de energía de las centrales térmicas cuando llegue un fenómeno del ‘Niño’.

Esta inseguridad en el abastecimiento está contemplada en las consideraciones de; Incertidumbre sobre la suficiencia de reservas de gas en Colombia a partir de 2016, una oferta comercial insuficiente de productores para suplir la demanda de largo plazo y demanda de gas flexible para las térmicas de generación eléctrica, probabilidad de ocurrencia en 2015 del fenómeno del Niño, crecimiento de la demanda de gas promedio a partir de 2017.

De acuerdo a estas consideraciones y recopilando la información presentada para comparar las demandas de Gas Natural, para los diferentes sectores y en las diferentes etapas del proceso, o de su uso; como energético primario para transformación en generación eléctrica y de usos finales en los diferentes sectores se presenta la tabla 26.

Tabla 26 Potencial Biogás y Demanda de Gas Natural.

Potencial Biogás TJ/año	Generación eléctrica	
		TJ/año
135.105	Demanda de Gas Natural	107 799
	Consumo Sectorial	
	Industrial	89 987
	Residencial	38 812
	Transporte	25 736
	Comercial	12 054

Fuente: Autor

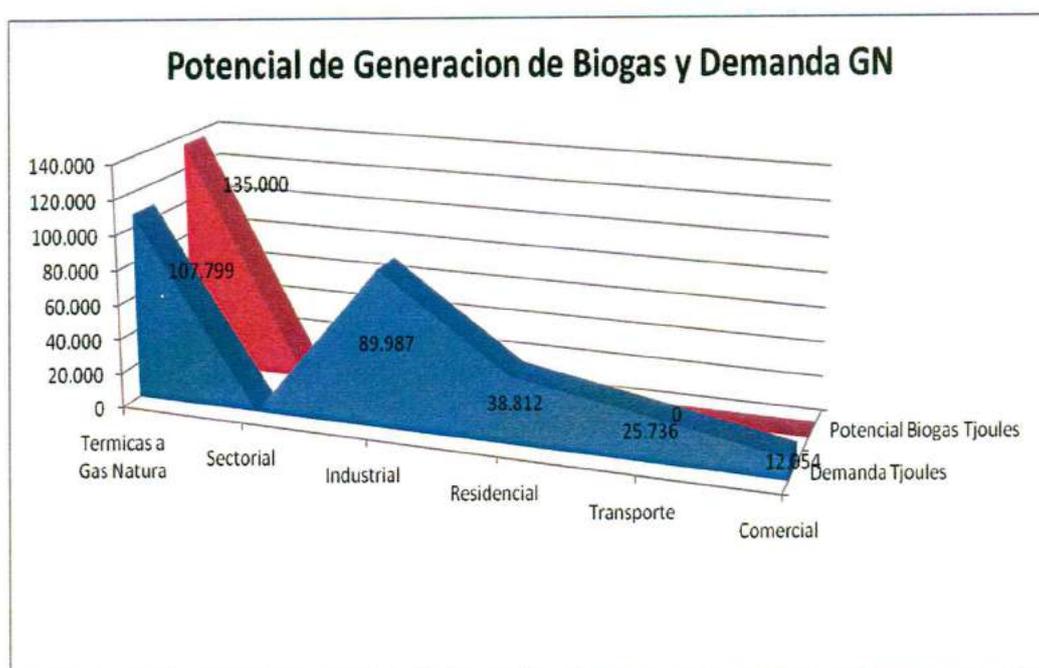


Figura 32 Potencial Biogás y Demanda de Gas Natural.

Fuente: Autor.

La figura 30 esquematiza la demanda de Gas Natural y la potencialidad de Generación de Biogás, en esta grafica se puede observar la potencialidad de sustitución de Gas Natural por Biogás con todas las ventajas sociales, ambientales, económicas que esto produce.

En el apartado siguiente se hace un análisis de competitividad de la producción de biogás dependiendo de las características exigidas para cada uso.

4.5.1 Exigencias tecnológicas por uso.

En este apartado se revisaran las características de producción de biogás y las exigencias técnicas requeridas para cada uso potencial.

La producción de biogás está en Colombia, es aún incipiente, en la última década las entidades encargadas del planeamiento y la dotación energéticas como la UPME, han elaborado estudios y proyectos que generan información de la producción de biogás, los cuales dan información acerca de los procesos y de características técnicas para la generación de biogás donde se tienen en cuenta la generación con insumos de biomasa residual, residuos urbanos e industriales.

El biogás una vez producido, puede ser utilizado para quemar en calderas tradicionales para producir calor o ser utilizado como combustible para la generación de electricidad o cogeneración, o incluso en aplicaciones de trigeneración (obtención simultánea de electricidad, calor y frío), utilizando tecnologías como motores de combustión interna MCI, turbinas de gas y como insumo para la alimentación de pilas de combustible. El biogás puede ser empleado también como combustible en el sector transporte o ser inyectado en la red de gas natural para uso domestico e industrial. Figura 32.

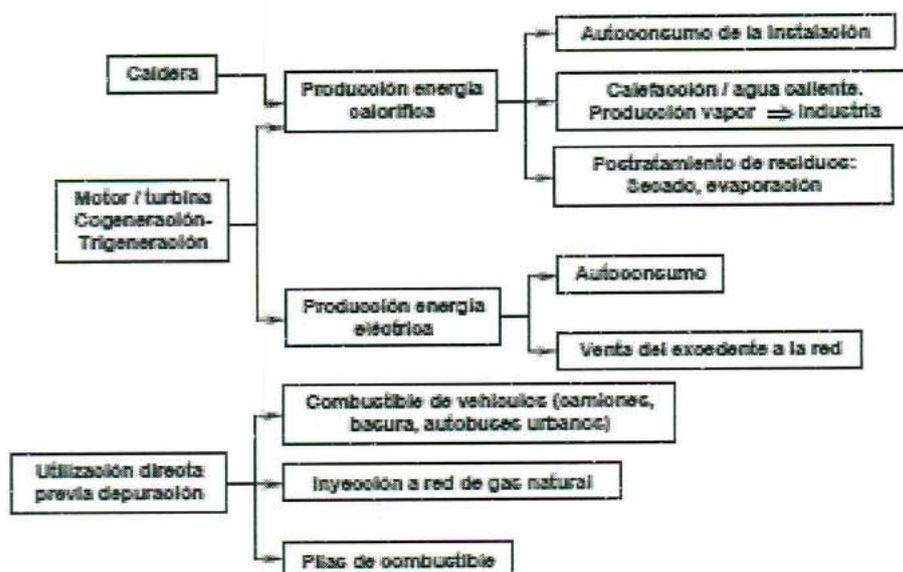


Figura 33 Usos del Biogás

Fuente: Montes C 2008

Todos los usos potenciales contemplados dependen de la calidad del biogás generado alcanzada, la cual se deriva del tipo de purificación y enriquecimiento que se haga del biogás en su producción, para limitar contaminantes tales como, ácido sulfhídrico H₂S, dióxido de carbono CO₂ y humedad.

De acuerdo al potencial de generación de biogás encontrado para Colombia, basados en la información de BEN UPME 2012, y otros, se desarrollo el análisis de conveniencia en para usos finales como; fuente térmica en la generación eléctrica y los sectores industrial y comercial, integración en la red de gas Natural, y su utilización como combustible en transporte carretero.

4.5.1.1 Producción de biogás para generación eléctrica.

Basados en los análisis de demanda de Gas Natural para Colombia, expuestos en las secciones anteriores, el máximo potencial agregado que se cuenta es la sustitución de la generación térmica con Gas Natural, por biogás, este es del orden de 107800 TJ para 2010, y las posibilidades de producción de biogás son del orden de 135.000 TJ lo cual lo hace bastante atractivo, según el análisis de Cuesta Santianes [2], esta aplicación es la más interesante para el biogás y el cual puede ser empleado para este fin mediante la utilización de diferentes tipos de tecnologías; motores de combustión interna unidos a generadores de electricidad Motogeneradores, turbinas o microturbinas de gas y pilas estacionarias de combustible.

La electricidad se puede generar mediante el uso de sistema de motor generador, el motor de combustión interna, MCI de los de usan gasolina (motores de ciclo Otto) como los que funcionan con diesel. El biogás puede sustituir el combustible de estos motores, pero sus requerimientos son de eliminación de impurezas que eventualmente pueden afectar al rendimiento y hacer que estos requieran programas de mantenimiento más estrictos.

El rendimiento del biogás en los motores de ciclo Otto es adecuado, y pueden funcionar usando un 100% de biogás. Sólo para el arrancado es necesario usar otros combustibles.

Los motores diesel, generalmente usan un sistema mixto de biogás y diesel, que permite aplicar distintas proporciones de ambos combustibles y el paso de uno a otro de forma rápida y confiable. Para ello, estos motores añaden un mezclador de gases con un sistema de control, manteniendo el sistema de inyección convencional. Cuesta Santianes 2011.

La otra opción para la utilización de biogás es mediante la utilización de turbinas de gas, esta es la que se utiliza para hacer el cálculo del potencial y la capacidad de generación de electricidad con el biogás producido con los sustratos estudiados.

Para hacer el cálculo de la energía eléctrica se utiliza el valor del poder calorífico del biogás de la siguiente manera, de acuerdo con Chamy R, se calcula el Poder calorífico del biogás, para la biomasa residual se ha considerado un contenido de metano en el biogás de un 63 %. Teniendo que el poder calorífico del biogás corresponde a la fracción del contenido del metano en el biogás y el poder calorífico del metano es igual a 35,98 MJ/Nm³, (medido a 1 atm y 25 C) multiplicado por la fracción de metano en el biogás de acuerdo a la siguiente expresión:

$$PC_{BIOGÁS} = f * PC_{METANO}$$

Donde:

$PC_{BIOGÁS}$ = Poder Calorífico del biogás. MJ/ Nm³

f = Fracción de metano en el biogás.

PC_{METANO} = Poder Calorífico del Metano. MJ/ Nm³

Reemplazando los valores correspondientes en la expresión se tiene:

$$PC_{BIOGÁS} = 0.62 * 35.98 \text{ MJ/Nm}^3 * = 22,32 \text{ MJ/Nm}^3 * 1/3.6 \text{ kWh/MJ} = 6,20 \text{ kWh//Nm}^3$$

Considerando una eficiencia de un 33%, los 6.053.099.000 Nm³ de Biogás generarían **12.384.625 MWh/año**, suficiente para cubrir bajo estas consideraciones el 98% de la generación con Gas Natural y el 77% de la generación térmica, en el año 2010.

4.5.1.2 Producción de biogás para generación térmica.

De los usos potenciales establecidos para el biogás, la generación de energía térmica, para usos de cocción y calentamiento de agua ocupa un lugar bien importante en la demanda energética de los sectores industrial, comercial y residencial, donde sus usos son específicamente calentamiento de agua y cocción.

El biogás se puede utilizar en la generación térmica. El cual tiene diversas aplicaciones. Su uso puede darse en actividades de calefacción y calentamiento de agua, otro uso específico puede darse para el calentamiento de reactores de digestión anaeróbica y en calentadores, cocinas de gas, lámparas o quemadores y estufas de uso industrial y doméstico.

El biogás también se puede aplicar en otros aparatos, como refrigeradores domésticos.

Actualmente se han desarrollado equipos para el enfriamiento de leche y de otros productos agrícolas, lo que es un importante campo de aplicación directa y rentable del biogás.

Según Cuesta Santianes, el principal inconveniente que presenta el biogás generado y utilizado con este fin es la necesidad de ubicar la zona de consumo térmico lo más cerca posible del lugar donde se genera, puesto que debido al bajo poder calorífico del biogás, su transporte no puede ser hecho de forma rentable por tuberías. Lo usual es que el calor generado por la combustión del biogás sea utilizado en las propias instalaciones productoras.

De acuerdo con la información consignada en el análisis de los sectores anteriormente especificados el potencial de consumo de Gas Natural para este uso es del orden de 140.000 TJ, especialmente usado para calentamiento de agua y cocción en el sector residencial.

El potencial calculado de generación de biogás de 135.140 TJ alcanza para cubrir el 96% de los requerimientos energéticos para este fin.

4.5.1.3 Integración en la red de gas natural.

De acuerdo con Cuesta Santianes el biogás generado puede después de ser purificado y retirada la humedad, incorporado a la red domiciliaria puesto que al igual que el Gas Natural, está constituido principalmente por metano. Por ello la incorporación a la red de distribución puede proveer a la red domiciliaria el combustible necesario para que cualquier aparato o equipo que funcione con gas natural puede ser accionado con biogás.

El biogás tiene que ser depurado previamente para que alcance los requerimientos de calidad del gas natural y se pueda introducir en su red de distribución. La purificación del biogás consiste en la eliminación de CO₂, H₂S, y vapor de agua.

La distribución de biogás en la red del gas natural presenta varias ventajas, como la posibilidad de conectar las zonas de producción con las áreas de mayor densidad de población, lo que permite que el gas llegue a nuevos consumidores.

De acuerdo a el análisis de la demanda de Gas Natural para el sector residencial, este representa un alto potencial de sustitución puesto que la generación de biogás de los sustratos estudiados es del orden de 135.000 TJ y la demanda para consumo domestico asciende a 38.421 TJ y el potencial de generación asciende a 3.5 veces más, este requerimiento.

4.5.1.4 Utilización como combustible vehicular.

El sector transporte ha sido determinante en el incremento en el consumo de Gas Natural, según el PROMIGAS, en Colombia ya existe una flota de 365 mil vehículos convertidos a Gas Natural Vehicular, en el último año se convirtieron 40 mil automotores, de los cuales 11.239 se transformaron en Bogotá, para CUESTA SANTIANES, Junto con la generación de electricidad, la utilización en combustible vehicular, es la aplicación con más futuro del biogás. Este tiene gran versatilidad y puede ser alternativa a los combustibles fósiles para aplicación al transporte urbano.

El biogás puede ser usado como combustible vehicular en motores de combustión interna y pilas de combustible, pero de acuerdo a los objetivos de este trabajo, solo se considera su uso para la primera opción.

