

## Nota técnica

## Experiencia de suministro de biogás en una comunidad rural, en Cuba♦

## Experience of biogas supply in a rural community, in Cuba♦

Alexander López-Savran<sup>1</sup> y Jesús Suárez-Hernández<sup>2</sup><sup>1</sup>Coordinación del proyecto BIOMAS-CUBA, Cabaiguán, Sancti Spiritus, Cuba<sup>2</sup>Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Ministerio de Educación Superior, Cuba  
Correo electrónico: alexandersavran@gmail.com**Resumen**

El objetivo de este artículo es dar a conocer la experiencia de distribución de biogás generado en un centro de producción porcina (UEBP Porcina El Colorado, municipio Cabaiguán, provincia Sancti Spiritus, Cuba) a una comunidad rural en Cuba, para su utilización en la cocción de alimentos y otros usos domésticos. El biogás se obtenía a partir del proceso de digestión anaerobia de la excreta de los animales, mediante dos digestores que formaban parte del sistema de tratamiento. Se evaluó el suministro, el consumo y el empleo del biogás producido en una granja porcina y en 31 viviendas de la comunidad rural aledaña, con la instalación de la red de distribución de biogás y aplicaciones en la cocción de alimentos, el calentamiento de agua, el alumbrado y la refrigeración. Entre los beneficios, se dejaron de consumir 11 t por año de leña para la cocción en el comedor obrero de la UEB y en las viviendas, se humanizó el trabajo y se beneficiaron los trabajadores en el comedor obrero; en las viviendas se disminuyó el consumo de energía eléctrica entre 40 y 60 %, como promedio; mientras que se dejó de consumir 18,3 MW h/año de energía eléctrica del Sistema Electroenergético Nacional (donde 1 MW = 1 000 KW). Además, el uso de biogás para la cocción contribuyó a mejorar la calidad de vida de 110 habitantes y permite una rápida recuperación de la inversión.

Palabras clave: cerdo, excreta, fuente de energía.

**Abstract**

The objective of this paper is to present the experience of distribution of biogas generated in a pig production center (Pig Production UEBP El Colorado, Cabaiguán municipality, Sancti Spiritus province, Cuba) to a rural community in Cuba, to be used in food cooking and other domestic purposes. The biogas was obtained from the process of anaerobic digestion of the excreta of the animals, through two digesters which were part of the treatment system. The study evaluated the supply, consumption and utilization of the biogas produced in a pig production farm and 31 houses of the nearby rural community, with the installation of the biogas distribution network and applications in food cooking, water heating, lighting and refrigeration. Among the benefits, 11 t per year of firewood ceased being used for cooking in the kitchen of the UEB and the houses, the work was humanized and the workers were benefitted in the dining hall; in the houses electricity consumption decreased between 40 and 60 % as average; while 18,3 MW h/year of electricity from the National Grid (where 1 MW = 1 000 KW) were not consumed. In addition, the use of biogas for cooking contributed to improve the quality of life of 110 inhabitants and allows a fast recovery of the investment.

Keywords: energy source, excreta, pig

**Introducción**

Las fuentes renovables de energía representan una alternativa económica y ambiental factible para su suministro a las unidades productivas y a los asentamientos poblacionales. Asimismo, los desechos agropecuarios y agroalimentarios constituyen una de estas fuentes renovables para obtener energía (Mofokeng *et al.*, 2016), al utilizar las características bioquímicas de la biomasa y la acción

metabólica de microorganismos para producir el combustible gaseoso nombrado biogás, mediante la digestión anaerobia (Rota y Sehgal, 2015).

La tecnología de la biodigestión anaeróbica para la producción de biogás contribuye a disminuir la contaminación del medio ambiente, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, y ahorrar los combustibles fósiles y fertilizantes químicos;

♦Los resultados presentados en este artículo fueron obtenidos en el marco del proyecto internacional «La biomasa como fuente renovable de energía para el medio rural (BIOMAS-CUBA)», financiado por la COSUDE.

