



Pastos y Forrajes
ISSN: 0864-0394
ISSN: 2078-8452
tania@ihatuey.cu
Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio
Hatuey"
Cuba

Evaluación del potencial de producción del biogás en Cuba

Suárez-Hernández, Jesús; Sosa-Cáceres, Roberto; Martínez-Labrada, Yeney; Curbelo-Alonso, Alfredo; Figueredo-Rodríguez, Tania; Cepero-Casas, Luis

Evaluación del potencial de producción del biogás en Cuba

Pastos y Forrajes, vol. 41, núm. 2, 2018

Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey", Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269158214001>

Evaluación del potencial de producción del biogás en Cuba

Evaluation of the biogas production potential in Cuba

Jesús Suárez-Hernández
Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey,
Cuba
jesus.suarez@ihatuey.cu

Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269158214001>

Roberto Sosa-Cáceres
Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la
Energía CUBAENERGÍA, Cuba

Yeney Martínez-Labrada
Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la
Energía CUBAENERGÍA, Cuba

Alfredo Curbelo-Alonso
Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la
Energía CUBAENERGÍA, Cuba

Tania Figueredo-Rodríguez
Sucursal Matanzas, Cuba

Luis Cepero-Casas
Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey,
Cuba

Recepción: 09 Junio 2016
Aprobación: 25 Octubre 2017

RESUMEN:

En Cuba se aprecia un significativo potencial para la producción y utilización del biogás, basado en la diversidad y el volumen de residuos contaminantes que generan los sectores agropecuario y agroalimentario; sin embargo, aún no se conoce con precisión este potencial para utilizar dicha información en los procesos de toma de decisiones que contribuyan al desarrollo nacional de la bioenergía. En tal sentido, el objetivo del artículo es brindar una evaluación del potencial de producción y utilización del biogás en el país. Para facilitar la evaluación se dividió el estudio por sectores (MINAG, MINAL, AZCUBA); dentro del sector pecuario, se subdividió en aves de corral, porcino (estatales y productores cooperativos) y ganado vacuno, pero solo se tuvo en cuenta la actividad productiva directamente vinculada al MINAG. En el caso del sector de la industria (MINAL y AZCUBA), se tomaron los datos de las 12 industrias más contaminantes y de las destilerías de alcohol, respectivamente. El potencial diario de producción de biogás es de 674 609 m³, en lo cual destacan la producción porcina y avícola; este potencial significa una producción de energía de 1 477 394 MWh/año, equivalente a 132 856 t de diésel, cuya importación cuesta a Cuba 48 615 065 USD según los precios actuales. Asimismo, si se considera la intensidad en CO₂ del diésel, las emisiones evitadas por la sustitución de este combustible fósil por biogás se estiman en 440 778 t CO₂ eq/año.

PALABRAS CLAVE: bioenergía, polución, residuos.

ABSTRACT:

In Cuba a significant potential for biogas production and utilization is observed, based on the diversity and volume of contaminating residues generated by the agricultural and agri-food sectors; however, this potential is not accurately known yet to utilize such information in the decision-making processes that contribute to national bioenergy development. In that sense, the objective of the paper is to offer an evaluation of the biogas production and utilization potential in the country. To facilitate the evaluation, the study was divided by sectors (MINAG, MINAL, AZCUBA); within the animal husbandry sector, it was subdivided into poultry, pig (state and cooperative producers) and cattle, but only the productive activity directly linked to MINAG was taken

into consideration. In the case of the industry sector (MINAL and AZCUBA), data were taken from the 12 most contaminant industries and from the alcohol distilleries, respectively. The daily potential of biogas production is 674 609 m³, in which the pig and poultry production stand out; this potential means an energy production of 1 477 394 MWh/year, equivalent to 132 856 t of diesel, whose import costs 48 615 065 USD Cuba according to the current prices. Likewise, if the intensity in CO₂ of diesel is considered, the emissions prevented due to the substitution of this fossil fuel by biogas are estimated in 440 778 t CO₂ eq/year.

KEYWORDS: bioenergy, pollution, residues.

