

De Estiércol a Energía - Captura de Metano en Ecuador

Camilo Cornejo, Ann C. Wilkie
Soil and Water Science Department
University of Florida-IFAS
P.O. Box 110960
Gainesville, FL, 32611, EE.UU.
ccordav1@ufl.edu, acwilkie@ufl.edu

Resumen

Este proyecto intenta demostrar los posibles beneficios ambientales y económicos del uso de digestión anaeróbica para el tratamiento de estiércol animal en el Ecuador. Este artículo presenta un inventario de las emisiones de metano basado en la metodología del PICC 2006 para emisiones del sector ganadero. Los cálculos fueron realizados usando datos del censo animal del año 2000 y temperatura promedio por provincia. Las emisiones totales de metano del estiércol fueron de 182 GgCO₂Eq. Estas emisiones pueden ser reducidas con el uso de tecnologías para el manejo de desecho como la de digestión anaeróbica. Adicionalmente esta tecnología al capturar el metano producido permite su utilización como una fuente de energía renovable. Comparado con el costo del GLP usado en el país, se podría hablar de un valor del metano de US\$ 77M. Al remplazar parte del LPG con biogás se pueden evitar emisiones por 308 GgCO₂Eq. Alternativamente, ese mismo gas metano podría ser usado para generar 274 GWh de electricidad. Beneficios adicionales incluyen la recuperación de nutrientes del efluente digerido, el cual puede ser usado como biofertilizante. El uso de digestores anaeróbicos tiene potencial en Ecuador. Sin embargo, es necesario un mayor énfasis para la diseminación de esta tecnología.

Palabras Claves: biogás, biofertilizante, biol, digestor anaeróbico, estiércol de ganado, gas de invernadero, PICC

Abstract

This project aims at demonstrating the possible environmental and economic benefits of using anaerobic digestion to treat livestock waste in Ecuador. This article presents an inventory of methane emissions based on the IPCC 2006 methodology for livestock emissions. The data used includes animal census data from the year 2000, and average temperature per province. Total methane emissions from manure are 182 GgCO₂Eq. Methane emissions from manure could be reduced by using anaerobic digestion as a waste management technology. Additionally, with this technology methane can be captured and used as a renewable energy source. Assuming anaerobic digestion of manure from dairy, swine and poultry we valued the methane produced at US\$ 77M is used to displace part of the LPG used in the country. By replacing LPG and using biogas emissions could be reduced by 208 GgCO₂Eq. Alternatively, that same methane could be used to generate 274 GWh of electricity. Additional benefits include the recovery of nutrients from the effluent which can be used as a biofertilizer. The use of anaerobic digestion has potential in Ecuador; however, it is necessary to put more emphasis on disseminating the benefits of this technology.

Keywords: Anaerobic digester, biofertilizer, biogas, emissions inventory, greenhouse gas, IPCC, livestock manure, methane

1. Introducción

En este artículo los autores quieren dar a conocer la posibilidad y beneficios de producir metano a partir de estiércol de ganado. En esta área, proyectos de con pequeños agricultores están siendo impulsados por diversas organizaciones no-gubernamentales (ONG). Así mismo, varias empresas dedicadas al manejo intensivo de animales están empezando a capturar el metano producido por los excrementos animales. Pero en general poco es conocido sobre esta tecnología. Además, no existe un estudio que analice el potencial en cuanto a captura de metano y el uso de su energía en el Ecuador, así como las posibles reducciones en emisiones de este gas de invernadero.

Este artículo presenta un inventario de las emisiones ganaderas de metano en Ecuador. Este inventario es consistente con el mecanismo de la Convención de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CNUCC) que permite su comparación con análisis similares.

Los gases de invernadero que ocurren naturalmente son dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), ozono (O_3) y vapor de agua. Aunque los gases como CO_2 , CH_4 , and N_2O ocurren naturalmente en la atmósfera, las actividades humanas han cambiado sus concentraciones [1]. Globalmente, las fuentes agrícolas son las mayores emisoras de gases de invernadero que no incluyen CO_2 [1][2].

El potencial de calentamiento global (PCG) de un gas de invernadero depende de su fuerza de irradiación comparada a un gas referencial como CO_2 . Estos valores tienen un error de $\pm 35\%$. El PCG para el metano es 21 veces el potencial de CO_2 en un horizonte de 100 años [3]. En este documento las emisiones son presentadas en gigagramos de CO_2 equivalente (GgCO_2Eq).

1.1 Emisiones de metano en el Ecuador

La información más reciente en lo referente a emisiones de gases de invernadero es la Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático, la cual utilizó datos de 1990 y la metodología del PICC disponible en ese entonces. En dicho reporte la mayoría de las emisiones de metano (70%) provenían de las actividades agrícolas [4].