♦The results presented in this paper were obtained in the framework of the project «Biomass as renewable energy source for rural areas (BIOMAS-CUBA)», funding by the Swiss Cooperation.

así como mejora la calidad de vida de los pobladores en zonas rurales y suburbanas (Vidal, 2013).

Los principales componentes del biogás son el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ); aunque la composición del biogás varía de acuerdo a la biomasa utilizada, su composición aproximada se presenta en la tabla 1. El metano, principal componente del biogás, es el gas que le confiere las características combustibles, mientras que su valor energético está determinado por la concentración de este gas (alrededor de 20-25  $\text{MJ/m}^3$ , comparado con 33-38  $\text{MJ/m}^3$  en el gas natural), según Werner *et al.* (1989).

Generalmente, en la mayoría de los países latinoamericanos el biogás ha tenido un uso limitado para la cocción de alimentos y la calefacción de animales de granja (Carreras, 2013). A pesar de esto, el uso del biogás en motores de combustión interna para la sustitución de combustibles fósiles ha cobrado importancia en los últimos años (IRENA, 2017).

El biogás puede ser utilizado para reemplazar la gasolina hasta en un 100 %, mientras que en motores diésel solo se logra un máximo de 80 %, debido a que la baja ignición del biogás no permite que haya explosión en este tipo de motores que carecen de bujía (Zapata, 2002). Según Marchaim (1992), para el uso del biogás en motores es indispensable eliminar el ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), ya que este, al reaccionar con agua, forma ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) que es altamente corrosivo y puede ocasionar graves daños internos al motor.

No obstante, a diferencia de la experiencia internacional existente con el gas natural o licuado del petróleo, es muy escasa la relativa a la distribución de biogás para ser consumido en viviendas. La literatura solo reporta la inyección de biogás a redes de gas natural en Suecia (Forsberg, 2014), Luxemburgo (Jury *et al.*, 2010) y España (Hernández *et al.*, 2015).

El objetivo de este artículo es dar a conocer la experiencia de distribución de biogás generado en

un centro de producción porcina a una comunidad rural en Cuba, para su utilización en la cocción de alimentos y otros usos domésticos.

## Materiales y Métodos

La unidad empresarial de base porcina (UEBP) El Colorado, ubicada en el municipio Cabaiguán –provincia de Sancti Spiritus, Cuba–, tiene en sus alrededores una comunidad rural, de igual nombre, con 80 viviendas y 250 habitantes; la UEBP y la comunidad se encuentran ubicadas en la latitud 29° 05' 00" N y longitud 79° 30' 00" O, a una altura de 101 msnm. La temperatura media anual es de 26 °C, con una precipitación media anual de 1 270 mm y una humedad relativa promedio de 79 %.

La UEBP posee dos biodigestores de cúpula fija (modelo chino modificado), con 45 y 50  $\text{m}^3$  de digestión, respectivamente, construidos en el marco del proyecto internacional BIOMAS-CUBA, (fotos 1 y 2); ambos biodigestores tratan las excretas de 600 cerdos (el 50 % de la masa animal de la UEBP).

Los dos biodigestores, en conjunto, producen diariamente 90  $\text{m}^3$  de biogás, por su alta eficiencia –debido a mejoras en su diseño, a la disciplina de operación del sistema y a la dieta que se les suministra a los cerdos (alimentos concentrados)–; sin embargo, la instalación productiva solo consume diariamente entre 15 y 17  $\text{m}^3$ , por lo que existe un excedente de 73-75  $\text{m}^3/\text{día}$ .

Esta situación exige buscar un uso alternativo al biogás no aprovechado y la decisión fue distribuirlo a la comunidad adyacente, cuya vivienda más cercana a la UEBP se encuentra a 100 m y la más lejana, a 270 m; con el fin de lograr un mayor aprovechamiento energético, mejorar las condiciones de vida de mujeres y hombres, así como eliminar la contaminación ambiental que se generaría al quemarlo en una antorcha (por las emisiones de  $\text{CO}_2$ ).

La disponibilidad de biogás no permitía suministrarlo a todas las viviendas, por lo cual los criterios de selección fueron los siguientes: i) priorizar

Tabla 1. Composición química promedio del biogás.