La utilización de biogás para uso en vehículos de transporte carretero, se estima que estos vehículos emiten un 20% menos de CO₂, que los vehículos que funcionan con gasolina o diesel.

La utilización de biogás puede sustituir al gas natural en vehículos dedicados a Gas Natural combustible, pero requiere refinado del biogás para eliminar impurezas como CO₂, H₂S, vapor de agua y de esta forma, elevar la concentración de metano hasta casi el 95%.

4.6 Técnicas de purificación del biogás.

Como se ha mostrado en la sección precedente, el biogás potencialmente generado puede tener múltiples aplicaciones como energéticas, en los diferentes sectores de consumo y resulta ser un combustible viable desde el punto de vista de potencial, pero cada uno de sus usos las especificidades técnicas y exigencias de pureza y poder calorífico son únicas en sus métodos de purificación y refinancian.

De acuerdo a Llanea H y Otros, Los métodos de purificación y limpieza del biogás pueden clasificarse según en función de la tecnología utilizada o el contaminante a eliminar.

4.6.1 Métodos de depuración del biogás según tecnologías

El mayor problema para la utilización de biogás se debe a la presencia del sulfuro de hidrógeno H₂S, el cual generalmente sin tratamiento de los sustratos supera, las 200 ppm. La reducción de H₂S integrada en el mismo digestor, es efectuada por diversos procesos utilizando reacciones biológicas, químicas o efectos físicos, los cuales se describen brevemente a continuación:

4.6.1.1 Métodos de adsorción

Estos métodos se basan en la captura en una superficie selectiva de las impurezas del biogás con ayuda de sólidos granulados, de gran superficie específica.

Estos sistemas se utilizan principalmente para eliminar el agua, el dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno presentes como contaminantes en el biogás.

4.6.1.2 Métodos de absorción

Se emplea básicamente para eliminar H₂S y el CO₂. Basados en un proceso de transferencia de masa entre la sustancia gaseosa a depurar y un líquido denominado absorbedor. El solvente habitual es el agua y se utilizan diversos compuestos y sistemas para la depuración.

Uno de los procedimientos empleados para absorber el H₂S y el CO₂, consiste en la utilización de soluciones de aminas, que se combina con dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno para dar compuestos de hidrógeno carbonato, amoníaco y azufre con amoníaco.

4.6.1.3 Métodos biológicos

Se llevan a cabo mediante la acción de determinados microorganismos tales como bacterias sulfurooxidantes que llevan el sulfuro a azufre metálico.

En el anexo B, se presenta una tabla resumen de las tecnologías de purificación de biogás para la iniciativa PROBIOGAS (LLANEZA 2009), la cual busca establecer el desarrollo de sistemas sostenibles de producción y uso de biogás agroindustrial.

Ahora como un resumen de las tecnologías de purificación necesarias se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 27 Sustancias Contaminantes del biogás sus efectos y necesidad de remoción

Sustancia		Efecto	
H2S		Corrosión Toxicidad Formación de ácido sulfúrico	
Agua		Formación de condensados Formación de soluciones ácidas	
CO2		Reducción de poder calorífico	
Partículas		Decantación, obturación	
NH3		Formación de óxidos de nitrógeno	
Usos del biogás	Eliminación de agua	Eliminación de CO2	Eliminación de H2S
Producción térmica en calderas	Parcial	No	No
Producción eléctrica y térmica en motores de cogeneración	Parcial	Parcial	Parcial
Combustible para vehículos	Elevado	Elevado	Elevado

Fuente: Martínez Vázquez y otros 2012.

La tabla 27 resume básicamente los potenciales efectos de contaminantes del biogás y sus necesidades de remoción para diversas aplicaciones

El biogás producido, debe ser depurado previamente en cualquiera de sus aplicaciones energéticas y los requerimientos en cuanto al refinado son mayores cuando se utiliza como combustible de vehículos, se inyecta en la red de gas natural tal como se ve en la figura 17.

4.7 Experiencias internacionales.

Existe dos tendencias claramente diferenciadas en a producción de biogás y su utilización en el concierto internacional, mientras que en Europa los estudios de potencial de producción de biogás agroindustrial y su demanda está claramente identificada y cuantificada, con experiencias de utilización sostenible, en América Latina, aun es incipiente y sus investigaciones aun está en la fase de establecer potencial, tal como se verá en el siguiente apartado.

4.7.1 Unión Europea.

Según el IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, en el Plan de Energías Renovables para España, PER 2005 2010, la Unión Europea elaboró en 1997 el Libro Blanco para una Estrategia Común y un Plan de Acción para las Energías Renovables, el cual planteaba como objetivo general, que el aporte de las fuentes de energía renovables sería un 12% de la energía primaria demandada en el conjunto de la Unión Europea en el año 2010.

Para el caso del uso energético del biogás, el objetivo establecido para 2010 fue el de incrementar su participación en el consumo energético de la Unión en 15 millones de toneladas equivalentes de petróleo. tep

La figura 34, muestra para finales del año 2003 el consumo de biogás en la Unión Europea, medido en términos de energía primaria, el cual alcanzó 3.219 ktep.

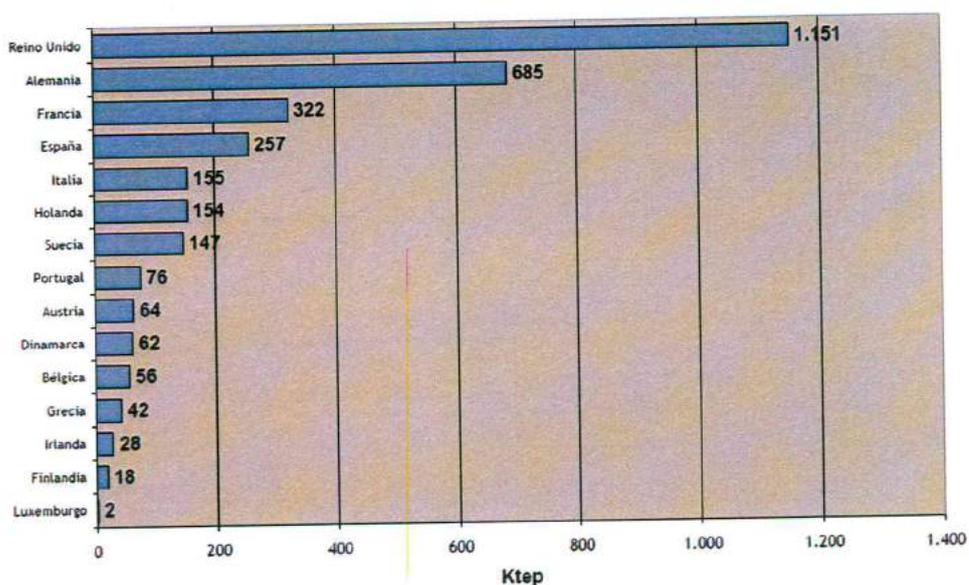


Figura 34 Consumo de Biogás en la Unión Europea

Fuente: IDAE 2006.

En el documento de IDAE-AINIA-GIRO 2011, Situación y potencial de generación de biogás. Estudio Técnico PER 2011-2020, se muestra el potencial de producción de biogás que para España se muestra en la figura 35.

	Potencial total (ktep/año)	Potencial accesible (ktep/año)	Potencial disponible (ktep/año)
Biogás de la fracción orgánica de residuo sólido urbano (FORSU)	778,1	311,2	124,5
Biogás de vertedero (VER)	957,9	208,8	145,6
Biogás de estaciones depuradoras urbanas de aguas residuales (EDAR)	164,4	123,3	N.D.
Subtotal biogás FORSU+VER+EDAR	1.122,3	434,5	270,1
Ganadería	2.925,5	1.361,6	1.130,3
Industrias alimentarias (origen animal)	135,7	135,7	81,4
Industrias alimentarias (origen vegetal)	215,9	215,9	117,1
Industrias alimentarias (leñas EDARI)	15,9	15,9	12,7
Distribución alimentaria (DAL)	33,8	27,0	27,0
Hotelería, restaurantes y catering (HRC)	47,4	37,9	37,9
Plantas de biocombustibles	93,3	93,3	18,7
Subtotal biogás agroindustrial	3.467,5	1.887,4	1.425,1
Total biogás	4.589,8	2.321,9	1.495,2

Figura 35 Potencial de producción de Biogás España
Fuente IDAE-AINIA-GIRO 2011

En la figura 36 se muestra la producción de biogás para el año 2008 para algunos países de la Unión Europea, se ve que la mayor producción corresponde a Francia y Alemania.

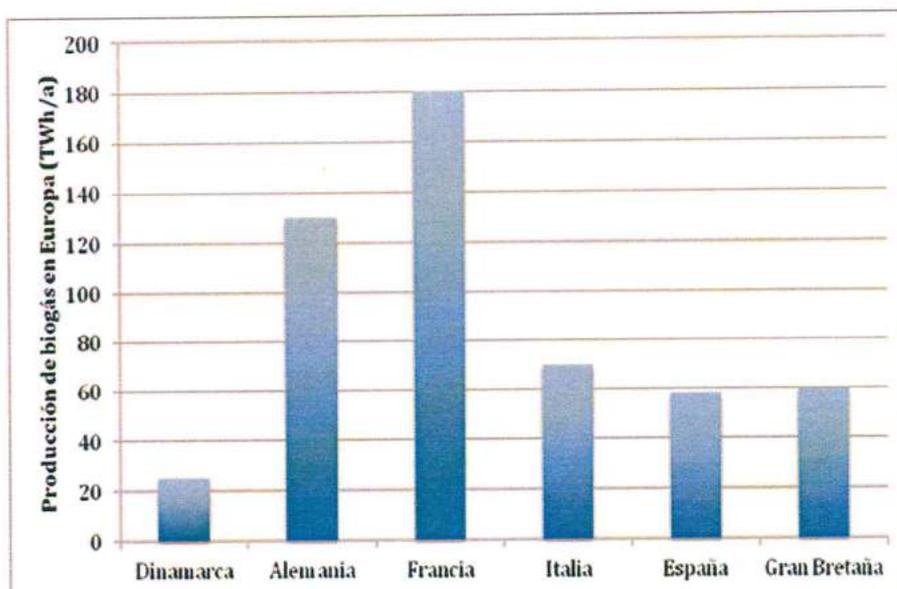


Figura 36 Producción de Biogás en Europa
Fuente: DEUBLEIN y otros 2008.

4.7.2 América Latina.

Los estudios encontrados de potencial y usos de biogás en América Latina y el Caribe, hacen relación al potencial de producción de biogás en Chile, del estudio de Chamy y Vivanco de identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponible en Chile para generación de biogás, la cantidad de biogás disponible por año se representa en la figura 36:

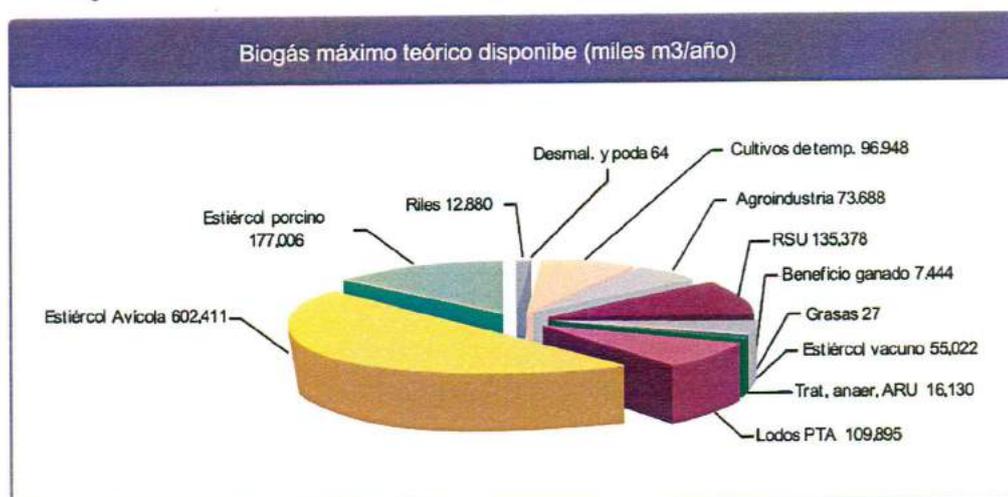


Figura 37 Potencial Máximo Teórico de Biogás para las diferentes biomásas.
Fuente CHAMY y VIVANCO

De esta información se puede colegir que el potencial de biogás generado es de 1.286.637.000 m³/año, lo que energéticamente corresponde a 28.718 TJ/año.

De información reportada por Avila S 2009, la producción mundial de biogás en 2008 con información de la Agencia Internacional de Energía. EIA la producción mundial de biogás fue de 274.170 GWh mientras que la de México ascendía a 432 GWh año.

Datos reportados por Hernandez E y otros 2012, dan cuenta de un potencial de generación de biogás del orden de 430.085.833 m³/año y aplicando el mismo contenido energético utilizado para los demás potenciales se tiene una generación de 9.600 TJ/año para Honduras

Zanette reporta para 2009 un potencial de producción de biogás en Brasil, superior a 100 millones de m³ de metano/día, advirtiendo que este dato debe ser

empleado de manera conservadora, lo mismo que el dato de este estudio, ahora si empleamos esta cifra con las salvedades hechas el Brasil tendría la capacidad potencial de generar 36.500.000.000 de m³ de metano/día, que valorado con un contenido energético de 23 MJ/m³ representa 814.680 TJ / año.

Ahora una comparación primaria muestra que el potencial de producción de biogás para Colombia de 135.135 TJ/ año, es un valor bastante interesante desde el punto de vista de potencial comparado con datos de Chile y Brasil principalmente.

5 POLITICAS DE INCENTIVOS Y CONCLUSIONES

5.1 Legislación aplicable a la promoción

Las políticas de promoción de Fuentes No Convencionales de Energía, están dirigidas principalmente al establecimiento de incentivos y regulación en biocombustibles.