La geografía y la variedad climática en el Ecuador brindan una gran diversidad de productos agropecuarios los cuales son fuentes potenciales de energía renovable.

1.2 Producción de ganado en Ecuador

Hasta 1980, la producción de ganado era principalmente para consumo local [5]. En los últimos 20 años la producción comercial de ganado se ha incrementado de manera significativa. En 1985

Ecuador tenía alrededor de 3.7 millones (M) de cabezas de ganado de carne, para 2005 el número había incrementado a casi 5 M [5].

En la actualidad la ganadería representa una parte importante de la producción agropecuaria con casi 40% de la producción con valor agregado y 8% del PIB del Ecuador. En la última década este sector ha sido uno de los de más crecimiento, con avicultura promediando 10.3% de crecimiento anual [6]. El país produjo un total de 2 y 2.5 M de toneladas de leche en el 2000 y 2004 respectivamente; también 170,620 y 212,000 toneladas de carne de res en esos años [5].

1.3 Emisiones de metano

Los procesos digestivos de los animales causan emisiones de metano. Fermentación entérica se refiere al proceso de fermentación causado por microbios en el sistema digestivo de los animales. Metano es producido como un subproducto que es emitido por el animal. Rumiantes domesticados como ganado vacuno, búfalos, ovejas, cabras y camellos representan la mayoría de las emisiones en este sector. Otros animales como cerdos y caballos también producen emisiones pero en menores cantidades [1][2].

La producción de metano también depende del tipo de manejo de estiércol utilizado. Sistemas de manejo secos son: almacenaje de sólidos, lotes de engorde, fosas profundas y aspergeo diario. Adicionalmente, el estiércol no-manejado de animales en pastoreo se incluye en esta categoría. Sistemas de manejo líquido incluyen: lagunas de oxidación, tanques de almacenamiento y pozos profundos [7].

La cantidad de metano emitido por el tipo de manejo de desechos es una función de tres factores: el tipo de tratamiento o almacenamiento, las condiciones ambientales y la composición del estiércol. Los sistemas líquidos producen emisiones de metano mayores a otros sistemas [1]. Altas temperaturas y humedad favorecen la producción de metano. La composición del estiércol está directamente relacionada al tipo de animal y la dieta. Por ejemplo, el ganado de leche consume mayor cantidad de alimentos y como consecuencia tiene tasas más altas de producción de estiércol. También alimentos con alto contenido energético resultan en mayor potencial para la producción de metano que animales con dietas de menor calidad como pastos [1][2]. La producción intensiva de cerdos utilizada en Ecuador usa sistemas líquidos para manejar el estiércol [8]. Estos sistemas también son usados en lecherías comerciales. Pequeños agricultores utilizan en su mayoría sistemas secos para manejar los desechos.

1.4 Reemplazando combustibles fósiles

Energía es necesaria para el desarrollo. A pesar de esto, las fuentes de energía deben ser económica,

social y ambientalmente sostenibles. La energía primaria producida en Ecuador en 2004 provino principalmente (82%) de combustibles fósiles y solo 14% de fuentes renovables como leña, bagazo e hidroeléctrica [9].

Ecuador tiene que importar derivados de petróleo para la generación de energía termoeléctrica para compensar por su limitada capacidad hidroeléctrica. El Ecuador tiene una política de subsidios de combustibles con un alto costo económico representando hasta un 25% del presupuesto nacional [9]. Debido a esto, fuentes de energía renovables pueden jugar un papel muy importante en la diversificación energética del Ecuador.

Políticas energéticas como la Regulación CONELEC-009/06 [10] establecen condiciones para la venta de electricidad al sistema nacional para promover el desarrollo de proyectos de energía renovable. Los precios pagados por electricidad producida con fuentes renovables tienen un premium sobre la producida con combustibles fósiles. La Matriz Energética del Ecuador al 2020 [11] también estimula el desarrollo de esos recursos. Estas leyes han incrementado las inversiones en fuentes de energía renovable. Algunos proyectos existentes y planeados incluyen la producción de electricidad a partir de bagazo de caña de azúcar [12] y la captura de biogás de rellenos sanitarios en Guayaquil [13] y Cuenca [14].

Ecuador tiene el potencial para incrementar la producción de energía renovable. Actualmente existen tecnologías rentables para capturar metano [15]. La más común de estas tecnologías son los digestores anaeróbicos o biodigestores. Estos producen un gas combustible (biogás) y un efluente (biol o biofertilizante). Biogás normalmente contiene metano (>60%), dióxido de carbono (<40%), vapor de agua y sulfuro de hidrogeno (<1%) [3][16].