Gas	Porcentaje del volumen total
Metano, $\text{CH}_4$	54-70
Dióxido de carbono, $\text{CO}_2$	27-45
Sulfuro de hidrógeno, $\text{H}_2\text{S}$	0-0,1
Hidrógeno, $\text{H}_2$	1-10
Nitrógeno, $\text{N}_2$	0,5-3,0

Fuente: Guerrero (2012).

Foto 1. Biodigestor de 45 m<sup>3</sup>.Foto 2. Biodigestor de 50 m<sup>3</sup>.

las viviendas donde residieran trabajadores de la UEBP; y ii) en las que vivieran personas más vulnerables, como discapacitados físicos y visuales, ancianos, niños pequeños, las cuales se completaron con las casas más cercanas.

Considerando la distribución geográfica de las 31 viviendas seleccionadas se diseñó una red de distribución, la cual se construyó a partir de una línea central con una tubería de PEAD (polietileno de alta densidad) de 18 mm, que alimenta a la UEBP, y de la cual parten tres ramales del mismo material que suministran biogás a las viviendas, mediante tuberías derivadoras de goma de 12 mm; dicha red tiene una longitud total de 2 150 m.

Para conocer el volumen de biogás que entra a la red, proporcional al consumo de las viviendas y de la UEBP, se instalaron dos contadores de biogás: el contador 1 para la comunidad y el contador 2 para la instalación productiva, y se realizaron lecturas semanales.

La limpieza del biogás se realizó a través de un innovador sistema, con dos filtros que contienen 25 kg de limallas de hierro cada uno y agua hasta una altura de 15 cm, los cuales permiten disminuir el contenido de sulfuro de hidrógeno –un gas corrosivo–. El lavado de la limalla se hizo cada 25 días, añadiendo agua por la válvula instalada en la parte superior, y una vez transcurridos seis meses los filtros estuvieron listos para volver a introducir la limalla; los residuos de los filtros se recogieron y fueron depositados en la laguna aerobia.

Se confeccionaron los filtros con dos tanques plásticos de 200 litros; para su drenaje se les colocó una llave de paso de 18 mm en la parte inferior, y la reposición de la limalla y del agua se realizó por la parte superior. Los filtros se evaluaron mediante muestras con tres repeticiones, en dos puntos

de medición (uno antes de ingresar el biogás a los filtros y el otro después de salir de estos), con el empleo de un analizador de gases portátil LANTEC modelo GEM 2000, de fabricación estadounidense.

El gasto de energía eléctrica en las viviendas se determinó mediante el procesamiento de datos brindados por la Empresa Eléctrica, y se analizó el consumo histórico desde 2008 hasta 2015. Mediante este análisis se pudo determinar el consumo de cada vivienda antes y después de disponer del servicio de biogás; además se calculó el ahorro de electricidad en cada vivienda.

## Resultados y Discusión

Durante la implementación del sistema de distribución de biogás, el principal reto fue la capacitación y el asesoramiento de la comunidad en la instalación y utilización de esta nueva fuente de energía. Asimismo, con el objetivo de hacer más viable el trabajo de monitoreo del sistema fueron seleccionados por la comunidad tres responsables, uno por cada ramal, quienes se reunían mensualmente con los especialistas.

La instalación de las tuberías se realizó por los miembros de la comunidad con asesoría de expertos en el tema, y fueron distribuidas según la posición de las viviendas. La ubicación de los dos biodigestores, la red de distribución de biogás y las 31 viviendas beneficiadas se muestran en la figura 1.