INTRODUCCIÓN

La digestión anaerobia constituye una buena alternativa para tratar residuos con elevada materia orgánica biodegradable (Sosa, 2017). Por lo tanto, este tratamiento está indicado para aguas residuales agroindustriales, con alta carga de materia orgánica biodegradable: vertidos procedentes de la producción de azúcar, alcohol, cárnicos, papel, conservas y destilerías (Rahayu et al., 2015); residuos agropecuarios, como purines, estiércol (Bansal et al., 2017); y residuos urbanos que comprenden tanto la fracción orgánica de los residuos sólidos (Biogas Association, 2015) como los lodos de depuradora de aguas residuales urbanas (Frankiewicz, 2015).

Este tratamiento también está indicado para mezclas de residuos orgánicos de diferente origen y composición, aprovechando la sinergia de las mezclas y compensando las carencias de cada residuo por separado, en lo que se conoce como codigestión anaerobia (Agostini et al., 2015).

La producción de biogás mediante la fermentación o digestión anaerobia es ampliamente conocida, y existen diversos sistemas y tecnologías de tratamiento de aguas residuales y residuos orgánicos que permiten capturar los gases que emanan, tales como: los biodigestores de cúpula fija y campana flotante (modelos chino e hindú), el tubular plástico o manga de polietileno (modelo Taiwán), los de flujo pistón; los de laguna tapada con geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE o PEAD), etileno propileno dieno tipo M (EPDM) y policloruro de vinilo (PVC); los de segunda generación (flujo ascendente de lodos UASB, película fija, lecho expandido y lecho fluidizado); y los de tercera generación o híbridos de segunda generación, una mezcla de varios digestores en una unidad, entre los principales (Carreras, 2013). Su importancia radica no solo en la capacidad de estos para convertir los residuos orgánicos en combustible, sino en que dichos sistemas evitan la liberación a la atmósfera de gases como el metano (CH₄), que genera 21 veces más efecto invernadero que el dióxido de carbono (CO₂) –gas utilizado como referencia (IPCC, 2007).

En Cuba, a principios de los años ochenta del siglo xx, la introducción de esta tecnología se enfocó principalmente a solucionar el impacto ambiental generado por destilerías y grandes centros porcinos y de engorde bovino; pero cobró gran auge entre las entidades productivas, sobre todo en vaquerías e instalaciones porcinas. Después con el paso del tiempo, un elevado número de estos sistemas fue desatendido, hasta que dejaron de funcionar la mayoría de las plantas instaladas; lo que se debió, principalmente, a los bajos precios de la corriente eléctrica en ese momento y a la poca motivación de las entidades hacia la utilización de las fuentes renovables de energía (Blanco et al., 2012).

Actualmente el escenario en Cuba es muy diferente, pero no menos complejo. Con la creciente entrega de tierras a pequeños productores, el incremento de las pequeñas y medianas producciones de cerdos –con el consiguiente aumento de la contaminación hídrica– y los elevados precios que ha alcanzado la energía en el país, la utilización del biogás se muestra como una alternativa apropiada. Los productores están motivados y las normas ambientales son más rigurosas, por lo que la demanda de digestores va en aumento, solo limitada por los costos y la disponibilidad de materiales; todo ello ha creado un ambiente favorable para el desarrollo del biogás, que es una solución inteligente para el tratamiento de las excretas animales que se generan.

En este sentido, el objetivo del artículo es brindar una evaluación del potencial de producción y utilización del biogás en Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación se realizó como parte de la formulación del proyecto internacional BIOENERGÍA, que presentó el Estado cubano al Fondo para el Medio Ambiente Mundial (Global Environment Fund – GEF–), el cual es coordinado por la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey (EEPFIH) y se enfoca a desarrollar políticas de apoyo a la bioenergía, a crear capacidades de fabricación y utilización de sistemas de producción de biogás y biodiésel, así como a desarrollar capacidades institucionales y humanas en estos temas. Se utilizó información del cierre del año 2013.

Para facilitar la evaluación se dividió el estudio por sectores (Ministerio de la Agricultura, MINAG; Ministerio de la Industria Alimentaria, MINAL; Grupo Azucarero, AZCUBA); dentro del sector pecuario (MINAG), se subdividió en aves de corral, porcino (estatales y productores cooperativos) y ganado vacuno; en el caso del sector de la industria (MINAL y AZCUBA), se tomaron los datos de las 12 industrias más contaminantes y de las destilerías de alcohol, respectivamente. En la ganadería vacuna solo se consideró la actividad productiva directamente vinculada al MINAG.