5.1.1 Legislación en Biocombustibles.

En Colombia, la promoción y apoyo a la producción de biocombustibles en general, está fundamentada en los objetivos trazados de propender por la diversificación de la canasta, energética a través del uso de biocombustibles, con criterios de, Sostenibilidad ambiental, Mantenimiento y desarrollo del empleo agrícola, Autosuficiencia energética, Desarrollo agroindustrial y mejoramiento de la calidad de los combustibles del país, como resultado de la mezcla entre los biocombustibles y el combustible de origen fósil.

Esta política está enmarcada básicamente a la promoción de la producción de combustibles líquidos tales como etanol carburante y biodiesel, para los cuales está claramente reglamentada, las mezclas y sustitución del mismo como la ley 693 de 2001, la cual establece que artículo 1. "Las gasolineras que se utilicen en los centros urbanos de más de 500.000 habitantes, a más tardar en septiembre del año 2006, tendrán que contener compuestos oxigenados tales como alcoholes carburantes"

El país tiene claramente establecidos los objetivos para la promoción de combustibles de origen orgánico, pero no existe una legislación específica para biogás.

En 2002 la LEY 788 (Reforma Tributaria) en el artículo 31, declara exento del IVA al alcohol carburante con destino a la mezcla con el combustible motor en la misma ley pero el artículo 88, exoneró del pago del impuesto global y de la sobretasa al porcentaje de alcohol carburante que se mezcle con la gasolina motor.

En el tema específico de la promoción de biodiesel el marco legal está soportado en la ley No. 939 (30 de Diciembre de 2004) mediante la cual se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal para uso en motores diesel, la reforma tributaria o ley 788 establece que el biodiesel de producción Nacional con destino a la mezcla con ACPM estará exento del impuesto a las ventas.

5.1.2 Legislación en Biogás.

Existen en el país iniciativas para la acción de mitigación de gases de efecto invernadero y Uso Racional de Energía, pero aun no se ha estructurado políticas alrededor de la promoción del biogás.

En diciembre de 2012 la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG emitió la resolución 135, mediante la cual se adoptan normas aplicables al servicio público domiciliario de gas combustible con Biogás, en ella se especifica en sus definiciones que:

Biogás por Redes de Gas Natural.: Biogás que se inyecta en redes que transportan o distribuyen gas natural para prestar el servicio público domiciliario de gas combustible. Solamente se podrá inyectar a estas redes el Biogás que haya recibido un tratamiento tal que su calidad técnica y ambiental sea compatible con la del gas natural y, por tanto, susceptible de mezclarse con los otros gases en condiciones técnicas y ambientales adecuadas.

Más adelante en la parte resolutive establece que:

ARTÍCULO 5. Inyección de Biogás en Redes de Gas Combustible: El Biogás únicamente se podrá mezclar con el gas natural en redes de transporte o distribución a partir del momento en que la CREG adopte los estándares de calidad aplicables al Biogás que se inyecte en redes de gas

natural. Otros aspectos regulatorios aplicables al Biogás que se inyecta a redes de gas natural, tales como la regulación de precios, se definirá cuando se adopten las condiciones de calidad o cuando la CREG a partir de los análisis correspondientes así lo considere.

A la fecha de elaboración de este documento, la CREG no ha desarrollado documentos de soporte para establecer las condiciones de calidad a las que se refiere el artículo 5 de la citada resolución.

5.2 Conclusiones del estudio.

El estudio del potencial de generación de biogás en Colombia y sus usos como energético, buscaba establecer un marco general para a partir de información consignada en estudios anteriores, básicamente el de UPME 2010, poder establecer una referencia para estimar el potencial de generación de biogás con fines energéticos.

Con las limitaciones establecidas con la metodología empleada para realizar este estudio, es necesario destacar que podrá haber resultados con imprecisiones por la información estadística empleada basada en el Atlas de la UPME 2010, para la proyección nacional, que son de difícil ponderación. Las estimaciones hechas sugieren que, en ciertos sectores las cifras oficiales son coherentes, mientras que en otros distan de las cifras manejadas por los sectores.

El potencial bruto nacional de biogás de las actividades analizadas es del orden de los 6.580 MNm³ de biogás a 60% CH₄/año.

Este potencial representa un total de 135.105 Tjoules de potencia térmica, equivalentes a unos 12.384.625 MWh/año de energía eléctrica, al supuesto de conversión térmica a eléctrica del 33% usado en el análisis.

El valor total de mercado de la electricidad equivalente a dicho potencial bruto es de 222.923 MUSD/ año.

Es necesario aclarar que el trabajo base, del Atlas de Biomasa Residual en Colombia, UPME 2010, establece de una manera gruesa, la potencialidad de la

generación de biomasa residual en actividades agropecuarias y de residuos sólidos en un número determinado de ciudades.

Esta estimación puede verse en la figura 34 como lo muestra CHAMY R. En su adaptación de la figura de adaptado de Heck/Hoffmann/Wern, 2004.

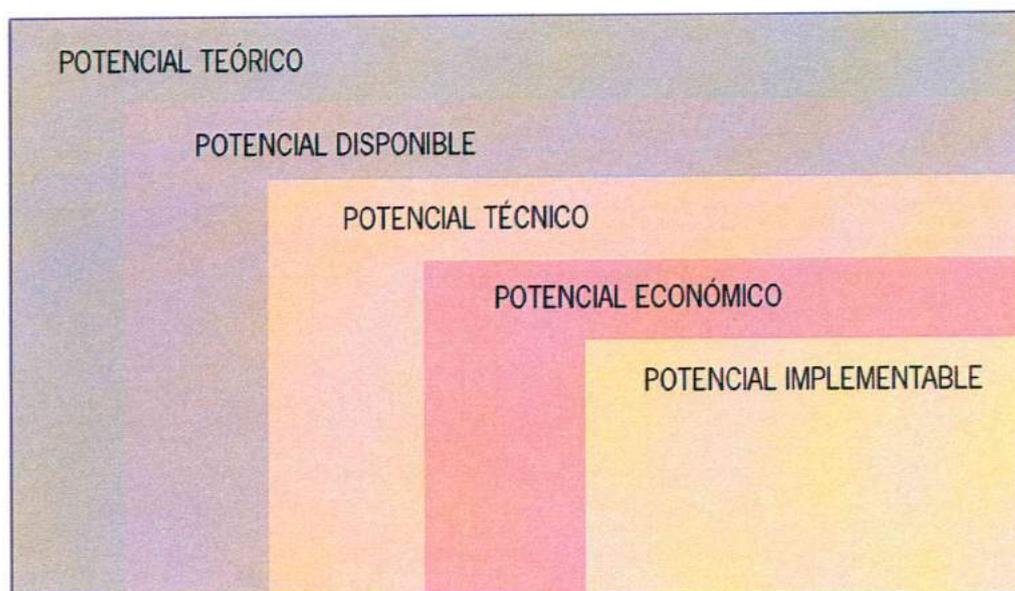


Figura 38 Categorías de potenciales de biomasa

Fuente: CHAMY R

Esta figura refleja conceptualmente, la estimación de la biomasa residual elaborada en el Atlas de Biomasa Residual UPME 2010, de allí se extrajo la información necesaria para la estimación del potencial.

Se ha encontrado el potencial teórico de la generación de biogás con la información del Atlas y de los factores de emisión teóricos referenciados.

Se hicieron algunas consideraciones de capacidades de generación de algunos componentes de la biomasa disponible, para que la estimación fuera más robusta por lo que resultó más conservadora.

Se considero esencialmente la sustitución de Gas Natural por Biogás, dejando de lado la posibilidad de desplazar otros combustibles fósiles, especialmente en el sector transporte.

Sin embargo a pesar de las limitaciones y consideraciones expuestas, el potencial de generación de biogás y la sustitución de Gas Natural, presenta cifras interesantes que ameritan mucho mas estudio.

La CREG ha elaborado documentos de análisis que se encuentran en consulta a la fecha tal como el D-079-12, el cual contiene una propuesta de regulación aplicable al transporte, distribución y comercialización de biogás, pero limitado a aquel que se obtiene de rellenos sanitarios, es necesario ampliar la regulación al biogás de otras fuentes.

5.3 Recomendaciones.

A pesar de los resultados obtenidos de generación de biogás con la biomasa residual y la posibilidad de sustitución de Gas Natural por biogás, es necesario abordar con más profundidad el estudio del potencial de biogás para generación de energía en los siguientes aspectos.

- a) Se requiere para el cálculo más preciso del potencial de biogás, información del potencial disponible y técnico de biomasa residual y caracterizaciones de la misma.
- b) Considerar una evaluación económica costo beneficio de la producción de biogás y su uso final contemplando como beneficios todas las externalidades atribuibles a este tipo de proyectos, tal como la valoración del digestato, la mitigación de emisiones GEI por tener un potencial GWP veintun (21) veces mayor el Metano CH₄ que el dióxido de carbono.
- c) Es necesario caracterizar la biomasa residual con información de factores de emisión específicos para otro tipos de contaminantes criterio con NO_x SO_x y poder así estimar este tipo de contaminación potencial.
- d) La información de consumo final de energía por usos en los sectores, solo esta desagregada para el sector residencial y transporte, es necesario

contar con desagregaciones para sectores de consumo más específicos como industrial y comercial.

- e) Es necesario difundir en los estamentos estatales principalmente, la tecnología y el grado de avance a nivel mundial especialmente de la Unión Europea, de las aplicaciones de uso energético del biogás lo cual no ha sido muy difundido en nuestro medio y los tomadores de decisiones carecen de información y formación suficiente.
- f) Los proyectos de biogás pueden participar en los mecanismos establecidos en el Protocolo de Kyoto como proyectos de biogás en el mercado de carbono, los cuales pueden participar por su contribución a la disminución de emisiones mediante; proyectos de generación de biogás, los cuales evitan la emisión de CH₄ directamente a la atmósfera mediante la captura de metano o proyectos de utilización de biogás, el cual sustituye el uso de combustibles fósiles para generar energía térmica; o sustituye el uso de la energía de la red para las actividades productivas, ya sean domésticas o industriales.

A pesar de las limitaciones expuestas, se puede concluir que es factible la generación de biogás a partir de biomasa residual y la sustitución de Gas Natural por biogás.

BIBLIOGRAFÍA.

Agencia para la Protección del Ambiente (U.S. EPA) **Landfill Methane Outreach Program Washington, D.C.** 2009.

AVILA S Enrique 2009 **BIOGAS: OPCION REAL DE SEGURIDAD ENERGETICA PARA MEXICO.** Disponible en | itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/.../5826/1/BIOGAS.pdf
Acceso Dic. 2012

AUGURA PAGINA WEB, **El Banano colombiano**
http://www.augura.com.co/index.php?option=com_content&view=article&id=11&Itemid=21
Acceso diciembre 2012.

BEN UPME 2012, **Balance energético Nacional 2012**, accesible en http://www.UPME.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Balance.aspx?IdModulo=3
Acceso Enero 2013.

BOTERO Sergio **Biomasa como Alternativa Energética.** 2006, disponible en http://fs03eja1.cormagdalena.com.co/nuevaweb/Energia/Foro%20Energetico/Presentaci%C3%B3n%20Unal_medellin.pdf
Acceso Enero 2013.

CALDERÓN SÁENZ F **la cascarilla de arroz "caolinizada"; una alternativa para mejorar la retención de humedad como sustrato para cultivos hidropónicos.** Disponible en http://www.drcalderonlabs.com/Investigaciones/Cascarilla_Caolinizada/La_Cascarilla_Caolinizada.htm
Acceso diciembre 2012.

CHAMY MAGGY Rolando, **Biogás como fuente de ERNC: Oportunidades y Desafíos**, 2008, disponible en <http://www.redbiogas.cl/wordpress/wp-content/uploads/2009/06/1-Rolando-Chamy.pdf>
Acceso enero 2013.

CHAMY Rolando y VIVANCO Elba **Identificación y Clasificación de los Distintos Tipos de Biomasa Disponibles en Chile para la Generación de Biogás** 2007, disponible en <http://www2.gtz.de/dokumente/gut/gtz2008-13886es-tipos-biomasa-disponible.pdf>
Acceso diciembre 2012

COLLAZOS Carlos Julio **Tratamiento De Aguas Residuales Domesticas E Industriales, Cátedra Internacional 2008** disponible en http://www.ing.unal.edu.co/catedra/drs_diaz_collazos/TRATAMIENTO%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20DOMESTICAS%20E%20INDUSTRIALES.pdf
Acceso diciembre 2012.

COLMARES W Y SANTOS K **Generación y manejo de gases en sitios de disposición Final** 2007 disponible en

<http://www.ingenieriaquimica.org/system/files/relleno-sanitario.pdf>

Acceso diciembre 2012

CREG 2012 Resolución 135 de 2012 Comisión de Regulación de Energía y Gas, por la cual se adoptan normas aplicables al servicio público domiciliario de gas combustible con biogas. Disponible en

<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1aed427ff782911965256751001e9e55/6e48d2a9e2da32de05257ae20078b5aa?OpenDocument>

Acceso Enero 2013.

CUESTA SANTIANES Ma Jose – MARTIN SANCHEZ Francisco, CRESPO VICENTE Gema VILLAR FERNANDEZ Susana, **Informe de Vigilancia Tecnológica madri+d “Situación actual de la producción de biogás y de su aprovechamiento”**, disponible en

[http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/FC08010A98DEE05AC12576030022B6B2/\\$FILE/VT17_Situacion_actual_produccion_biogas_y_aprovechamiento.pdf](http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/FC08010A98DEE05AC12576030022B6B2/$FILE/VT17_Situacion_actual_produccion_biogas_y_aprovechamiento.pdf)

Acceso diciembre 2012.

DAVILA Jose Luis, **biogás de rellenos sanitarios – generalidades**, 2009 disponible en http://www.globalmethane.org/documents/events_land_20090326_landfill-26mar09_landfill_gas_collection_systems_jose_luis_davila.pdf

Acceso diciembre 2012.