Para consumir el biogás, se entregaron a la UEBP tres cocinas domésticas de dos quemadores, un fogón industrial de dos quemadores, una olla arrocera, cinco lámparas de iluminación y un refrigerador, que funcionan con este gas; así como cocinas domésticas de dos quemadores y una olla arrocera a las 31 viviendas. Después de la instalación de los dos contadores, se midió el consumo

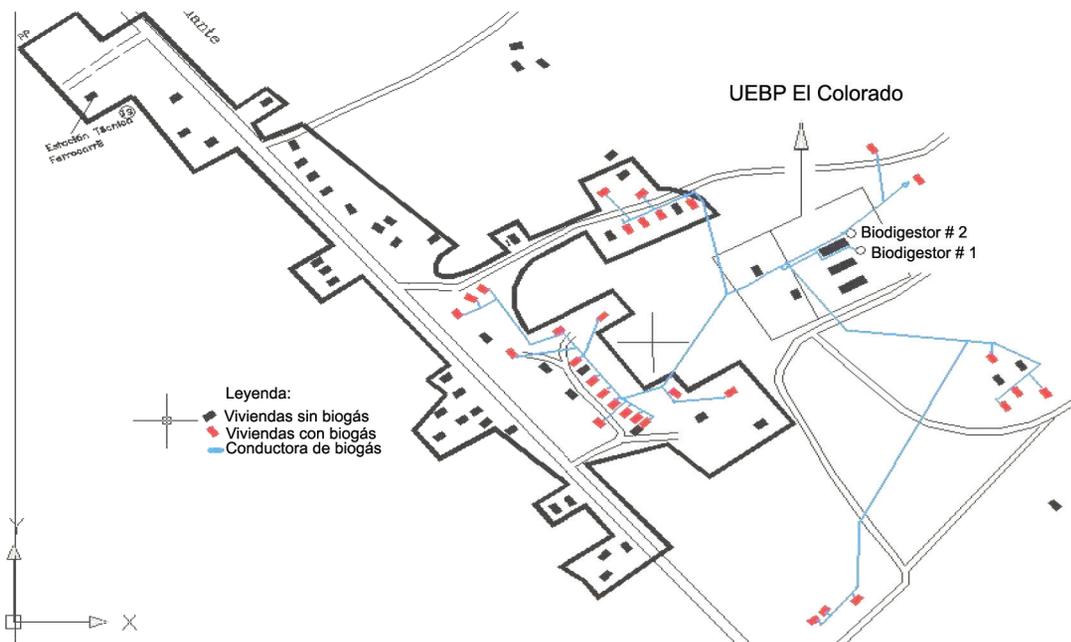


Figura 1. Ubicación de los dos biodigestores, la red de distribución de biogás y las 31 viviendas beneficiadas en la UEBP y la comunidad El Colorado.

de biogás mediante una lectura periódica, que se muestra en la tabla 2.

Según las mediciones se pudieron obtener los resultados siguientes:

- Consumo promedio de biogás por vivienda: 1,5-1,7 m<sup>3</sup>/día
- Consumo promedio de biogás en la UEBP: 15-17 m<sup>3</sup>/día
- Consumo promedio en las 31 viviendas: 60 m<sup>3</sup>/día
- Consumo promedio por persona: 0,5 m<sup>3</sup>/día

**Evaluación de los filtros**

El contenido promedio de ácido sulfhídrico (sulfuro de hidrógeno) en el biogás producido en los

biodigestores fue de 1 990 ppm antes de pasar los filtros y de 950 ppm luego de pasar por estos. Esta reducción de 48 % se considera aceptable, pero es necesario tanto incrementar los filtros como mejorar la superficie de contacto del biogás dentro del filtro, y aumentar su tiempo de circulación dentro del sistema mediante la instalación de filtros en serie.

Zapata (2002) indicó un contenido de ácido sulfhídrico entre 0,125 y 0,176 % (1 250-1 760 ppm) en el biogás producido en biodigestores alimentados con estiércol de cerdo, similar al 0,1 % reportado por Tornero-Araujo y Ramírez-Vázquez (2015); asimismo, Viquez-Arias (2010) informó un contenido superior a 0,2 % (2 000 ppm) de sulfuro de hidrógeno en

Tabla 2. Lectura de los contadores de biogás.