1.5 Objetivos

Los objetivos de este estudio son: 1) Estimar las emisiones de metano de ganado basado en las directrices del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático; 2) Estimar la reducción potencial de emisiones de metano del estiércol con la incorporación de sistemas de digestión anaeróbica; y 3) Estimar los beneficios económicos del uso de biogás como fuente de energía renovable.

2. Materiales y métodos

2.1 Estimación de emisiones de metano

Las emisiones de metano fueron calculadas usando la metodología PICC 2006 detallada en el capítulo 10 de ese documento. Usamos el Nivel 1 que esta basado en análisis empíricos y modelos desarrollados por el

PICC. La disponibilidad de datos detallados para Ecuador influyó la selección del Nivel 1.

El potencial para la producción de metano del estiércol depende de la composición del estiércol, que a su vez depende de la composición y digestibilidad de la dieta. La cantidad de metano también depende de la temperatura y manejo del estiércol. Para desarrollar la línea de base (año 2000) en este estudio se usó temperaturas promedio para cada provincia. Estas fueron obtenidas de CLIMWAT de la FAO [17].

2.2 Producción ganadera

La información del número de cabezas por categoría de ganado fue obtenida del Censo Nacional Agropecuario (CNA) del 2000 (año base) [18]. Esta fuente provee la información más detallada y precisa disponible a la fecha. Esta información fue organizada por provincia y categoría animal. Usando la guía del PICC 2006 se obtuvieron los factores de emisión de metano para cada categoría animal (ej.: ganado de leche, cerdos, ovejas, etc.). Para aves se utilizaron sub-categorías como ponedoras, engorde y aves de corral. También se diferenció entre ganado de leche (puro) y de carne. Esto se hizo dados los distintos tipos de manejo que cada uno recibe.

2.3 Emisiones de metano

2.3.1. Emisiones de metano por fermentación entérica. Basados en las categorías animales del CNA se obtuvieron los factores de emisión entérica de metano ($EF_{(T)}$). El PICC 2006 da factores de emisión típicos para cada región en este caso América del Sur. La ecuación utilizada para calcular estas emisiones se da a continuación:

$$CH_{4Enterico} = \sum_{(T)} \frac{(EF_{(T)} \cdot N_{(T)})}{10^6}$$

Donde:

$CH_{4Enterico}$ = emisiones de CH_4 por fermentación entérica, $GgCH_4$ año⁻¹ por provincia

$EF_{(T)}$ = factor de emisión para cada categoría, $kgCH_4$ cabeza⁻¹ año⁻¹ por provincia

$N_{(T)}$ = número de cabezas de ganado por provincia

T = categoría de ganado

2.3.2 Emisiones de metano del estiércol. Estas emisiones son altamente dependientes de la temperatura ambiental. Estos factores de emisión también fueron obtenidos del PICC 2006 basados en las temperaturas históricas promedio para cada provincia. La ecuación utilizada para estimar las emisiones de metano del estiércol es:

$$CH_4_{Estiercol} = \sum_{(T)} \frac{(EF_{(T)} \cdot N_{(T)})}{10^6}$$

Donde:

$CH_4_{Estiercol}$ = emisiones de CH_4 del estiércol, $GgCH_4$ año⁻¹ por provincia

$EF_{(T)}$ = factor de emisión para cada categoría, $kgCH_4$ cabeza⁻¹ año⁻¹ por provincia

$N_{(T)}$ = número de cabezas de ganado por provincia

T = categoría de ganado

2.4 Valoración de los productos de la digestión anaeróbica

En este estudio se calculó el ahorro potencial al sustituir GLP por biogás. Alternativamente se estimó el valor de la electricidad que podría ser producida del biogás. También se estimó el valor de los fertilizantes químicos que podrían ser reemplazados con el uso del efluente (biofertilizante o biol) de la digestión anaeróbica. Sin embargo, este no es un análisis económico detallado de los beneficios o costos asociados con el uso de biogás para energía y sus subproductos.

2.4.1 Uso del metano. Para este análisis, dadas sus condiciones de manejo y producción se escogieron tres categorías animales: ganado de leche, cerdos, y aves (ponedoras y pollos de engorde). El volumen de metano producido por digestión anaeróbica fue calculado basado en una recuperación del estiércol del 70%, la conversión de sólidos volátiles (SV) a biogás y el contenido de metano en el biogás. Los SV se obtuvieron del PICC 2006 para cada categoría animal. Los valores de conversión de SV a biogás se obtuvieron de Kumar and Biswas [19] y son 63, and 70%, para cerdos y aves respectivamente. Para ganado de leche se usó el valor de 40% [20]. La mayoría de investigaciones apuntan a un contenido de metano en biogás de 60 – 65% [21][22][23][24][25].