DEUBLEIN, D. et al. **Biogás from Waste and Renewable Resources: An Introduction**. Weinheim: Wiley-VCH, 2008.

DISCURSO MINISTRO DE AGICULTURA DE COLOMBIA **Congreso XXXIII de Fedearroz**. 2011, disponible en <http://www.fedearroz.com.co/noticias-docs/Discurso%20ministro%20de%20agricultura.pdf>

Acceso Enero 2013.

DNP Departamento Nacional de Planeación **Documento CONPES 3177 acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales** 2002. Disponible en

http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/6/40506/1a_Colombia_DNP_2002_Conpes_3177_Aguas_residuales.pdf

Acceso diciembre 2012

EL UNIVERSAL, **Colombia produce más maíz** 2012. Disponible en

<http://www.eluniversal.com.co/cartagena/economica/colombia-produce-mas-maiz-82376>

Acceso diciembre 2012.

ESPINAL G. Carlos, MARTÍNEZ Héctor J. PEÑA Yadira, **La cadena del plátano en Colombia** 2005 disponible en http://201.234.78.28:8080/jspui/bitstream/123456789/624/1/2005112164634_caracterizacion_platano.pdf
Acceso diciembre 2012.

FAO / MINENERGIA / PNUD / GEF **Manual de Biogás** 2011 disponible en http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/publicaciones/manual_biogas.pdf
Acceso Enero 2013.

FEDERACION NACIONAL DE CAFICULTORES **Principales Cifras de La Caficultura Colombiana** disponible en [http://mailin.cafedecolombia.com/productivo/Inscripc.nsf/792337e17cf5a4f605256d51008185f3/2c078acdd6d20f830525730200816139/\\$FILE/B-3-Principales%20cifras%20de%20la%20caficultura%20colombiana.pdf](http://mailin.cafedecolombia.com/productivo/Inscripc.nsf/792337e17cf5a4f605256d51008185f3/2c078acdd6d20f830525730200816139/$FILE/B-3-Principales%20cifras%20de%20la%20caficultura%20colombiana.pdf)
Acceso enero 2013.

GOMEZ GUARNIZO Juan y RUEDA DE VIVERO Rodrigo. **Productividad del sector ganadero bovino en Colombia durante los años 2000 a 2009** 2011. Disponible en <http://repository.urosario.edu.co/bitstream/10336/2629/1/1047396260-2011.pdf>
Acceso Diciembre 2012.

GUARDADO CHACÓN José Antonio, **Tecnología del biogás** 2006, disponible <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia34/HTML/articulo03.htm>
Acceso enero 2013.

GUARNIZO FRANCO Anderson, MARTÍNEZ YEPES Pedro Nel. **Estudio de La Hidrólisis Ácida del Raquis de Banano** 2011 disponible en http://www.uniquindio.edu.co/uniquindio/revistainvestigaciones/adjuntos/pdf/e70a_N2207.pdf
Acceso Enero 2013.

HERNÁNDEZ Evelyn, BORGOGNO D, JOVER N, FERRANDO J, SALOMÓN M, **Estudio sobre el potencial de desarrollo de iniciativas de biogás a nivel productivo en Honduras**. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Honduras, PNUD, octubre de 2011.

IDAE 2006 **PLAN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA 2005-2010** disponible en <http://www.idae.es/index.php/mod.pags/mem.detalle/id.14/re/menu.12>
Acceso enero 2012

INDUSTRIA AVICOLA **Perfil Avícola Latinoamericano: Colombia** 2011. Disponible en <http://www.industriaavicola-digital.com/industriaavicola/201205?pg=10#pg10>
Acceso Diciembre 2012.

KUNZ Airton **Bioconversão de resíduos de animais** 2012 en Curso de Especialização em Energias Renováveis Ênfase em Biogás Universidade Federal da Integração Latino-Americana.

LLANEZA, Herminio; MORÍS, M^a Antonia, GONZÁLEZ AZPÍROZ, Lola GONZÁLEZ, Elisabet **Caracterización, purificación y control del biogás** 2010 disponible en [http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/7559B244B63EB155C125753F0058E255/\\$FILE/Cap1.pdf](http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/7559B244B63EB155C125753F0058E255/$FILE/Cap1.pdf)
Acceso Enero 2012.

MARTINEZ VÁZQUEZ Elena, JURADO GARCÍA Margarita, HOSTALET MARTÍNEZ Nicolas, SALMORAL LUQUE Araceli, **BIOMANEGÁS** disponible en http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:67027/componente67026.pdf

Acceso Enero 2012.

MESA DE BIOGAS **El Sector del Biogás Agroindustrial En España**, 2010, disponible en http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/requisitos-y-condicionantes-de-la-produccion-ganadera/docbiogasversion21-09-2010_tcm7-5925.pdf

Acceso Enero 2012.

MORILLO Fernanda y FAJARDO Eliana **Estudio de los reactores UASB para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario la esmeralda** 2005 disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/1980/1/fernandacristinamorilloleon.2005.pdf>
Acceso diciembre 2012.

OPESIN 2012. Operador del Sistema Interconectado nacional modulo de consultas <https://sv01.xm.com.co/Opesin/paginas/cargavARIABLE.asp?Tit=GENERACI%D3N&In d=generacion>

Acceso Enero 2013.

ORDOÑEZ Maria del Carmen **Evaluación de la generación de biogás en rellenos sanitarios en Colombia en el marco del protocolo de Kyoto**. 2011. En <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/2261/1/363728O65.pdf>

Acceso enero 2013.

PADILHA BOTTON Janine, **Fundamentos Bioquímicos para a Produção de Biogás** 2012 en Curso de Especialização em Energias Renováveis Ênfase em Biogás Universidade Federal da Integração Latino-Americana.

PLANELLA .Laia , **Nuevas perspectivas en el aprovechamiento del biogás como punto importante para la rentabilidad de los proyectos** 2010 disponible en <http://www.retema.es/articulos/143.php>

Acceso diciembre 2012.

RODRIGUEZ V Nelson, ZAMBRANO F Diego, **Los subproductos del café, fuente de energía renovable.** 2010 Disponible en

<http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0393.pdf>

Acceso enero 2013.

Portafolio 2013 **Colombia necesita plantas de regasificación en el mar** Marzo 11 de 2012 disponible en <http://www.portafolio.co/economia/colombia-necesita-plantas-regasificacion-el-mar>

Acceso marzo 2013

PROMIGAS **Informe del sector gas natural 2010**, disponible en

<http://www.promigas.com/wps/wcm/connect/84a9ad8048997f5aabf7ebcfb9c50a54/Informe+del+sector-2011.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=84a9ad8048997f5aabf7ebcfb9c50a54>

Acceso Enero 2013.

RODRÍGUEZ Jenny Alexandra, **Tratamiento Anaerobio de aguas Residuales.** 2007.

SENADO DE LA REPÚBLICA **LEY 142 DE 1994**

SERRANO CAMACHO Ciro **Alternativas de Utilización de Biogás de Rellenos Sanitarios en Colombia** 2006. Disponible en

http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/energias_alternativas/potencialidades/Alternativas_Utiliza_Biogas_Rellenos.pdf

Acceso diciembre 2012.

SIEL 2012 Sistema de Información Eléctrica **"Variables de Generación"**, disponible en

<http://www.siel.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=LIS2J21jdw4%3d&tabid=115&mid=574>

Acceso Enero 2013.

SIPSA Producción porcícola colombiana. Costos de producción regionales para carne de cerdo. En: Boletín mensual. Precios y factores de producción pecuaria. Colombia, Diciembre 2007. No 12. Vol 6.

TORRES GUILLÉN, Diego; ARTEAGA CHÁVEZ, Luis. **Desarrollo de un Sistema de Biodigestores y Energías Limpias**, 2009. Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). **Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás** 2003. Referencia disponible en

http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/normalizacion/GUIA_PARA_LA_IMPLEMENTACION_DE_SISTEMAS_DE_PRODUCCION_DE_BIO.pdf

Acceso Noviembre 2012.

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). **Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia**, 2009. Referencia disponible en

<<http://www.si3ea.gov.co/Home/Biomasa/tabid/76/language/es-CO/Default.aspx>>
Acceso en: Noviembre 2012.

ZANETTE Luis 2009 **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil** disponible http://www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/zanette_luiz.pdf
Acceso enero 2013

ANEXO A.

Potencial energético de la biomasa Residual en Colombia.

A1 Residuos de Cosecha

La siguiente tabla es la recopilación de la información de UPME 2009.

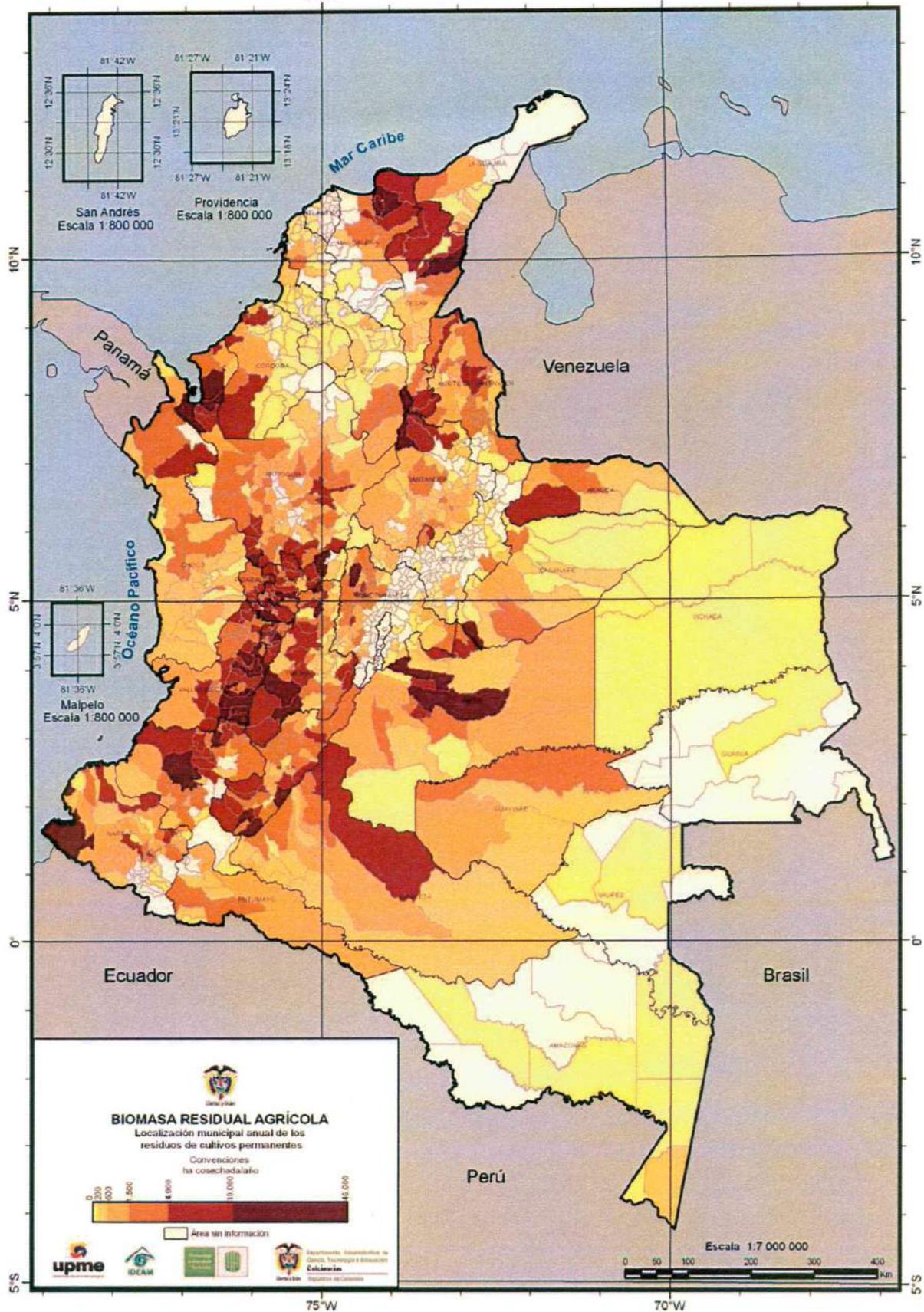
Cultivo	Producción ¹ [t/año]	Tipo de residuo	Origen del residuo	Factor de residuo ² [t _{residuo} /t _{producto principal}]	Masa de residuo	Potencial energético
					[t / año]	[TJ / año]
Palma de Aceite	872.117	Cuesco	RAI	0,22	189.074	2.627,44
		Fibra		0,63	546.381	6.778,89
		Raquis de Palma		1,06	924.618	6.607,31
Caña de Azúcar	2.615.251	Hojas - Cogollo	RAC	3,26	8.525.718	41.707,22
		Bagazo	RAI	2,68	7.008.873	76.871,65
Caña Panelera	1.514.878	Bagazo	RAC	2,53	5.680.790	62.305,56
		Hojas - Cogollo	RAI	3,75	3.832.640	18.749,01
Café	942.327	Pulpa	RAI	2,13	2.008.192	7.206,79
		Cisco		0,21	193.460	3.338,57
		Tallos	RAC	3,02	2.849.596	38.561,52
Maíz	1.368.996	Rastrojo	RAC	0,93	1.278.642	12.573,18
		Tusa		0,27	369.629	3.845,88
		Capacho		0,21	288.858	4.383,73
Arroz	2.463.689	Tamo	RAC	2,35	5.789.669	20.699,41
		Cascarilla	RAI	0,2	492.738	7.136,53
Banano	1.878.194	Raquis de banano	RAC	1	1.878.194	806,31
		Vástago de banano		5	9.390.968	5.294,27
		Banano de rechazo	RAI	0,15	281.729	495,34
Plátano	3.319.357	Raquis de plátano	RAC	1	3.319.357	1.425,00
		Vástago de plátano		5	16.596.783	9.356,64
		Plátano de rechazo	RAI	0,15	497.903	875,43
TOTAL	14.974.807				71.943.813	331.645,71