Contador 1. Vivienda		Contador 2. UEBP	
Número de lectura	Valor (m <sup>3</sup> )	Número de lectura	Valor (m <sup>3</sup> )
1	0	1	0
2	13 096,336	2	2 563,125
3	21 739,465	3	3 071,562
4	23 596,212	4	3 526,984
5	52 276,869	5	4 041,436
6	54 141,756	6	4 534,652

porquerizas que utilizaron alimentos concentrados, y menos de 0,02 % (200 ppm) en aquellas no tradicionales con dietas de desechos de cocina y forrajes. Sosa *et al.* (2014) informaron concentraciones mayores.

La instalación de la red de distribución de biogás generó diversos impactos, tanto en la reducción del consumo de energía eléctrica y en la mejora de la calidad de vida de las personas, como en el medio ambiente.

Antes del uso de biogás, las fuentes energéticas más utilizadas para cocinar en la unidad productiva y en la comunidad eran la electricidad, el diesel –costoso de adquirir– y la leña –de difícil acceso por su escasez.

Respecto al consumo de energía eléctrica en las viviendas, antes y después de la instalación de la red de distribución de biogás, este se determinó con la información brindada por la Empresa Eléctrica Municipal. Esta información comprendió un historial del consumo de electricidad en cada vivienda en el periodo de tiempo seleccionado, desde enero 2008 hasta diciembre de 2014. Se pudo constatar que después de la instalación de la red de biogás, el consumo de energía eléctrica en todas las viviendas servidas disminuyó entre 30 y 60 % (fig. 2).

Después de realizar las evaluaciones se obtuvieron los resultados siguientes:

- Consumo promedio de electricidad antes de utilizar biogás en las viviendas: 80,3 MW.h/año.

- Consumo promedio de electricidad después de emplear biogás en las viviendas: 62 MW.h/año.
- Disminución del consumo de electricidad: 18,3 MW.h/año.

Se apreció que en varias viviendas la reducción del consumo no fue notable, ya que la mayor parte de la cocción de alimentos la realizaban con leña, para ahorrar electricidad; por ello, el suministro de biogás ha impactado positivamente en la calidad de vida.

Por su parte, la cocción diaria de alimentos para 25 trabajadores en la UEBP se realizaba con el uso de leña, cuya combustión generaba humo que afectaba notablemente las condiciones de trabajo. Asimismo, los gastos para la búsqueda, preparación y transportación de la leña eran elevados, por los salarios de los trabajadores y el costo del diesel para el traslado –\$ 3 500 CUP (peso cubano) en salarios y \$ 26 940 CUP en diésel, anualmente.

Con la construcción de los biodigestores se dejó de consumir en la cocción 11 toneladas anuales de leña, se eliminaron las emisiones de humo y se mejoró notablemente las condiciones de trabajo de las cocineras, quienes también se beneficiaron de los equipos domésticos que consumen biogás. Además, en las viviendas se dejaron de consumir anualmente 3 380 litros de diesel.

Otros impactos valorados fueron los siguientes:

- El consumo diario de 90 m<sup>3</sup> de biogás para la cocción permite dejar de talar 24 ha/año.
- Se evitó la emisión de 59,8 t de CO<sub>2eq</sub>/año, o sea, 1 255 t de metano (cálculos realizados a partir de la metodología del GEF, 2008).