La información disponible para realizar este análisis solo permite realizar una valoración preliminar del potencial de producción de biogás y del número de instalaciones que se requieren para aprovecharlo. Los coeficientes e indicadores utilizados para determinar los volúmenes de producción de biogás y su equivalente en combustible convencional son los propuestos por Guardado (2007), Guardado y Flores (2008), Guardado y Vargas (2008) y Díaz-Piñón (2009), que son aceptados en este tipo de estudios a nivel nacional.

Los indicadores empleados en el cálculo del potencial en los sectores avícola, porcino y vacuno se muestran en las tablas 1, 2 y 3.

Tabla 1. Indicadores empleados en el cálculo del potencial en el sector avícola.

Indicador	Valor
kg de excreta-día/animal	0,15
m ³ de biogás/kg de excreta por día	0,06

Fuente: Montalvo y Guerrero (2003), Sosa (2007), Guardado (2007), Guardado y Vargas (2008), Guardado y Flores (2008) y Díaz-Piñón (2009)

Tabla 1. Indicadores empleados en el cálculo del potencial en el sector avícola.

Fuente: Montalvo y Guerrero (2003), Sosa (2007), Guardado (2007), Díaz-Piñón (2009), Guardado y Vargas (2008), Guardado y Flores (2008).

Tabla 2. Indicadores empleados en el cálculo del potencial en el sector porcino.

Indicador	Valor
kg de excreta –día/animal	2,3
m ³ de biogás/kg de excreta por día	0,07

Fuente: Montalvo y Guerrero (2003); Sosa *et al.* (2014)

Tabla 2. Indicadores empleados en el cálculo del potencial en el sector porcino.

Fuente: Montalvo y Guerrero (2003); Sosa *et al.* (2014)

Tabla 3. Indicadores empleados en el cálculo del potencial en el sector vacuno de leche.

Indicador	Valor
kg de excreta-día/animal	10
m ³ de biogás/kg de excreta por día	0,04

Fuente: Montalvo y Guerrero (2003)

Tabla 3. Indicadores empleados en el cálculo del potencial en el sector vacuno de leche.

Fuente: (Montalvo y Guerrero (2003))

La producción anual de energía se calculó mediante la ecuación 1:

Producción de energía/año = producción de biogás/día x 365 días x contenido energético de 1 m³ de biogás (1).

Dónde: contenido energético de 1 m³ de biogás (expresado en calor) es 6 kWh/m³ (EEPFIH/Cubaenergía, 2014).

Asimismo, considerando que la intensidad en CO₂ del diésel es de 3,135 kg CO₂eq por litro, el potencial de emisiones a evitar por la sustitución de este combustible fósil se calcula mediante la ecuación 2:

Potencial emisiones a evitar = litros diésel/año x intensidad en CO₂ del diésel (2).

En este análisis se utilizó el manual para calcular beneficios de los proyectos de eficiencia energética y fuentes renovables de energía para las emisiones de GEI (GEF Council, 2008), así como los resultados de EEPFIH/Cubaenergía (2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En Cuba se han realizado numerosos estudios sobre biogás, con énfasis en su producción pero mucho menos en su utilización. Ejemplos recientes son los siguientes: en la producción porcina (Pérez et al., 2016; Suárez, 2017), en la producción animal con diversas especies (Savran, 2005; López et al., 2006), en residuos agrícolas (Martínez-Hernández et al., 2014) y en la industria azucarera (López et al., 2006; ICIDCA, 2011). Sin embargo, aún no se ha evaluado el potencial de producción de biogás a escala nacional, con un enfoque multisectorial.

Potencial de producción en el sector avícola

La producción de aves en el país es realizada, en su mayor parte, por el Grupo Empresarial Ganadero (GEGAN), de propiedad estatal, cuya estructura organizativa para la avicultura es la siguiente:

11 empresas de producción de alimentos concentrados,

19 empresas avícolas,

una empresa de producción de ocas,

la Empresa de Genética Avícola,

la Empresa de Abastecimiento Técnico Material,

la Empresa de Suministros, y

el Instituto de Investigaciones Avícolas.

Las empresas avícolas se subdividen en granjas, que se clasifican en: ponedoras, reemplazo y reproductoras.