RAC: Residuo Agrícola de Cosecha RAI: Residuo Agrícola Industrial

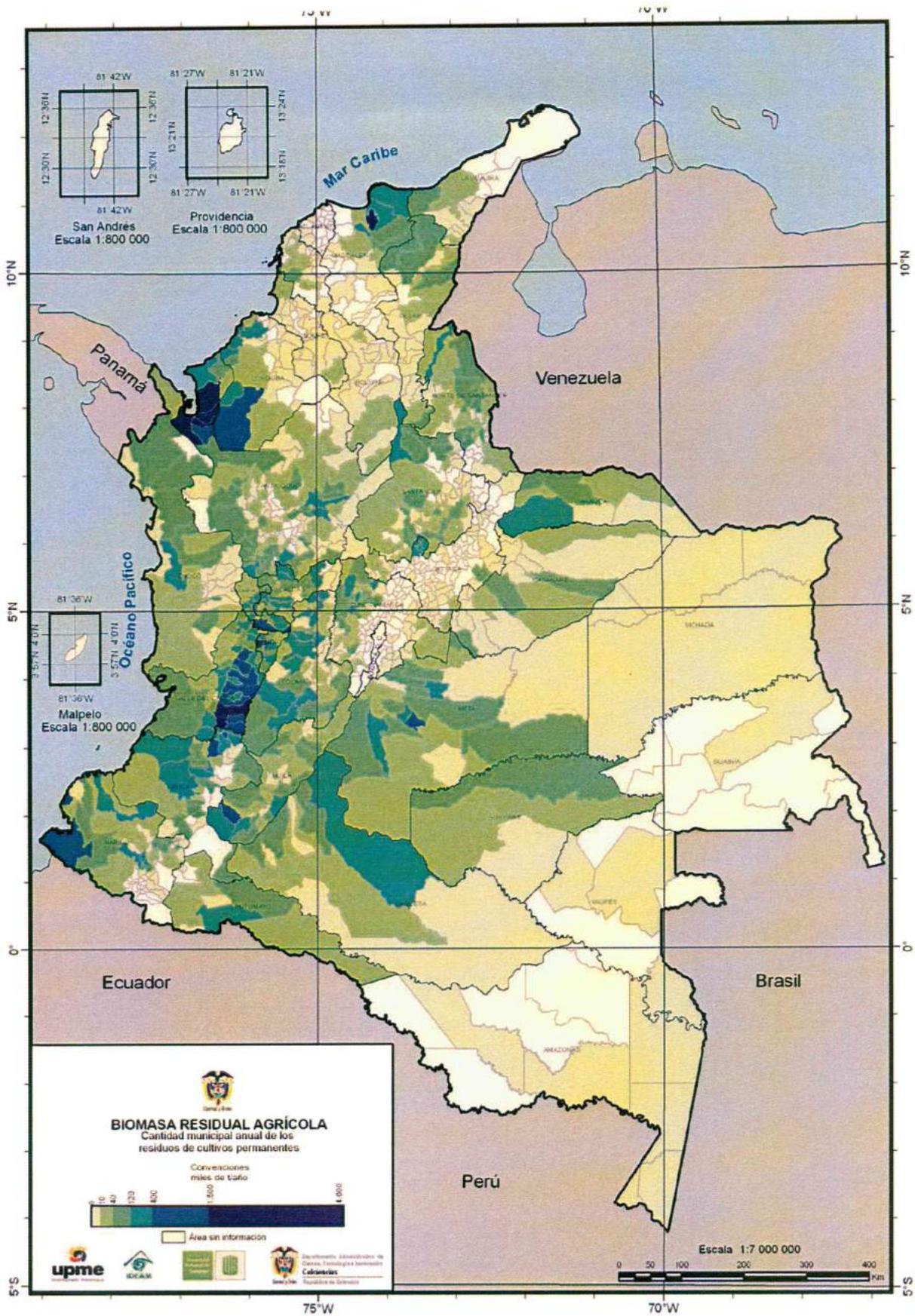
¹: Ministerio de Agricultura (2006) Anuario Estadístico.

²: Datos obtenidos de los centros de investigación y federaciones relacionadas: Cenipalma, Cenicaña, Cimpa, Cenicafe, Augura, Fedearroz y Fenalce

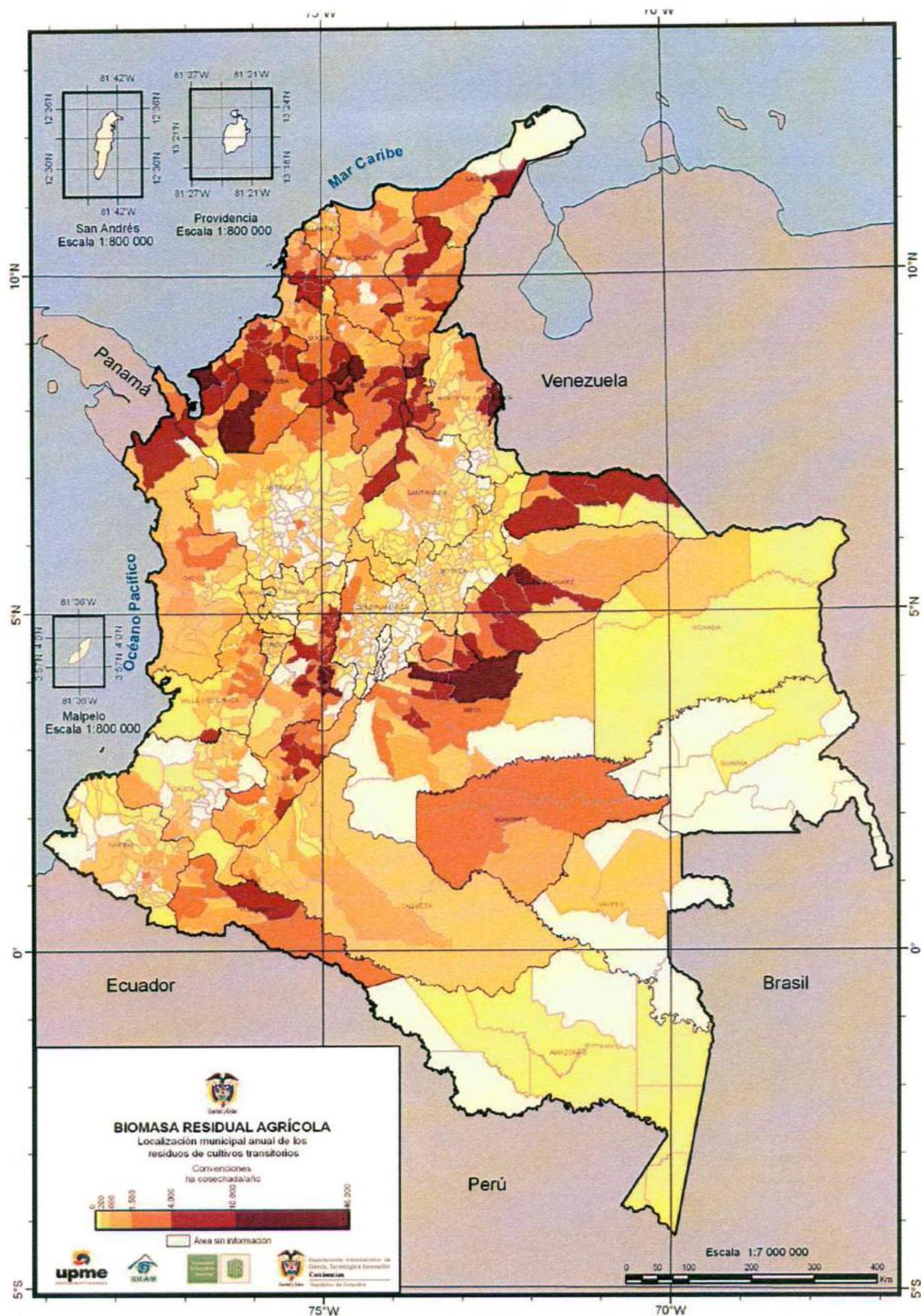
A2. Localización municipal anual de los residuos de cultivos permanentes



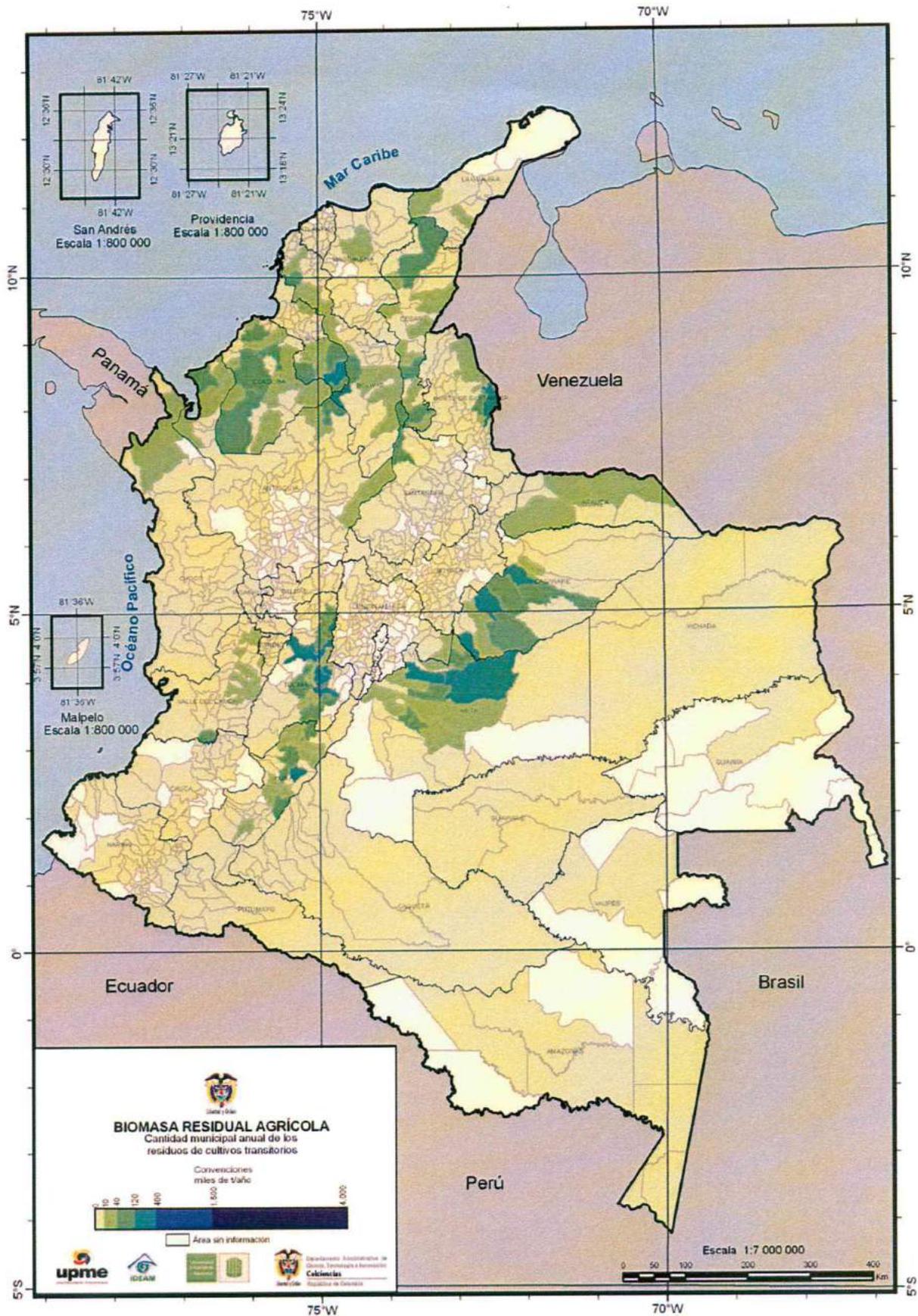
A3. Cantidad municipal anual de los residuos de cultivos permanentes



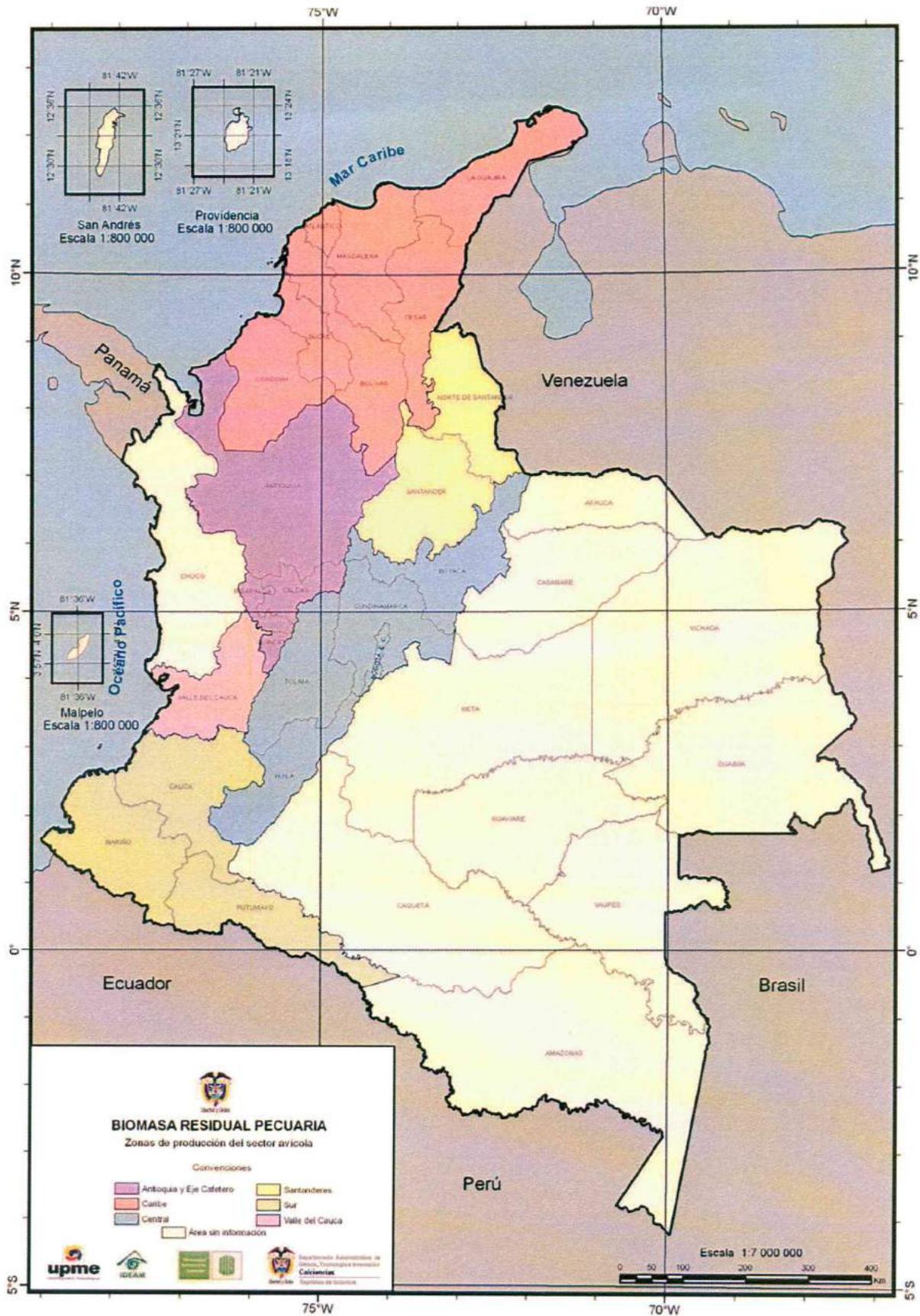
A4. Localización municipal anual de los residuos de cultivos transitorios