Biogás tiene un poder energético de 21,345 a 22,207 kilojulios por metro cúbico (kJ/m^3). Se calculó la cantidad equivalente de GLP que contendría la misma energía. El precio internacional de un millón de BTUs de GLP era US\$ 20.47 en Diciembre del 2008 [26].

Alternativamente, para estimar la energía eléctrica que podría producirse a partir de biogás usamos la información obtenida en cuanto a captura de metano. Ese valor fue multiplicado por una eficiencia promedio de generación del 25% [27] y un valor de electricidad de US\$ 0.0967 por kilovatio hora (kWh) [10].

2.4.2 Uso de los nutrientes. El ahorro en la aplicación de fertilizantes sintéticos se obtuvo calculando el porcentaje de macronutrientes: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), contenido en el estiércol

usando valores de ASAE [28]. Estimaciones de excreción de SV por cabeza y categoría se obtuvieron del PICC y se asumió una recuperación del 70% de los desechos. Los costos de fertilizantes artificiales fueron: US\$ 600, 800 y 600 por tonelada de N, P y K respectivamente (enero 2009) [29].

3. Resultados

3.1 Producción de metano

Las emisiones estimadas de metano por fermentación entérica para el sector ganadero del Ecuador basado en datos del 2000 se presentan en la Tabla 1. El ganado de carne fue el mayor emisor con 5,171 $GgCO_2Eq$. El total de emisiones entéricas fue de 5,596 $GgCO_2Eq$.

Tabla 1. Emisiones de metano por fermentación entérica en ganado año 2000

Categoría Ganado ^a	Cabezas (x1000)	Emisiones Entéricas	
		($GgCH_4$)	($GgCO_2Eq$)
Carne	4 398	246.26	5 171.5
Caballos	372	6.70	140.7
Ovejas	1 127	5.64	118.4
Lechero	39	2.46	51.6
Burros	175	1.75	36.8
Cerdos	1 518	1.52	31.9
Mulas	127	1.27	26.7
Cabras	178	0.89	18.7
Total		266	5 596

^a Aves (ponedoras, pollos de engorde, aves de corral, pavos y patos) no son emisores significantes de metano entérico.

Tabla 2. Emisiones de metano del estiércol de animales confinados y en pastoreo año 2000

Categoría Ganado	Cabezas (x 1000)	Emisiones del Estiércol	
		($GgCH_4$)	($GgCO_2Eq$)
Carne	4 398	4.40	92.35
Cerdos	1 518	2.11	44.29
Caballos	372	0.66	13.95
P. Engorde	18 235	0.41	8.55
Ponedoras	10 095	0.30	6.36
Ave Corral	9 073	0.27	5.72
Burros	175	0.15	3.13
Ovejas	1 127	0.14	2.93
Mulas	127	0.13	2.77
Lechero	39	0.05	1.00
Cabras	178	0.03	0.63
Pavos	117	0.01	0.22
Patos	400	0.01	0.17
Total		8.67	182

Las emisiones de metano del estiércol se describen en la Tabla 2. El ganado de carne y cerdos fueron los

mayores emisores con 92.4 y 44.3 GgCO₂Eq respectivamente. Diferencias entre provincias son más marcadas para las categorías de cerdos, ponedoras y pollos de engorde por el manejo intensivo que reciben.

3.2 Beneficios potenciales de la producción de biogás

Tres categorías animales fueron seleccionadas para este análisis: ganado de leche manejado intensivamente, aves (ponedoras y pollos de engorde) y cerdos.

En Ecuador existe un alto subsidio al GLP de uso doméstico [30]. Mientras los precios internacionales de GLP oscilan entre US\$ 5.40 y 11.40, en Ecuador el precio al público es de US\$ 1.60-1.70 por 15 kg de GLP. En total el estado ha gastado US\$ 391 y 531 millones en el 2006 y 2007 respectivamente [31]. Por esta razón evaluamos cuales serian los beneficios de reemplazar el GLP con biogás.

En este estudio, se estimó para el año 2000, una producción total de biogás del estiércol de 105.6M m³, que equivale a 3,971 terajulios (TJ) de metano. El equivalente energético en GLP tendría un valor de US\$ 77M (Primavera 2009) (Tabla 3).