Considerando la tabla 1 y la cantidad de animales existentes al cierre de 2013 en cada una de las granjas, en la tabla 4 se brinda el potencial de biogás y su expresión en toneladas equivalentes de petróleo en un año (TEP).

Tabla 4. Potencial de biogás en el sector avícola cubano y su equivalente en toneladas equivalentes de petróleo (1 TEP = 1 931,18 m³ de biogás, por su valor calórico).

Tipo de granja	Cantidad de animales (miles)	Biogás (m ³ / día)	TEP
Ponedoras	11 636	104 724	19 793
Reemplazo	2 227	20 043	3 788
Reproductoras	71	639	120
Total	13 934	125 406	23 701

Fuente: Elaborado a partir de información de la Unión de Empresas del Combinado Avícola Nacional (UECAN)

TEP: Toneladas equivalentes de petróleo en un año, es una unidad de energía; su valor equivale a la energía que hay en una tonelada de petróleo y se consideró un valor convencional de 11,63 kW.h.

Tabla 4. Potencial de biogás en el sector avícola cubano y su equivalente en toneladas equivalentes de petróleo (1 TEP = 1 931,18 m³ de biogás, por su valor calórico).

Fuente: Elaborado a partir de información de la UECAN (2013). TEP: Toneladas equivalentes de petróleo en un año, es una unidad de energía; su valor equivale a la energía que hay en una tonelada de petróleo y se consideró un valor convencional de 11,63 kW.h.

Es importante destacar que en las instalaciones de aves de corral en el país se recoge la excreta una vez terminado el ciclo, ya que si entran diversas personas las gallinas se asustan y no ponen huevos.

Con el fin de eliminar los olores se adiciona carbonato de calcio (cal) u otras sustancias, lo cual impide que las excretas puedan ser utilizadas para la producción de biogás. Para lograr su aprovechamiento energético por medio de tecnologías anaeróbicas, es imprescindible un cambio tecnológico que permita la recogida diaria de la excreta y evite el uso de la cal. Uno de los autores del presente artículo visitó una granja avícola con 80 000 gallinas ponedoras, en la que se utilizan esteras transportadoras de banda bajo cada hilera de jaulas; estas esteras extraen la gallinaza seca con una frecuencia inferior a 24 horas, para ser utilizada en dos biodigestores de laguna tapada de 500 y 900 m³, los cuales abastecen de electricidad a la granja mediante un motogenerador a biogás Caterpillar de 70 kW.

Potencial de producción en el sector porcino

La producción de carne de cerdo en Cuba es centrada por el GEGAN, responsable directo del 60 % de la producción entregada a sacrificio; mientras que el resto es asumido por pequeños y medianos productores privados, según informa ONEI (2013). Esta misma fuente señala que el 70 % del ganado porcino en existencia en el país pertenece al sector privado; uno de los mecanismos de vínculo entre el sector productivo estatal y el privado son los contratos de producción que se firman entre los productores privados y las empresas estatales (denominados «convenios porcinos»). Este enfoque para la producción de carne de cerdo no especializada en el sector cooperativo-campesino transformó dicho sector en la industria de producción alimentaria de mayor envergadura en Cuba; por tal razón, la información se encuentra dividida en convenios porcinos y granjas estatales.

La estructura organizativa de la cadena productiva porcina en el año 2013 se muestra en la figura 1. Cuba tiene 14 empresas porcinas provinciales estatales y 160 municipios con unidades territoriales vinculadas a estas empresas, las que pertenecen al GEGAN. Las granjas estatales se clasifican en: cría, genéticas, multiplicadoras e integrales.