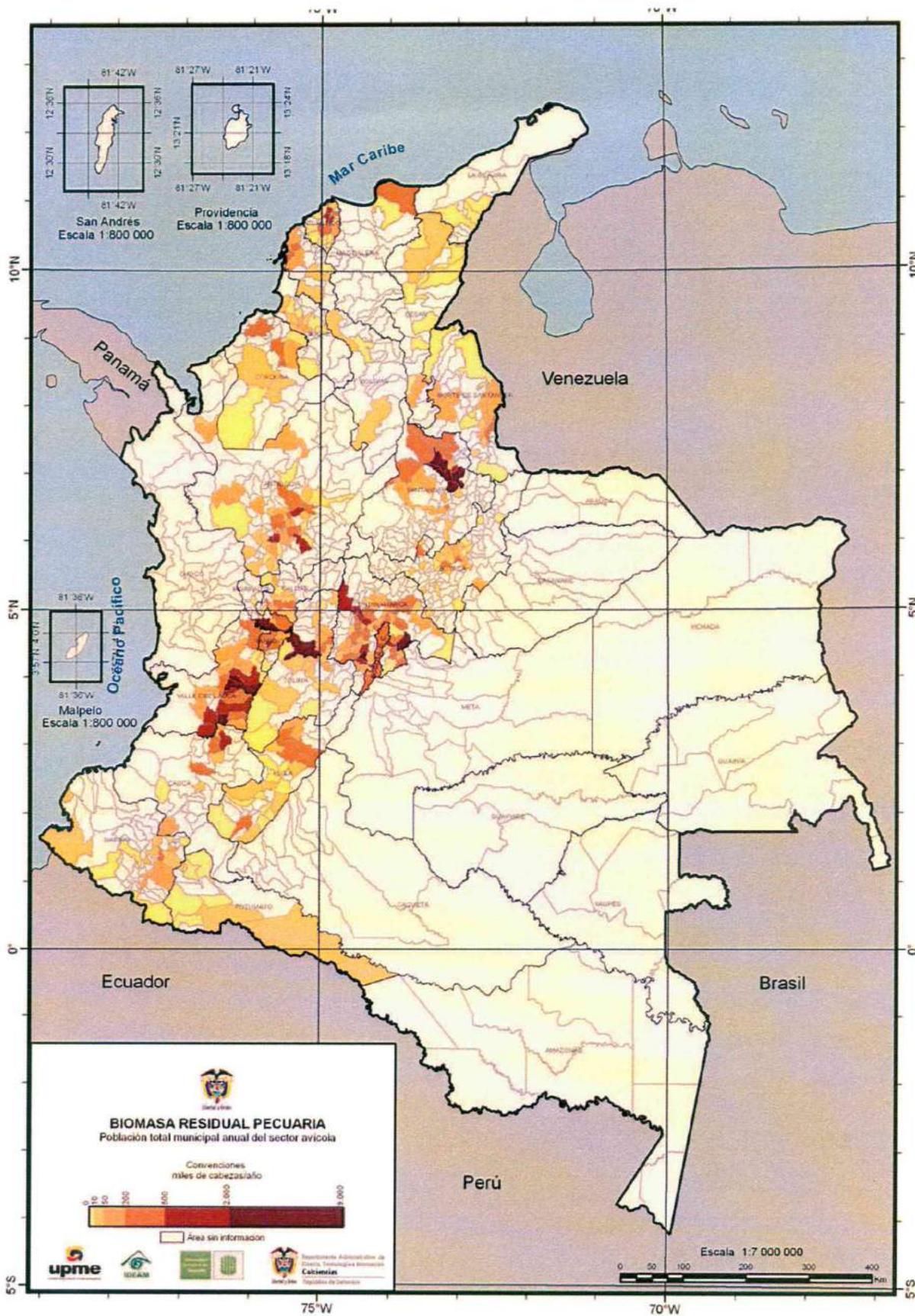
A5. Cantidad municipal anual de los residuos de cultivos transitorios



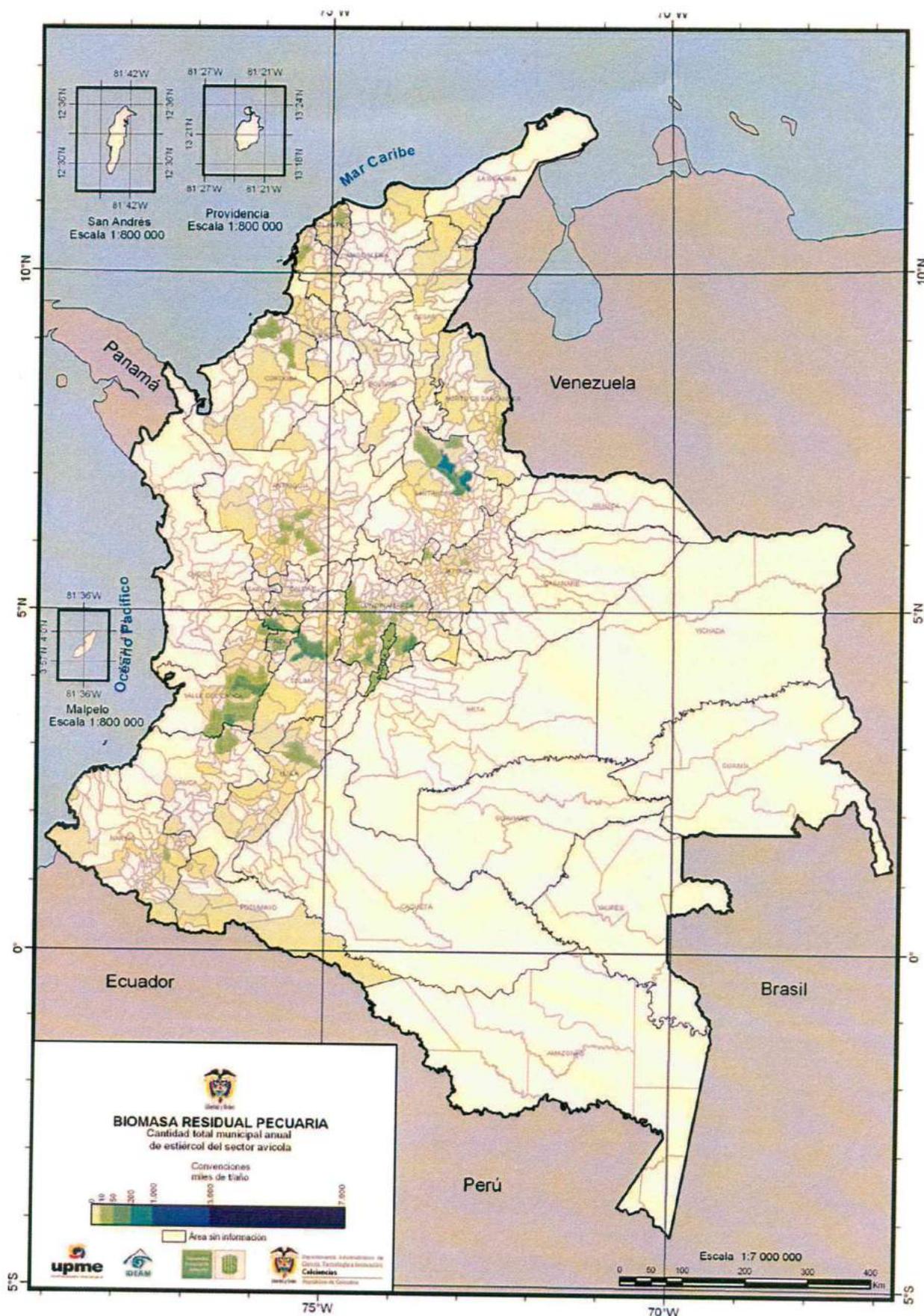
A6 Biomasa residual pecuaria zonas de producción sector avícola



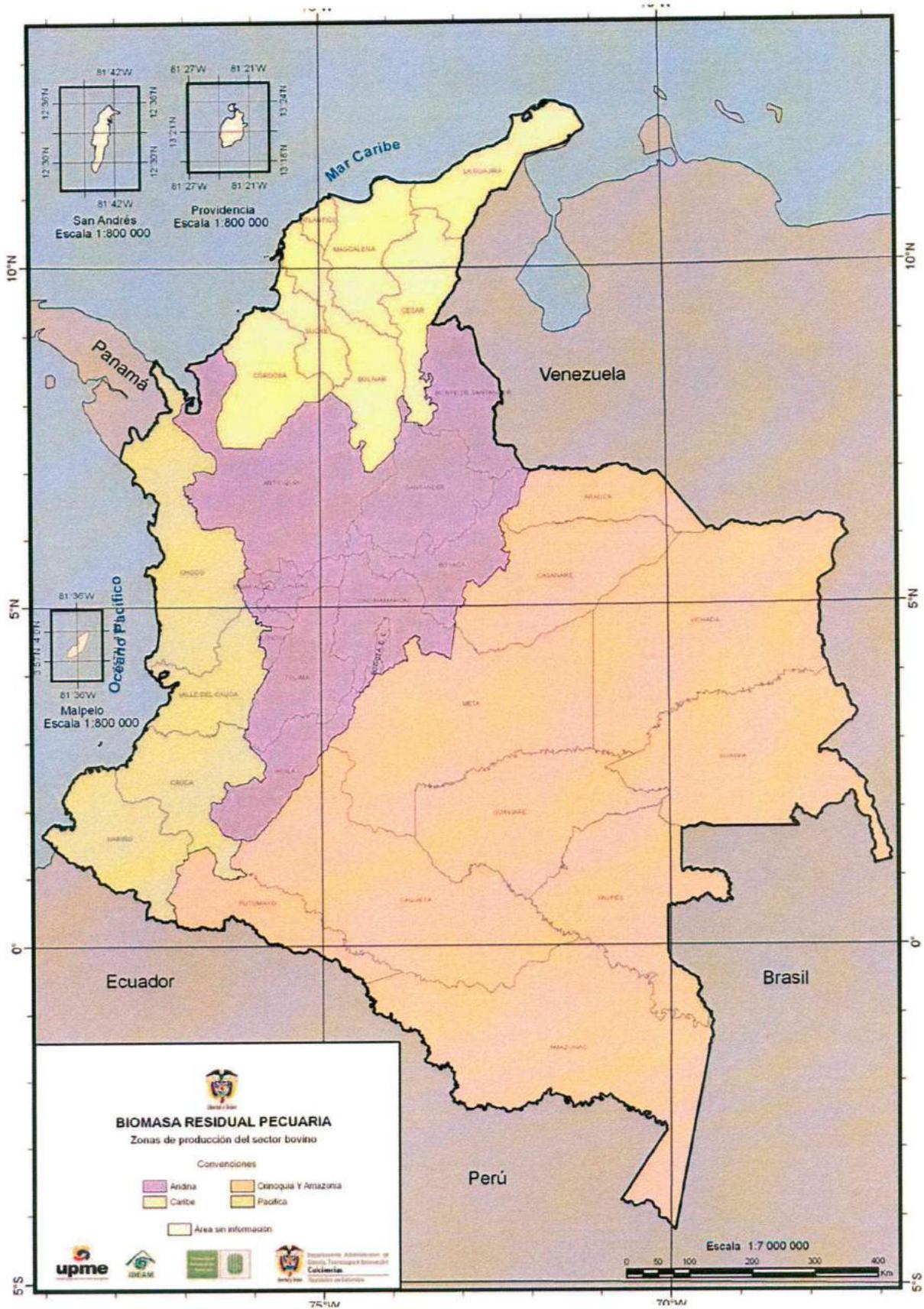
A7 Población total municipal anual del sector avícola.