Tabla 3. Producción potencial de biogás del estiércol de ganado que puede ser confinado y su equivalente en GLP en el año 2000

Categoría Ganado	Biogás (M m ³)	Metano (TJ)	GLP Eq. (M US\$)
Lechero	7.6	284	5.5
Cerdos	48	1 801	35
Aves ^a	50	1 886	36.5
Total	105.6	3 971	77

^a Aves se refiere a pollos de engorde y ponedoras en condiciones intensivas

Estos resultados podrían representar un ahorro en subsidios. De todas maneras, análisis económicos más detallados son necesarios para estimar el costo de implementar sistemas de digestión anaeróbica en Ecuador.

Tabla 4. Reducción total potencial de emisiones de CO₂ por el replazo de GLP con biogás de ganado que puede ser confinado

Categoría Ganado	GLP Eq. (GgCO ₂ Eq)	CH ₄ Evitado (GgCO ₂ Eq)	Reducción (GgCO ₂ Eq)
Lechero	18	1.00	19
Cerdos	114	44.29	158
Aves ^a	116	14.90	131
Total	248	60.20	308

^a Aves se refiere a pollos de engorde y ponedoras en condiciones intensivas

Adicionalmente, se estimó las emisiones de gases de invernadero del GLP que podrían ser desplazadas por el uso de biogás. El factor de emisiones de GLP es 63,100 kgCO₂/TJ [1]. Reemplazando el GLP con biogás lograría una reducción total de CO₂ de 308 GgCO₂Eq (Tabla 4). En lugar de usar GLP y producir emisiones de CO₂ fósil, las emisiones del biogás se recircularían en un ciclo corto de carbono: CO₂ atmosférico-planta-animal-estiércol.

Adicionalmente, calculamos el potencial de generación eléctrica usando biogás y el valor monetario de la electricidad generada (Tabla 5). La electricidad generada usando datos del 2000 sería 275 GWh; el valor potencial de esta electricidad sería US\$ 27M, basados en los precios dados en la regulación CONELEC-009/06 [10] El análisis económico final dependerá de los costos de instalación y mantenimiento de los sistemas de generación eléctrica con biogás.

Tabla 5. Potencial eléctrico a partir de metano del estiércol de ganado que puede ser confinado

Categoría Ganado	Metano (TJ)	Electricidad (GWh)	Elect. de CH ₄ (M US\$)
Lechero	284	19	1.8
Cerdos	1,801	125	12
Aves ^a	1,886	131	13
Total	3,971	275	27

^a Aves se refiere a pollos de engorde y ponedoras en condiciones intensivas

En lo referente a biofertilizantes los resultados muestran que la cantidad de nutrientes recuperados y el ahorro en fertilizantes sintéticos son significativos (Tabla 6). Más análisis se deben realizar para estimar las reducciones de emisiones con la captura de bioles y el remplazo de fertilizantes sintéticos.

Tabla 6. Valor potencial de remplazar fertilizantes sintéticos con biofertilizantes

Categoría		Lechero	Cerdos	Aves ^a	Total
Nitrógeno	t	1 730	12 200	8 550	22 480
	M US\$	1.2	8.6	6	15.9
Fósforo	t	300	1 970	2 570	4 840
	M US\$	0.58	3.8	4.9	9.3
Potasio	t	397	413	3 680	4 490
	M US\$	0.28	0.29	2.6	3.1

^a Aves se refiere a pollos de engorde y ponedoras en condiciones intensivas

4. Discusión

La primera comunicación en cambio climático del Ecuador lista la producción de biogás de estiércol como una de las opciones para reducir emisiones de metano en el sector agrícola. Se le considera una opción con alta viabilidad e impacto ambiental positivo así como socio-económico [4]. Los beneficios del uso de digestión anaeróbica en el sector rural serían: 1) Reemplazar el uso de GLP y reducir el uso de leña como combustible para cocción; y 2) Utilizar biofertilizantes para reemplazar fertilizantes sintéticos.

Ecuador tiene un objetivo de electrificar el 90% de las aéreas rurales para el 2015, de un 79% en el 2006 [32]. Esto presenta grandes dificultades y costos dadas las distancias y topografía en el país. El uso de digestión anaeróbica como una fuente de energía sería una alternativa económica y ambientalmente factible para Ecuador. El biogás puede ser usado para producir electricidad o en casos de pequeños y medianos agricultores reemplazar GLP reduciendo así el gasto en subsidios. Otros beneficios no cubiertos por este estudio son la mejora en la calidad del agua al reducir los nutrientes liberados en el suelo. Además de los beneficios para la salud humana al proveer un mejor manejo del estiércol.