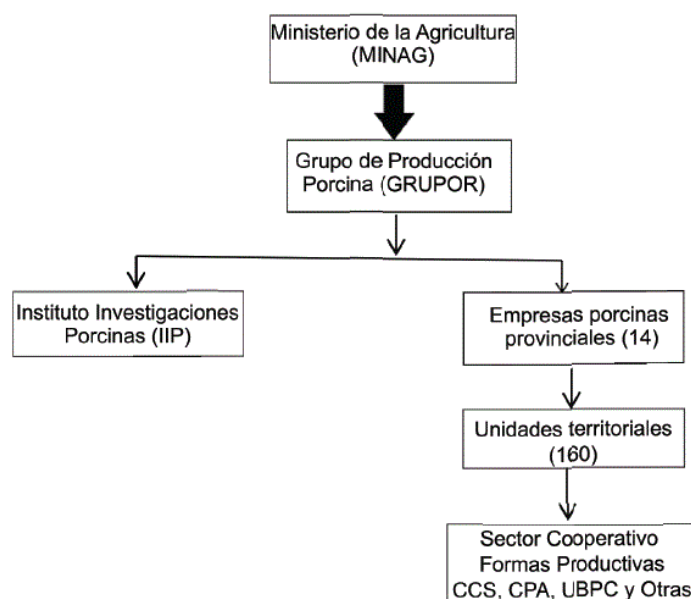


Figura 1. Estructura organizativa de la cadena productiva porcina en Cuba (EPPFIH/Cubaenergía, 2014).

Figura 1. Estructura organizativa de la cadena productiva porcina en Cuba (EPPFIH/Cubaenergía, 2014).

Según datos estimados por el GEGAN, en 2013 existían 14 000 productores o campesinos con convenios. La cantidad de cerdos varía desde 30 hasta 2 000, pero el rango más común es 100-120 animales (Sosa et al., 2014). Sin embargo, solo el 5,5 % (valor ínfimo) de estos convenios poseían biodigestores como sistema de tratamiento; ello evidencia el enorme potencial existente y que no incluye al sector estatal, con una concentración animal superior.

Considerando los indicadores de la tabla 2, la cantidad de animales existentes al cierre de 2013 en cada una de las granjas, los convenios porcinos y la cantidad de excretas, se muestra el potencial de biogás y su expresión en toneladas equivalentes de petróleo en un año (tabla 5). El peso promedio de los cerdos en las condiciones de Cuba es de 50 kg, teniendo en cuenta el peso de inicio y de terminación en ceba de 80 kg (Sosa, 2007).

Tabla 5. Potencial de biogás en el sector porcino cubano y su equivalente en toneladas equivalentes de petróleo.

Tipo	Cantidad de animales	Excretas (kg/día)	Biogás (m ³ /día)	TEP
Privado	833 175	1 916 303	134 141	25 353
Estatual	286 693	659 394	46 158	8 724
Total	1 119 868	2 575 697	180 299	34 076

Fuente: Elaborado a partir de información del GEGAN.

TEP: Toneladas equivalentes de petróleo en un año, es una unidad de energía; su valor equivale a la energía que hay en una tonelada de petróleo y se consideró un valor convencional de 11,63 kW.h.

Tabla 5. Potencial de biogás en el sector porcino cubano y su equivalente en toneladas equivalentes de petróleo.

Fuente: Elaborado a partir de información del GRUPOR. TEP: Toneladas equivalentes de petróleo en un año, es una unidad de energía; su valor equivale a la energía que hay en una tonelada de petróleo y se consideró un valor convencional de 11,63 kW.h.

Referente a las perspectivas de producción y utilización del biogás en el sector porcino cubano, en el plan de inversiones del GEGAN previsto para el período 2013-2020 (Sosa et al., 2014) se incluyen:

1 000 biodigestores de 22 m³ para tratar los residuales de 100-120 cerdos, en el sector cooperativo-campesino.

36 plantas de biogás de medianas dimensiones en granjas estatales.

Utilización del biogás para la generación de electricidad.

A las acciones del GEGAN para el tratamiento de aguas residuales porcinas y la generación de energía se añaden las realizadas por otros actores (campesinos, cooperativas, granjas estatales y proyectos internacionales). En el caso de los dos proyectos internacionales coordinados por la EEPFIH, que priorizan a los productores porcos por el alto impacto medioambiental, los resultados son los siguientes: AGROENERGIA, financiado por la Unión Europea y la ONG portuguesa Oikos, construyó 28 biodigestores en el municipio Martí (Matanzas); mientras el proyecto BIOMAS-CUBA, con financiamiento de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), ha construido 179 biodigestores – incluidas tres lagunas tapadas, una de ellas de 5 000 m³– (Suárez, 2017). Adicionalmente, otras acciones privadas, públicas y de cooperación han permitido la construcción y operación de otros 539 pequeños biodigestores.