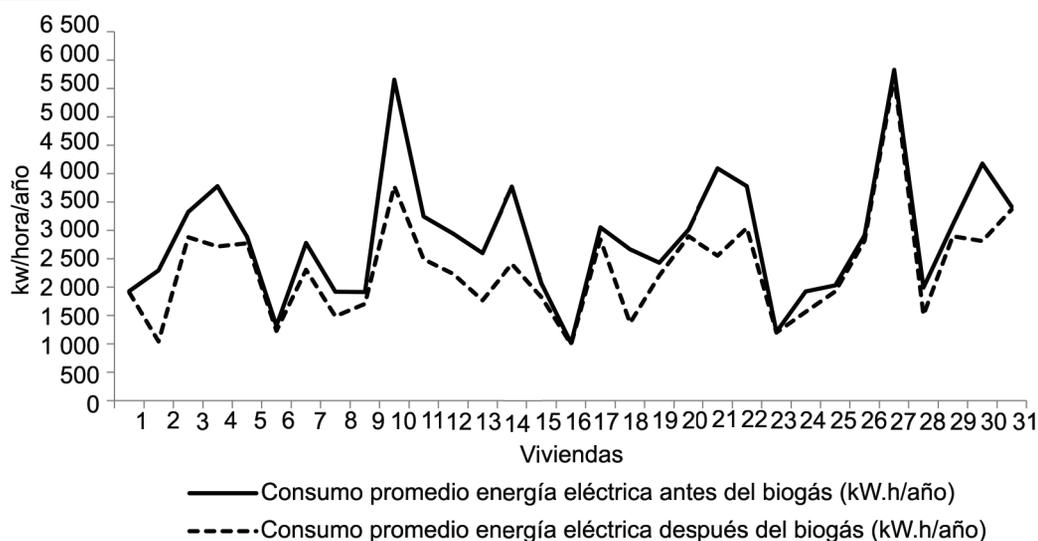


Figura 2. Comportamiento del consumo de electricidad en las viviendas.

- Se produjeron 4 t/año de efluentes, que se utilizan como bioabonos para la mejora de los suelos.
- Mejoraron las condiciones higiénico-sanitarias de la cocina de la UEBP y de las 31 viviendas.
- Se humanizó el trabajo de 15 personas (hombres y mujeres) que laboran en la UEBP con la sustitución de leña por biogás, así como el trabajo de las mujeres en 31 viviendas.
- Se beneficiaron directamente 25 personas en el comedor obrero de la UEBP y se mejoró la calidad de vida de 110 habitantes (65 % de la población total) en la comunidad El Colorado.

El costo total de la inversión, incluidos los dos biodigestores, fue de 121 213 CUP, mientras que el ahorro total por año de explotación de la red de distribución de biogás alcanzó los 63 310 CUP; asimismo, se calculó que la inversión se recupera al final del segundo año de explotación y el valor actual neto (VAN) es mayor que cero, por lo que se justifica la inversión desde el punto de vista económico (tabla 3).

### Conclusiones

La experiencia de producción de biogás a partir de la excreta de los animales y su distribución

Tabla 3. Análisis económico de la inversión.

Indicador	Moneda	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Base de cálculo utilizada: 1 USD = 1 CUC; 1 CUC = 10 CUP (valor utilizado por el MEP)						
Costo del biodigestor 1	CUC	4 570				
Costo del biodigestor 2	CUC	4 715				
Costo de la instalación en UEBP	CUC	428				
Costo de instalación en viviendas	CUC	2 500				
Costo de inversión total	CUC	12 213				
	CUP	121 213				
Vida útil (años)	25					
Impuestos (%)		0	0	0	0	0
Tasa de interés (%)		0	0	0	0	0
Costo de la energía eléctrica	0,21 USD/kW.h					
Energía dejada de consumir del SEN	MW.h/año	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3
Ahorro para la OBE (MW.h/año x 210 \$/MW.h)	USD/año (= CUC/año)	3 843	3 843	3 843	3 843	3 843
	CUP/año	38 430	38 430	38 430	38 430	38 430
Ahorro en las viviendas	CUP/año	2 338	2 338	2 338	2 338	2 338
Ahorro por sustitución de leña	CUP/año	428	428	428	428	428
Ahorro por sustitución de diesel	CUC/año	2 694	2 694	2 694	2 694	2 694
	CUP/año	26 940	26 940	26 940	26 940	26 940
Ahorro total	CUP/año	68 140	68 140	68 140	68 140	68 140
Depreciación	CUP/año	4 830	4 830	4 830	4 830	4 830
Ahorro-depreciación (flujo de caja)	CUP/año	63 310	63 310	63 310	63 310	63 310
Flujo de caja acumulado	CUP/año	- 57 903	5 407	68 717	132 027	195 337
Período de recuperación de la inversión			1,91			
Valor actual neto > 0	118 950					

CUC: peso cubano convertible, MEP: Ministerio de Economía y Planificación de Cuba.

para uso doméstico, desarrollada en la UEBP y en la comunidad rural El Colorado, demostraron su pertinencia y factibilidad, y se convierte en una referencia del fomento de la agroenergía.