Hay varios diseños de digestores anaeróbicos como lagunas cubiertas, digestores de mezcla total, de flujo continuo, de lamina fina y de bolsa o salchicha (especialmente para fincas pequeñas) [33]. Estos diseños dependen de las características de la finca y las prácticas de producción, así como análisis de rentabilidad entre otros. Técnicamente es más factible la instalación de biodigestores en fincas medianas y grandes, ya que la mayoría de esas fincas utilizan sistemas de manejo de estiércol más tecnificados y/o añadiendo agua.

En la actualidad en Ecuador existen pocos proyectos para capturar metano de estiércol animal y el aprovechamiento de este como fuente de energía. En Latacunga está instalado un biodigestor que utiliza desechos de una lechería. El metano (biogás) capturado es utilizado para generación de electricidad y para el calentamiento de invernaderos para la producción de flores.

Existen otros proyectos cuyo objetivo es la reducción de emisiones de metano pero que no aprovechan los desechos animales para la producción de biogás [8][34][35].

Otros esfuerzos han sido iniciados por ONGs en colaboración con instituciones públicas y educativas para la disseminación de la tecnología de digestión anaeróbica a agricultores pequeños y medianos. Por ejemplo entre el 2004 y 2006 la Corporación para la Investigación Energética (CIE) estuvo a cargo de un proyecto para la instalación de pequeños biodigestores en la provincia de Bolívar [36]. La misma organización con apoyo de ONGs extranjeras instalo 3

biodigestores demostrativos en Nono, Pichincha. Este último proyecto también incluyo parcelas demostrativas para el uso del efluente (biol) como biofertilizante. Sin embargo, estos esfuerzos son pequeños comparados con los programas nacionales iniciados en otros países como Bangladesh, Etiopia, Colombia, Vietnam [37]. Actualmente, Cambodia tiene un programa nacional de biodigestores para pequeños agricultores con la colaboración de ONGs y agencias de desarrollo [37]. Por medio de este programa han instalado 5,564 biodigestores, beneficiando a 30,000 personas y dando trabajo a 450 personas entre técnicos y miembros de las comunidades beneficiadas [38].

Los limitantes para la producción de biogás en Ecuador incluyen los costos de capital, producción animal variable y la falta de conocimiento sobre este tema. Programas de extensión son necesarios para promover el uso de esta tecnología. Al mismo tiempo la tecnología debe ser evaluada dadas la variabilidad en condiciones climáticas, socio-económicas y número de animales por finca alrededor del país.

Algunas sugerencias para apoyar la adopción de esta tecnología incluyen: impulsar la investigación local en el tema; disseminar diseños y tecnologías relevantes para cada tamaño de operación; y coordinar los esfuerzos de diferentes organizaciones locales.

Los factores que apoyan el desarrollo de esta tecnología son: el alto costo de energía y fertilizantes y la posibilidad de vender créditos de carbono por medio del Mecanismo de Desarrollo Limpio [8][34][35]. La venta de créditos de carbono puede mejorar la evaluación económica de proyectos de biogás.

El manejo de la ganadería en Ecuador ofrece oportunidades para la reducción de emisiones de metano, especialmente de animales criados en confinamiento como ganado de leche, cerdos, ponedoras y pollos de engorde. Aunque otros animales presentan retos particulares para la aplicación de esta tecnología, biodigestores para fincas pequeñas pueden tener un papel importante en el manejo de desechos y aprovechamiento de energía y biofertilizantes. La emisión de por lo menos 296 GgCO₂Eq podría evitarse si los desechos de animales en confinamiento se convierten a energía para reemplazar combustibles fósiles. Adicionalmente, al usar biofertilizantes se evitaría las emisiones de gases de invernadero provenientes de la producción de fertilizantes sintéticos.

5. Referencias

- [1] IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds.). Published: IGES, Japan.