Potencial de producción en el sector de la ganadería vacuna

La producción de carne y leche vacuna se realiza de manera predominante por el sector privado, que posee más del 80 % de las cabezas existentes de este ganado. Actualmente existe el Grupo Empresarial Ganadero, que coordina y apoya el desempeño de las empresas estatales, así como las cooperativas y campesinos.

La información de la cantidad de cabezas existentes, tanto en el sector estatal como en el privado, se encuentra a nivel de empresas, las cuales reportan los datos al Centro Nacional de Control Pecuario (CENCOP) y al Ministerio de la Agricultura (MINAG).

Aunque el ganado vacuno en Cuba se encuentra mayormente semiestabulado, con una concentración de los animales en horas nocturnas, para los cálculos solo se consideraron las vacas en ordeño (ONEI, 2013), dado que se cuenta con la garantía de que van a estar estabuladas al menos cinco horas diarias para el ordeño y en este período se recogen las excretas. Asimismo, se estimó que se recogen 5 kg de excreta por cada animal al día.

Tomando en consideración los indicadores que aparecen en la tabla 3, la cantidad de animales existentes al cierre de 2013 en cada una de las vaquerías y la cantidad de excretas, el potencial de biogás y su expresión en toneladas equivalentes de petróleo en un año se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Potencial de biogás en el sector vacuno lechero cubano (privado, cooperativo y estatal) y toneladas equivalentes de petróleo.

	Cantidad de animales	Excreta (kg/día)	Biogás (m ³ /día)	TEP
Vacas en ordeño ¹	501 200	5 012 000	200 480	37 898

¹Se asumió como vacas en ordeño al 40 % del total de vacas existentes en 2013, que era de 1 253,0 miles de cabezas, según ONEI (2013).

TEP: Toneladas equivalentes de petróleo en un año, es una unidad de energía; su valor equivale a la energía que hay en una tonelada de petróleo y se consideró un valor convencional de 11,63 kW.h.

Tabla 6. Potencial de biogás en el sector vacuno lechero cubano (privado, cooperativo y estatal) y toneladas equivalentes de petróleo.

¹Se asumió como vacas en ordeño al 40 % del total de vacas existentes en 2013, que era de 1 253 cabezas, según ONEI (2013). TEP: Toneladas equivalentes de petróleo en un año, es una unidad de energía; su valor equivale a la energía que hay en una tonelada de petróleo y se consideró un valor convencional de 11,63 kW.h.

Potencial de producción en las industrias alimentaria y azucarera

Dentro de la industria alimentaria del MINAL, se consideran como más contaminantes o de mayor impacto ambiental las 15 empresas cárnicas, las cinco cerveceras, los 15 complejos lácteos y las cuatro destilerías de alcohol; de estas 39 empresas se seleccionaron 12 (31 %), por su gran impacto sobre el medio ambiente: una

destilería, tres complejos lácteos, seis cárnicos y dos cervecerías. Los principales residuales que se generan en este sector son líquidos, e incluyen vinazas, mostos cerveceros y residuos de la producción de lácteos y cárnicos.

En la industria azucarera existen dos tipos de residuales básicos que se pueden tratar mediante tecnologías anaeróbicas, estos son: la cachaza (residuo en los filtros de jugo de la producción de azúcar de caña) y las vinazas que se generan en las destilerías de alcohol. En este análisis no se incluyen datos sobre la cachaza, debido a la poca información de que se dispone sobre su potencial para la producción de biogás y la viabilidad de este tratamiento.

En el caso de las destilerías en la industria azucarera, son 12 y están diseminadas a lo largo del país. Estas son las instalaciones más contaminantes dentro de AZCUBA. En la tabla 7 se muestra el potencial de producción de biogás en las industrias alimentaria y azucarera, y su expresión en toneladas equivalentes de petróleo en un año.

Tabla 7. Potencial de biogás en la industria alimenticia y de AZCUBA, y su expresión en toneladas equivalentes de petróleo.

Sector	Instalaciones	Producción de biogás (m ³ /día)	TEP
MINAL	12	25 959	4 896
AZCUBA	12	142 465	26 992

Fuente: Elaborado a partir de información del MINAL y AZCUBA.

TEP: Toneladas equivalentes de petróleo en un año, es una unidad de energía; su valor equivale a la energía que hay en una tonelada de petróleo y se consideró un valor convencional de 11,63 kWh.