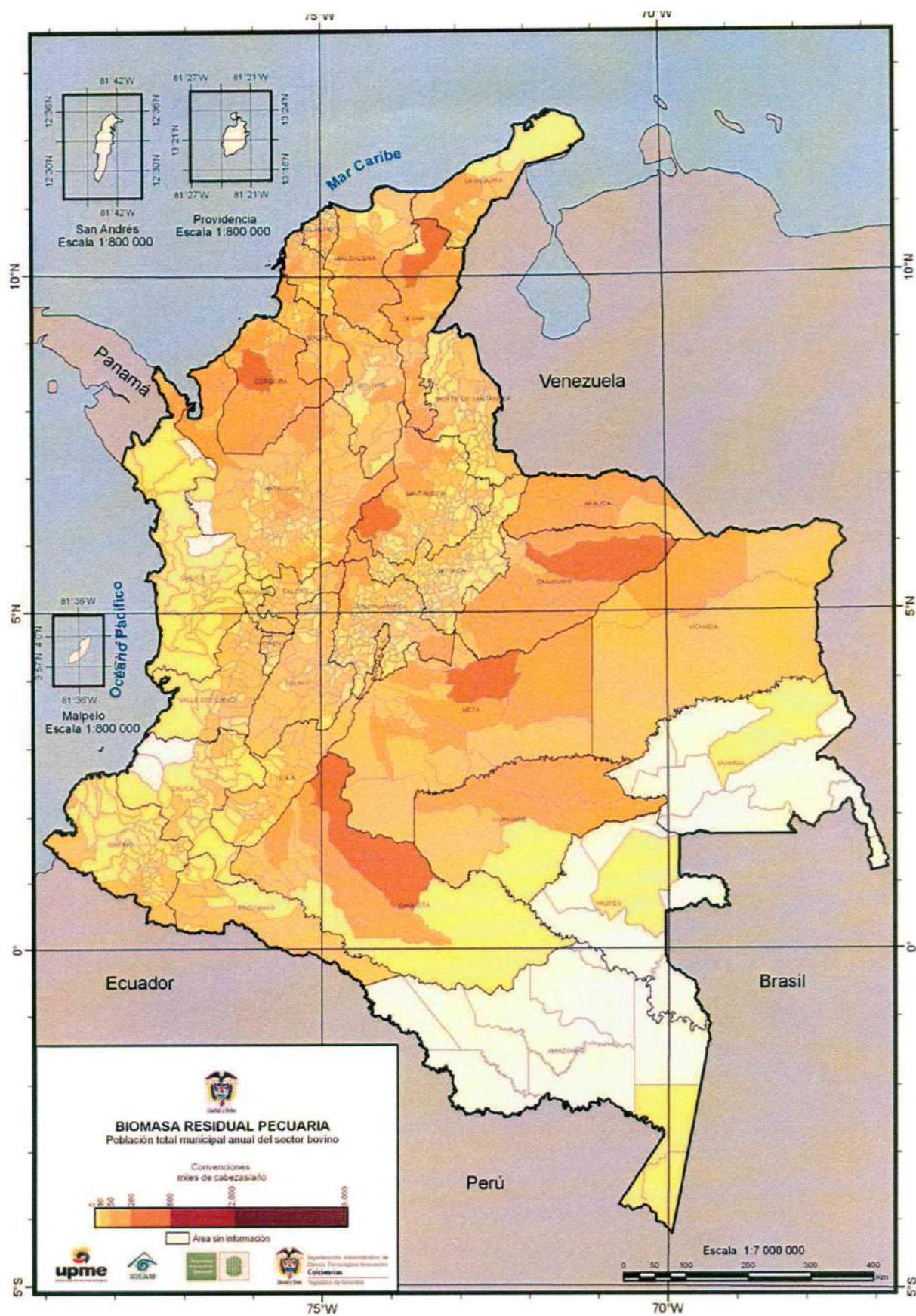
A8 Cantidad total municipal anual de estiércol sector avícola.



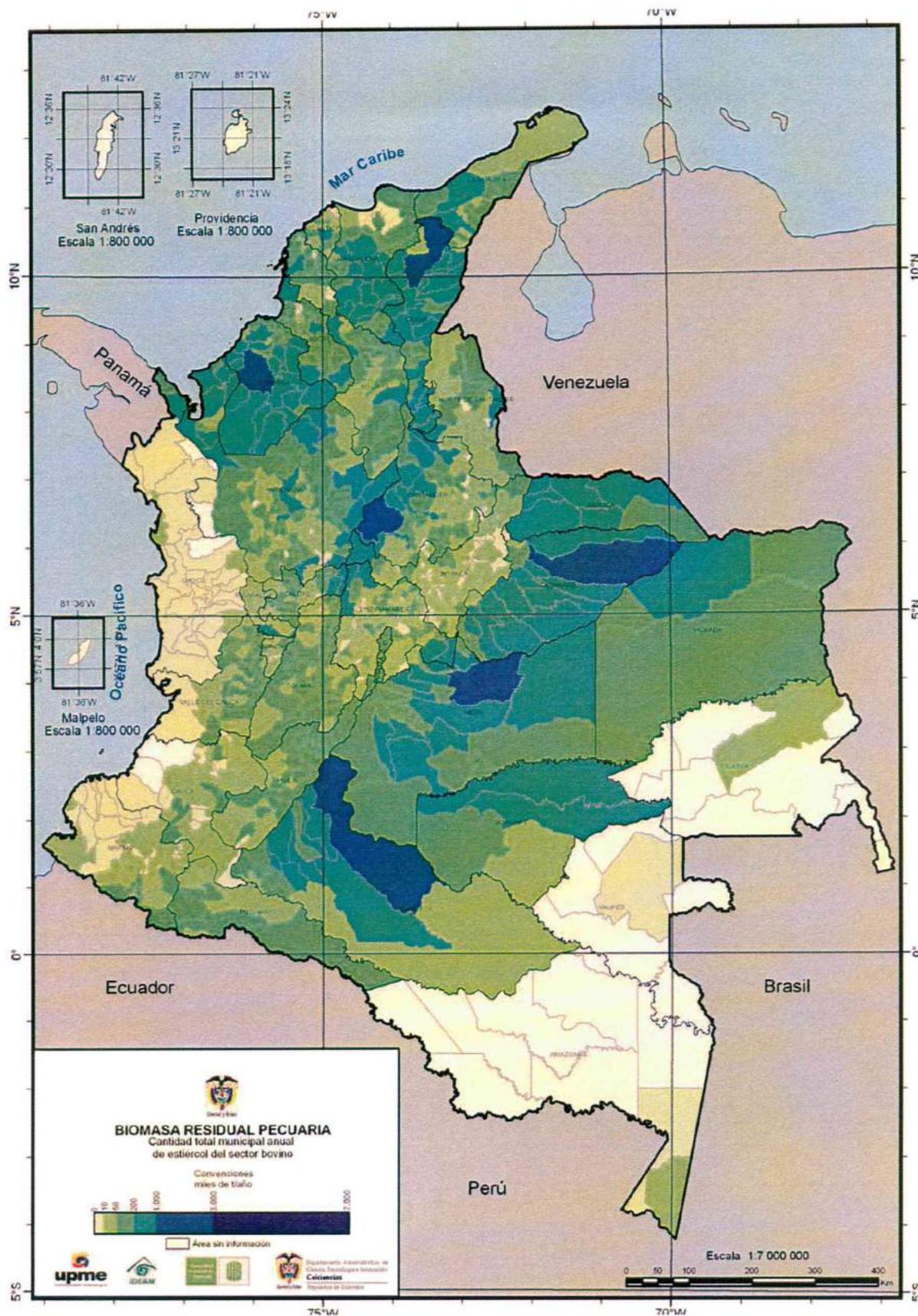
A9 Zonas de producción sector bovino.



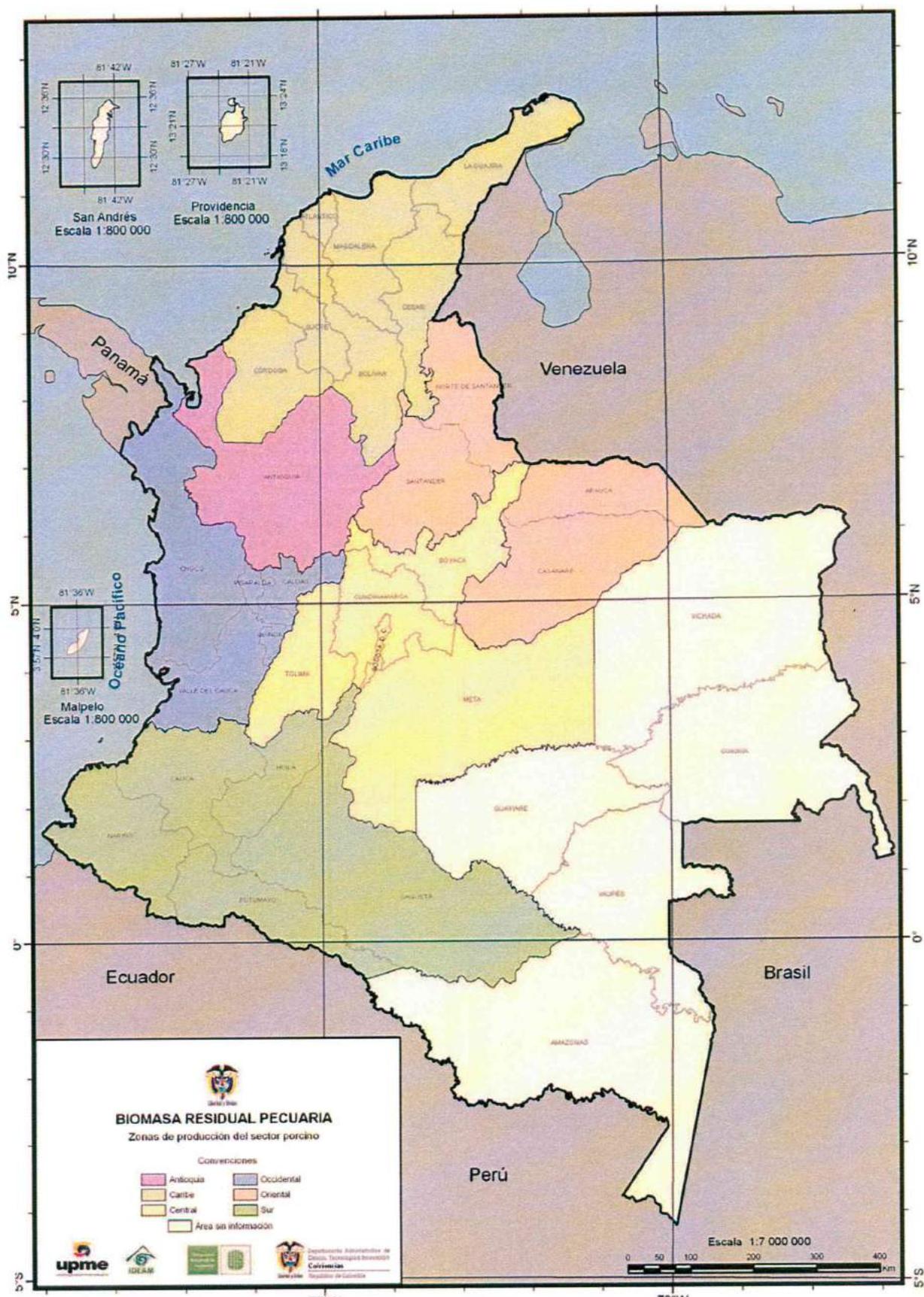
A10 Población total municipal anual del sector bovino.



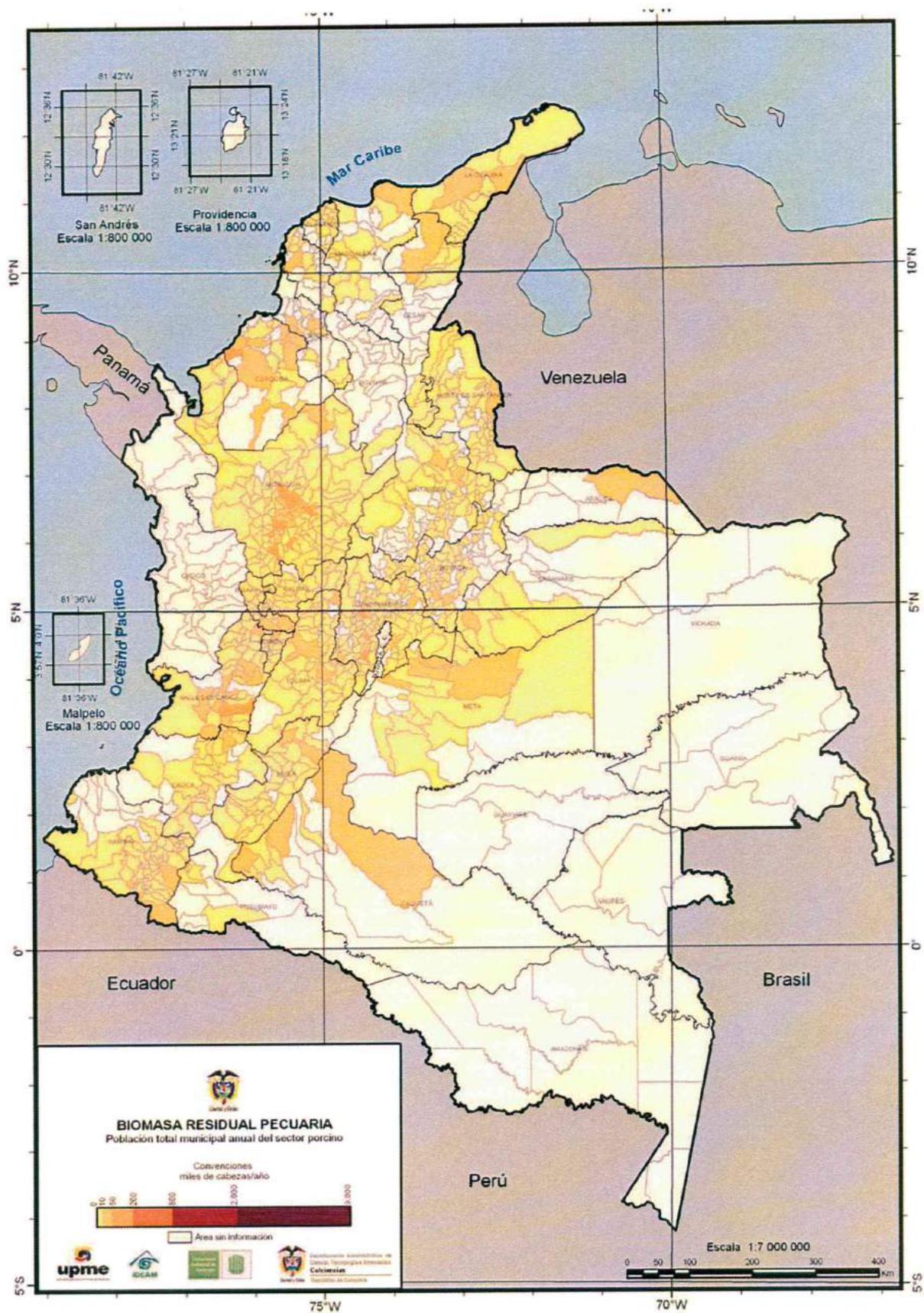
A11 Cantidad total municipal anual de estiércol sector bovino.