- [2] EPA, 2006. Global Anthropogenic Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020. Office of Atmospheric Programs, Climate Change Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. <http://www.epa.gov/climatechange/economics/downloads/GlobalAnthroEmissionsReport.pdf> (accesado Marzo 2009).
- [3] EPA, 2002. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 - 2000, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Atmospheric Programs, EPA 430-R-02-003, April 2002. <http://www.epa.gov/climatechange/emissions/downloads/06/02CR.pdf> (accesado Marzo 2009).
- [4] Cáceres-Silva, L., Carrillo, R., 2000. Ecuador National Communication on Climate Change. United Nations Framework Convention on Climate Change. Quito, Ecuador. http://unfccc.int/essential_background/library/items/3599.php?such=j&symbol=ECU/COM/1%20B#beg (accesado Marzo 2009).
- [5] Vera, R., 2006. Ecuador, Country Pasture/Forage Resources Profile. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Counprof/Ecuador/ecuador.htm> (accesado Marzo 2009).
- [6] FAO, 2005. Ecuador: Livestock Sector Brief. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. http://www.fao.org/Ag/againfo/resources/en/publications/sector_briefs/lbs_ECU.pdf (accesado Marzo 2009).
- [7] EPA, 2008. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2006. EPA 430-R-08-005, April 2008. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Atmospheric Programs, Washington, DC. http://www.epa.gov/climatechange/emissions/downloads/08_CR.pdf (accesado Marzo 2009).
- [8] CDM, 2005. Pronaca: Afortunados swine waste management. United Nations Framework Convention on Climate Change, Clean Development Mechanism, Project 459. Bonn, Germany. <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1149774765.75> (accesado Marzo 2009).
- [9] Peláez-Samaniego, M.R., García-Pérez, M., Cortez, J., Olmedo, G., 2007. Energy sector in Ecuador: Current status. *Energy Policy* 35(8):4177-4189.
- [10] CONELEC, 2006. Precios de la Energía Producida con Recursos Energéticos Renovables no Convencionales. Consejo Nacional de Electricidad. Quito, Ecuador. http://www.conelec.gov.ec/normativa_detalle.php?cod=200&idiom=1&menu=2&submenu1=15&submenu2=7 (accesado Octubre 2010).
- [11] MEER, 2009. Matriz Energética del Ecuador al 2020. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER). Quito, Ecuador. <http://www.meer.gov.ec> (accesado Marzo 2009).
- [12] MEM, 2003. Balance Energético Nacional, 2000. Ministerio de Energía y Minas del Ecuador. Quito. <http://www.lib.utexas.edu/benson/lagovdocs/ecuador/federal/minas/balance-energetic-nal%20-%202000.pdf> (accesado Marzo 2009).
- [13] ERG, 2007a. Preliminary Feasibility Study of Landfill Biogas Potential: Las Iguanas Landfill, Guayaquil, Ecuador. U.S Environmental Protection Agency, Landfill Methane Outreach Program, contract EP-W-06-22 TO 006. Eastern Research Group (ERG), Inc. Lexington, Massachusetts, USA, and Carbon Trade, Ltd., Ormiston, East Lothian, UK. <http://www.methanetomarkets.org/Data/LasIguanasPFstudyEnglish092407.pdf> (accesado Marzo 2009).
- [14] ERG, 2007b. Preliminary Feasibility Study of Landfill Biogas Potential: Pichacay Landfill, Cuenca, Ecuador. U.S Environmental Protection Agency, Landfill Methane Outreach Program, contract EP-W-06-22 TO 006. Eastern Research Group (ERG), Inc. Lexington, Massachusetts, USA, and Carbon Trade, Ltd., Ormiston, East Lothian, UK. <http://www.methanetomarkets.org/Data/PichacayPFstudyEnglish100707.pdf> (accesado Marzo 2009).
- [15] Wilkie, A.C., 2008. Opportunities for reducing greenhouse gas emissions through livestock waste management in Florida. In: Mulkey, S., Alavalapati, J., Hodges, A., Wilkie, A.C., Grunwald, S, Opportunities for Greenhouse Gas Reduction through Forestry and Agriculture in Florida. University of Florida, School of Natural Resources and Environment, Gainesville, Florida, pp. 33-38. <http://biogas.ifas.ufl.edu/Publs/ReducingFloridaGHG-p33-38-2008.pdf> (accesado Marzo 2009).
- [16] Wilkie, A.C., 2006. The other bioenergy solution: The case for converting organics to biogas. *Resource: Engineering & Technology for a Sustainable World* 13(8):11-12. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), St. Joseph, MI. [http://biogas.ifas.ufl.edu/Publs/Resource-13\(8\)11-12-Oct2006.pdf](http://biogas.ifas.ufl.edu/Publs/Resource-13(8)11-12-Oct2006.pdf) (accesado Marzo 2009).
- [17] CLIMWAT, 1995. A climatic database for CROPWAT. Irrigation and Drainage Paper 49, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html (accesado Marzo 2009).
- [18] SICA, 2002. Tercer Censo Nacional Agropecuario. Ministerio de Agricultura y