Tabla 7. Potencial de biogás en la industria alimenticia y de AZCUBA, y su expresión en toneladas equivalentes de petróleo.

Fuente: Elaborado a partir de información del MINAL y AZCUBA. TEP: Toneladas equivalentes de petróleo en un año, es una unidad de energía; su valor equivale a la energía que hay en una tonelada de petróleo y se consideró un valor convencional de 11,63 kWh.

En resumen, el potencial de producción diaria de biogás es de 674 609 m³/día con 127 563 toneladas equivalentes de petróleo al año.

La producción anual de energía se calcularía como:

$$674\,609\text{ m}^3/\text{día} \times 365\text{ días} \times 6\text{ kWh}/\text{m}^3 = 1\,477\,393\,710\text{ kWh}/\text{año} = 1\,477\,394\text{ MWh}/\text{año}.$$

Asimismo, al considerar las 127 563 TEP, que una TEP equivale a 41 868 MJ y que el diésel tiene un poder calorífico de 40 200 MJ/t, se calcula que las 127 563 TEP significan 132 856 t de diésel, cuya importación cuesta a Cuba 48 615 065 USD –sin incluir fletes y gastos de descarga– al precio del West Texas Intermediate (47,57 USD/ barril) del 4 de septiembre de 2017 (Precio del Petróleo, 2017); y que por la densidad, la masa de un barril de 159 litros es de 130 kg. Este monto permitiría al Gobierno cubano importar, con los precios de dicha fecha, cualquiera de las siguientes cantidades:

13 914 t de leche en polvo entera (3 494 USD/t; ODEPA, 2017);

128 611 t de arroz molinado (378 USD/t; FAO, 2017a);

150 511 t de harina de soya (323 USD/t; Ámbito, 2017); o

360 112 t de maíz amarillo (135 USD/t; FAO, 2017b).

Si se consideran las 127 563 TEP y que 0,1418 t de diésel equivalen a un barril de 159 litros, estas TEP representan 884 273 barriles, o sea, 140 599 467,9 litros de diésel. Asimismo, el potencial de emisiones a evitar por la sustitución de este combustible fósil se estima en 440 779 t CO₂eq/año, calculado como sigue: 140 599 467,9 litros diésel/año x 3,135 kg CO₂eq/L = 440 779 339 kg CO₂eq/año o 440 779 t CO₂eq/año.

CONCLUSIONES

Existe un potencial significativo para la producción del biogás en Cuba, mediante la aplicación de tecnologías que permitan aprovechar económicamente diversos residuos agropecuarios y agroalimentarios, muy contaminantes y emisores de GEI.

Los resultados de esta evaluación pueden apoyar con información en los procesos de toma de decisiones que contribuyan al desarrollo nacional de la bioenergía, enfocada a sustituir importaciones de combustibles fósiles y a eliminar el impacto ambiental; en ello radica su importancia para los decisores nacionales, sectoriales y nacionales.