La red de distribución de biogás generó, tanto en la UEBP como en las viviendas, un positivo efecto en el ahorro de leña, electricidad y diesel; en la mejora de la calidad de vida y de trabajo, así como en el medio ambiente. Además, la inversión de todo el sistema, incluidos los dos biodigestores, se recupera al final del segundo año de explotación.

### Agradecimientos

A la COSUDE, por el apoyo financiero y la colaboración en la ejecución del proyecto internacional «La biomasa como fuente renovable de energía para el medio rural (BIOMAS-CUBA)».

### Referencias bibliográficas

- Carreras, Nely. *El biogás*. Brasilia: ONUDI, Observatorio de energía Renovable y América Latina y el Caribe, 2013.
- Forsberg, J. *Biogas grid in Mälardalen Valley*. Report SGC 300. Malmo, Sweden: Swedish Gas Center, 2014.
- GEF Council. *Manual for calculating GHG benefits of GEF projects: energy efficiency and renewable energy projects*. Washington D.C: Global Environment Found, 2008.
- Guerrero, Luz. *¿Qué es el biogás?* <http://www.aboutspanol.com/que-es-el-biogas-3417682>. [03/06/2017], 2012.
- Hernández, R.; Fernández, Teresa E.; Martín, M. C.; Mondéjar, M. E. & Chamorro, C. R. Integration of biogas in the natural gas grid: Thermodynamic characterization of a biogas-like mixture. *J. Chem. Thermodyn.* 84:60-66, 2015.
- IRENA. *Biogas for road vehicles: Technology brief*. Abu Dhabi, United Arab Emirates: International Renewable Energy Agency. <http://www.irena.org/publications/2017/Mar/Biogas-for-road-vehicles-Technology-brief>. [03/06/2017], 2017.
- Jury, C.; Benwtto, E.; Koster, D.; Schmitt, Bianca & Welfring, J. Life cycle assessment of biogas production by monofermentation of energy crops and injection into the natural gas grid. *Biomass Bioenerg.* 34:54-66, 2010.
- Marchaim, U. *Biogas processes for sustainable development*. Rome: FAO. <http://www.fao.org/docrep/t0541e/t0541e00.htm>. [03/06/2017], 1992.
- Mofokeng, D. S.; Adeleke, R. & Aiyegoro, O. A. The analysis of physicochemical characteristics of pig farm seepage and its possible impact on the receiving natural environment. *Afr. J. Environ. Sci. Technol.* 10 (8):242-252, 2016.
- Rota, A. & Sehgal, K. *How to mainstream portable biogas systems into IFAD-supported projects*. Rome: IFAD, 2015.
- Sosa, R.; Díaz, Y. M.; Cruz, Tamara & Fuentes, J. L. Diversification and overviews of anaerobic digestion of Cuban pig breeding. *Cuban J. Agric. Sci.* 48 (1):67-72, 2014.
- Tornero-Araujo, Ana G. & Ramírez-Vázquez, J. A. Técnicas para la disminución en la concentración del ácido sulfhídrico en el biogás. *Jóvenes en la Ciencia.* 1 (2):1449-1453, 2015.
- Vidal, Laura. *Qué es un biodigestor y cómo implementarlo en casa*. La Bioguía. <http://www.labioguia.com/notas/biodigestores>. [03/06/2017], 2013.
- Viquez-Arias, J. A. Remoción del sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S (g))/ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S (aq)) en el biogás. *EGAC Informa.* 53:16-20, 2010.
- Werner, U.; Stöhr, U. & Hees, N. *Biogas plants in animal husbandry*. Lengerich, Germany: GA-TE-GTZ, 1989.
- Zapata, A. *Utilización de biogás para la generación de electricidad*. Cali, Colombia: CIPAV, 2002.

Recibido el 13 de julio del 2017

Aceptado el 16 de febrero del 2018