- Ganadería del Ecuador, SICA Project/MAG. Quito, Ecuador. <http://www.sica.gov.ec/censo/index.htm> (accesado Marzo 2009).
- [19] Kumar, S., Biswas, T.D., 1982. Biogas production from different animal excreta. *Indian J. Agric. Sci.* 52(8):513-520.
- [20] CDM, 2009. Indicative simplified baseline and monitoring methodologies for selected small-scale CDM project activity categories, Methane recovery in animal manure management systems (AMS-III.D.). United Nations Framework Convention on Climate Change, Clean Development Mechanism. Bonn, Germany. <http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/MF0L1YGEXC4WO2PKQBDH9NVS53JZ8T> (accesado Marzo 2009).
- [21] Ghose, T.K., Singh, A., Mukhopadhyay, S.N., 1979. Increased methane production in biogas. *Biotechnology Letters* 1(7):275-280.
- [22] Aubart, Ch., Fauchille, S., 1983. Anaerobic digestion of poultry wastes — Part 1. Biogas production and pollution decrease in terms of retention time and solids content. *Process Biochemistry* 18(2):31-35.
- [23] Li Sui Fong, J.C., Morrissette, D., Tsé Hing Yuen. R. 1986. Integrated production of biogas and protein biomass from piggery manure. *Biotechnology Letters* 8 (4):299-302.
- [24] Itodo, I.N., Awulu, J.O., 1991. Effects of total solids concentrations of poultry, cattle and piggery waste slurries on biogas yield. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 42(6): 1853-1855.
- [25] Engler, C.R., Jordan, E.R., McFarland, M.L., Lacewell, R.D., 1999. Economics and environmental impact of biogas production as a manure management strategy. In: Proc. of the 1999 Texas Animal Manure Management Conference. Texas A & M University. College Station, TX, USA.
- [26] NPGA, 2008. Yearly Energy Costs. National Propane Gas Association. Washington, DC. <http://www.npga.org/i4a/pages/index.cfm?pageid=914> (accesado Marzo 2009).
- [27] AgStar, 2004. Market Opportunities for Biogas Recovery Systems. A Guide to Identifying Candidates for On-Farm and Centralized Systems. U.S. Environmental Protection Agency. http://www.epa.gov/agstar/documents/biogas_recovery_systems_screenres.pdf (accesado Octubre 2010).
- [28] ASAE, 2005. Manure production and characteristics. American Society of Agriculture Engineering, St Joseph, MI, ASAE D384.2 March 2005.
- [29] Schnitkey, G., 2009. Fertilizer Prices Likely to Decline in 2009. *Farm Economics: Facts & Opinions*. Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois. Urbana-Champaign, IL. http://www.farmdoc.uiuc.edu/manage/newsletters/efo09_02/efo09_02.pdf (accesado Marzo 2009).
- [30] Cuesta, J., Ponce, J., Leon, M., 2003. El subsidio al gas y el Bono Solidario en el Ecuador. Simulando el paso de subsidios regresivos a transferencias progresivas. Institute of Social Studies (Netherlands) and Secretaria Técnica del Frente Social, Unidad de Información y Análisis (SIISE), Ecuador.
- [31] Hurtado, F., 2008. Estimando el subsidio a los combustibles. *Carta Económica* 14(12), 6. Corporación de Estudios para el Desarrollo, Quito, Ecuador.
- [32] CONELEC, 2006c. Consejo Nacional de Electricidad. Plan Nacional de electrificación 2006-2015. Quito, Ecuador. http://www.conelec.gov.ec/documentos2.php?tpl=1&categ=5&subcateg=3&menu=5&submenu1=59&submenu2=152&idiom=1&orden=titulo_doc (accesado Marzo 2009).
- [33] Wilkie, A.C., 2005b. Anaerobic digestion of dairy manure: design and process considerations. In: *Dairy Manure Management: Treatment, Handling, and Community Relations*. NRAES-176, p. 301-312. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service, Cornell University, Ithaca, NY. <https://biogas.ifas.ufl.edu/Publs/NRAES176-p301-312-Mar2005.pdf>
- [34] CDM, 2006b. Pronaca: Tropicales-Plata Swine Waste Management, Project 0460. United Nations Framework Convention on Climate Change, Clean Development Mechanism. Bonn, Germany. <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1149774713.23> (accesado Octubre 2010).
- [35] CDM, 2006c. Pronaca: Valentina-San Javier Swine Waste Management, Project 0461. United Nations Framework Convention on Climate Change, Clean Development Mechanism. Bonn, Germany. <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1149775382.07> (accesado Octubre 2010).
- [36] CIE, 2010. Corporación para la Investigación Energética. <http://www.energia.org.ec> (accesado Octubre 2010).
- [37] An, B.X., Preston, T.R., Dolberg, F. 1997. The introduction of low-cost polyethylene tube biodigesters on small scale farms in Vietnam. *Livestock Research for Rural Development*, 9(2). <http://www.betuco.be/biogaz/Plasticubebiodigester.pdf> (accesado Octubre 2010).
- [38] National Biodigester Programme (NBP), Cambodia. <http://www.nbp.org.kh/> (accesado Octubre 2010).