REFERENCIAS

- Agostini, A.; Battini, F.; Giuntoli, J.; Tabaglio, V.; Padella, Monica; Baxter, D. et al. Environmentally sustainable biogas? The key role of manure co-digestion with energy crops. *Energies*.8 (6):5234-5265, 2015.
- Bansal, V.; Tumwesige, V. & Smith, J. U. Water for small-scale biogas digesters in sub-Saharan Africa. *GCB Bioenergy*. 9 (2):339-357, 2017.
- Biogas Association. Municipal guide to biogas. Ottawa, Canada: Biogas Association. https://biogasassociation.ca/resources/municipal_guide_to_biogas. [04/06/2016], 2015.
- Blanco, D.; Cepero, L.; Suárez, J.; Savran, Valentina; Díaz, M. & Martín, G. J. Manual para el diseño, montaje y operación de digestores plásticos de bajo costo. Una alternativa para Cuba. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey, 2012.
- Carreras, Nely. Biogás. Brasília: ONUDI, 2013.
- Díaz-Piñón, M. R. Apuntes para convertir la producción animal en una forma segura y eficiente para producir energía y alimentos. Las Tunas, Cuba: Grupo Provincial de Biogás, CITMA, 2009.
- EEPFH/Cubaenergía. Clean energy technologies for the rural areas in Cuba (Clean Energy Cuba). La Habana: GEF-PNUD, 2014.
- Frankiewicz, T. People's Republic of China Urban Municipal Waste and Wastewater Program. Proceeding of "Technology, Process and Evaluation Best Practices for Utilizing Organic and "Kitchen" Waste from the Municipal Solid Waste Stream" Workshop. Global Methane Initiative. Ningbo, China. p. 16, 2015.
- GEF Council. Manual for calculating GHG benefits of GEF projects: energy efficiency and renewable energy projects. Washington D.C: Global Environment Found, 2008.
- Guardado, J. A. Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas. La Habana: Editorial Cubasolar, 2007.
- Guardado, J. A. & Flores, J. A. Manual del constructor de pequeñas plantas de biogás de cúpula fija. Taller Demostrativo. Proyecto GEF-PNUD CHI/00/G32 "Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables", VII Región. Maule, Chile. p. 13, 2008.
- Guardado, J. A. & Vargas, D. Apuntes sobre el biogás como fuente de energía. Taller Demostrativo. Proyecto GEF-PNUD CHI/00/G32 "Remoción de barreras para la electrificación rural con energías renovables", VII Región. Maule, Chile. p. 116, 2008.
- ICIDCA. Investigación-desarrollo-innovación-producción industrial de biogás a partir de desechos de la agroindustria azucarera y sus derivados. Reunión de la Red de Universidades Cubanas para el Biogás. La Habana: ISPJAE. p. 30, 2011.
- IPCC. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (Eds. R. K. Pachauri and A. Reisinger). Ginebra, 2007.
- López, Lisbet M.; Contreras, Luz M.; Romero, O.; Cruz, O. de la & Barrera, E. La producción de biogás a partir de desechos pecuarios y agroindustriales: una alternativa energética. Sancti Spíritus, Cuba: Centro Universitario de Sancti Spíritus, 2006.

- Martínez-Hernández, C. M.; Oechsner, H.; Brulé, M. & Marañón-Maison, Elena. Estudio de algunas propiedades físico-mecánicas y químicas de residuos orgánicos a utilizar en la producción de biogás en Cuba. *Rev. Cie. Téc. Agr.* 23 (2):63-69, 2014.
- Montalvo, S. & Guerrero, Lorna. Tratamiento anaerobio de residuos. Producción de biogás. Valparaíso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María, 2003.
- ONEI. Ganadería en cifras. La Habana: Oficina Nacional de Estadísticas, 2013.
- Pérez, Tania; Pereda, Ileana; Oliva, Deny & Zaiat, Marcelo. Anaerobic digestion technologies for the treatment of pig wastes. *Cuban J. of Agric. Sci.* 50 (3):343-354, 2016.
- Precio del Petróleo. Precio del petróleo hoy. WTI. <http://www.preciopetroleo.net>. [02/12/2017] 2017.
- Rahayu, A. S.; Karsiwulan, D.; Yuwono, H.; Trisnawa, I.; Mulyasari, S.; Rahardjo, S. et al. Handbook Pome-to-Biogas. Project development in Indonesia. Jakarta: Winrock International, 2015.
- Savran, Valentina. Una solución energético-ambiental para reducción de contaminantes agropecuarios, como contribución al manejo integrado de la cuenca Zaza. Tesis de Maestría en Gestión Ambiental y Protección de Recursos Naturales. Matanzas, Cuba: Universidad de Matanzas, 2005.
- Sosa, R. Fundamentación de los biodigestores tubulares en el tratamiento de aguas residuales en pequeñas producciones porcinas. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias. San José de las Lajas, Cuba: Universidad Agraria de La Habana, 2007.
- Sosa, R. Indicadores ambientales de la producción porcina y ganadera. VII Seminario Internacional de Porcicultura Tropical. La Habana: Instituto de Investigaciones Porcinas, 2017.
- Sosa, R.; Díaz, Y. M.; Cruz, Tamara & de la Fuente, J. L. Diversification and overviews of anaerobic digestion of Cuban pig breeding. *Cuban J. of Agr. Sci.* 48 (1):67-72, 2014.
- Suárez, J. Informe final del proyecto BIOMAS-CUBA Fase II. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey, 2017 6.4. Report No., 2017.