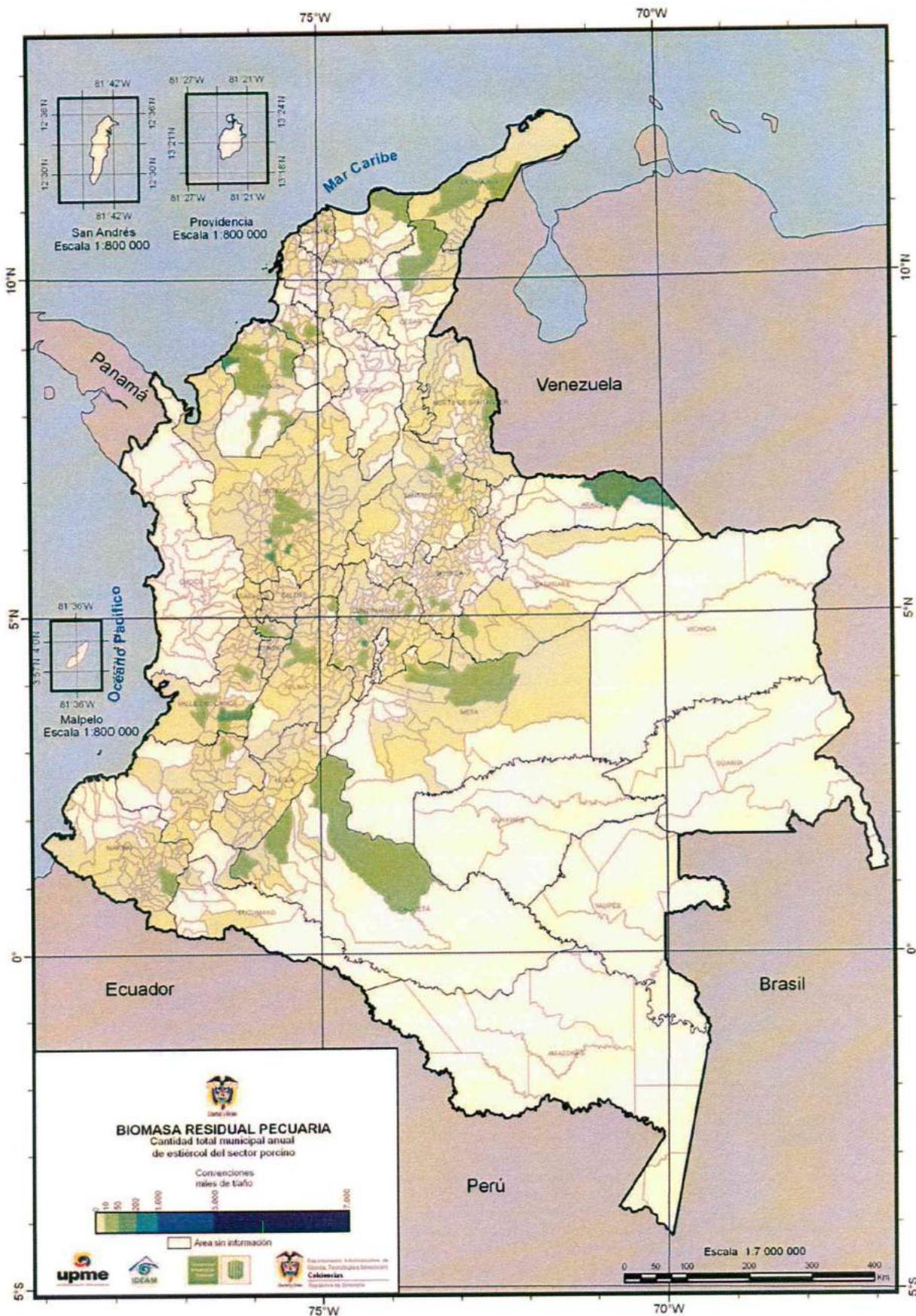
A12 Zonas de producción del sector porcino.



A13 Población total municipal anual del sector porcino.



A14 Cantidad total municipal anual de estiércol del sector porcino.



ANEXO B.

Tecnologías y métodos de purificación de Biogás

Llaneza, Herminio; ha generado un resumen de de los métodos de depuración de biogás por tecnologías. El cual se ve en la siguiente Tabla.

Tecnología		Ventajas	Inconvenientes
Enfriamiento	Enfriamiento a 2°C	Es posible utilizarlo en combinación con Carbón Activo, aumentando su vida útil. Bajos costes de mantenimiento.	Baja eficiencia (25-50%) para eliminación de otros contaminantes diferentes del agua
	Enfriamiento a -30%	Eficiencias elevadas (>90%). Es posible utilizarlo en combinación con Carbón Activo, aumentando su vida útil.	Coste de inversión elevado. Coste energético elevado.
Aditivos	Adición de sales férricas	Eficaz para la reducción de niveles muy elevados de ácido sulfhídrico (hasta 150 ppm)	No consigue obtener un nivel bajo y estable de este contaminante, por lo que es necesario complementar este tratamiento con otros que permitan reducir el H ₂ S hasta niveles inferiores
Método de Adsorción	Carbón Activo	Eliminación de siloxanos con eficiencias del 95%. Eliminación de H ₂ O. Reducción del H ₂ S a valores entorno 4 ppm. Disminución del CO ₂ a valores entre el 1 y el 3%. Adecuado para el tratamiento de caudales pequeños. Permite la eliminación de los siloxanos hasta niveles de ppbv.	Requiere la regeneración del carbón activo o bien su disposición final. Mejores resultados a altas presiones (PSA). Preferiblemente la humedad relativa del biogás ha de ser menor del 50%. Coste operación elevado. La eficiencia del sistema disminuye a medida que se produce la saturación del material.
	Sílica Gel	Depuración de siloxanos. En bibliografía (Schweigkofler), las experiencias muestran eficiencias de 98%. Eliminación H ₂ O.	Aplicación experimental. Coste de la sílica gel superior al del carbón activo. Altos contenidos de humedad disminuyen la vida útil del sílica gel.

Tecnología	Ventajas	Inconvenientes	
Grafito	<p>Elevada eficiencia en la depuración de determinados siloxanos.</p> <p>Elimina además otros componentes del biogás.</p>	<p>No tan bien conocido como el carbón activo.</p> <p>Coste del grafito superior al del silica gel y al del carbón activo.</p> <p>Altos contenidos de humedad disminuyen la vida útil del grafito.</p> <p>Para ser viable económicamente requeriría regeneración mediante PSA o TSA.</p> <p>La eficiencia del sistema disminuye a medida que se produce la saturación del material.</p>	
Métodos de Absorción.	Scrubber (lavado) con soluciones aminas	<p>Absorbe el H₂S y el CO₂.</p> <p>La más común MEA (Monoetanolamina), permite eficiencias de eliminación de CO₂ hasta 98%.</p>	<p>Elevados costes operación.</p> <p>Requiere de una gran cantidad de energía en la fase de recuperación del CO₂.</p>
	Scrubber (lavado) con soluciones alcalinas	<p>Absorbe el H₂S.</p> <p>Se eliminan los problemas de formación de espumas y corrosión.</p> <p>Absorbe el CO₂.</p>	<p>El agente antiespumante hace que el equipamiento y la operación sean más complicados.</p> <p>Este método consume mucha energía para el bombeo de la solución y de los gases.</p>
	Scrubber (lavado) con disolventes orgánicos	<p>Polietilenglicol (Selexol, Genosorb).</p> <p>Reducciones hasta niveles de 0,5-1%.</p>	<p>Costes operación elevados.</p> <p>Vaciado periódico parcial.</p>
Métodos de Separación	Separación por membrana	<p>Separación de H₂S y CO₂ del gas.</p> <p>Los equipos y la operación de este método son simples.</p>	<p>Eficiencia de separación baja.</p> <p>Coste operación elevado.</p> <p>Hay que aplicar presiones elevadas.</p>

Tecnología	Ventajas	Inconvenientes	
Métodos biológicos	<p>Eliminación del H₂S.</p> <p>Los microorganismos pueden vivir tanto en presencia como en ausencia de oxígeno.</p> <p>La mayor parte de microorganismos son autotróficos, lo cual significa que pueden usar el CO₂ del biogás como fuente de carbono.</p> <p>Los contenidos en H₂S pueden reducirse de 3000-5000 ppm a 50-100 ppm.</p>	<p>Debe ser añadido oxígeno al biogás para la desulfurización biológica. El nivel necesario depende de la concentración de H₂SO₄, normalmente entre 2-6%vol aire en biogás</p>	
Separación criogénica	<p>El CO₂ puede ser eliminado como líquido enfriando la mezcla del biogás a elevada presión.</p> <p>El biogás producido contiene más del 97% de CH₄.</p>	<p>Los elevados costes de inversión y operación limitan su aplicación actual.</p> <p>Aplicación experimental.</p>	
Scrubber (lavado) con Agua.	<p>La solubilidad del CO₂ en agua depende de la T, y pH.</p>	<p>Recomendable eliminar primero el H₂S.</p> <p>Un 5-10% del CO₂ no se recupera</p>	
Scrubber (lavado) con disolventes orgánicos	<p>Selexol®, Genosorb®, alcanol aminas.</p> <p>Reducciones hasta niveles de 0,5-1%.</p>	<p>Costes operación más elevados que en el lavado con agua.</p> <p>Vertido y consumo de disolventes.</p> <p>Vaciado periódico parcial.</p>	
Eliminación de CO ₂	Carbón activo	<p>Diseño y operación simple, mediante PSA.</p> <p>Eficiencias elevadas.</p>	<p>Coste operación elevado.</p> <p>Necesidad eliminación previa del agua.</p>
	Separación Por membranas	<p>Equipos y operación simples. Necesidad de altas presiones.</p>	<p>Pérdidas de CH₄.</p>
Eliminación de Agua	Absorción en sílica gel o Al ₂ O ₃	<p>Eliminación de H₂O cuando se requieren bajos puntos de rocío</p>	<p>Coste operación elevado</p>
	Absorción en glicol o sales higroscópicas	<p>Las sales pueden ser recuperadas a elevadas temperaturas</p>	<p>Coste operación elevado</p>
	Refrigeración	<p>Método utilizado comúnmente para condensar el agua.</p>	<p>Aumenta la eficiencia cuando baja la temperatura, con lo que el coste energético es mayor.</p>

Tecnología	Ventajas	Inconvenientes
	Para alcanzar elevados puntos de rocío, el gas puede ser comprimido antes del enfriamiento.	
Carbón activo	<p>El carbón activo actúa como catalizador para convertir H₂S en azufre elemental.</p> <p>Es necesaria la impregnación con KI.</p> <p>El uso de carbón activo impregnado con KI es un método común para eliminar H₂S antes del tratamiento PSA.</p>	<p>Requiere la regeneración del carbón activo o bien su disposición final.</p> <p>Costes operación elevados.</p> <p>Mejores resultados a altas presiones (PSA).</p> <p>La eficiencia del sistema disminuye a medida que se produce la saturación del material.</p>
Adición de sales férricas Desulfuración biológica	<p>Operación sencilla. Eliminación hasta <150ppm. Los microorganismos de la familia <i>Thiobacillus</i>, pueden ser utilizados para reducir el nivel de sulfitos en el biogás por oxidación a azufre elemental y a algunos sulfatos.</p> <p>La mayor parte de microorganismos son autotróficos, lo cual significa que pueden usar el CO₂ del biogás como fuente de carbono.</p> <p>Los contenidos en H₂S pueden reducirse de 3000-5000 ppm a 50-100 ppm.</p>	<p>Exceso de Fe⁺³ puede inhibir formación biogás</p> <p>Debe ser añadido oxígeno al biogás para la desulfurización biológica.</p> <p>El nivel necesario depende de la concentración de H₂SO₄, normalmente entre 2- 6%vol aire en biogás</p>
Scrubber (lavado) con soluciones aminas	Absorbe también el CO ₂ .	Elevados costes operación.
Scrubber (lavado) con soluciones alcalinas	<p>Absorbe el H₂S.</p> <p>Se eliminan los problemas de formación de espumas y corrosión.</p>	<p>El agente antiespumante hace que el equipamiento y la operación sean más complicados.</p> <p>Este método consume mucha energía para el bombeo de la solución y de los gases.</p>
Scrubber (lavado con NaOH)	Reduce el H ₂ S, formando las sales insolubles Na ₂ S/NaHS.	Generación de un residuo a eliminar.
Eliminación Gases Traza.	<p>Es el método más utilizado para la eliminación de siloxanos.</p> <p>Puede ser un filtro simple, PSA o TSA.</p> <p>Eficiencias elevadas (>95%).</p>	<p>Requiere la regeneración del carbón activo o bien su disposición final.</p> <p>Costes operación elevados.</p> <p>Mejores resultados a altas presiones (PSA).</p>

Tecnología	Ventajas	Inconvenientes
		La eficiencia del sistema disminuye a medida que se produce la saturación del material.
Adsorción Silica gel	Elevadas eficiencias (>98%).	En proceso investigación. Elevada relación eficiencia-coste.
Absorción en disolventes orgánicos no volátiles	Ha sido investigada con rangos de eliminación de hasta el 60%.	En proceso de investigación.