

Colección de Estudios Casos

Experiencias en el Enfrentamiento del Cambio Climático

La llama azul del biogás (2)

Cabaiguan, una experiencia exitosa



Autores

M.Sc. Alexander López Savran¹, M.Sc. Valentina Savran¹ y
Dr.C. Jesús Suárez Hernández²

Foto de portada: Vicente Brito, Periódico Escambray

Edición

Dr. Eduardo O. Planos Gutiérrez¹¹

Esta obra fue financiada por el proyecto internacional “*Tercera Comunicación Nacional y Primer Reporte de Actualización Bienal a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático*”, implementado en Cuba por el PNUD con fondos del GEF.

Los puntos de vistas expresados en esta publicación son de los autores y no necesariamente representan los del Sistema de Naciones Unidas o de las instituciones donde ellos trabajan

ISBN: 978-959-300-195-3



9 789593 001953



Se prohíbe la reproducción total o parcial del contenido de esta obra, sin la expresa autorización de la Estación experimental Indio Hatuey del Ministerio de Educación Superior de Cuba

Derechos reservados conforme la Ley:

© Estación experimental Indio Hatuey

Cítese como

López, A, V. Savran y J. Suárez (2020). La llama azul del biogás: Cabaiguan, una experiencia exitosa. Colección de Estudios de Casos “Experiencias en el enfrentamiento del Cambio Climático”. La Habana, Cuba, 15 pp.

1. Coordinación del proyecto BIOMAS-CUBA, Cabaiguán, Sancti Spíritus, 2. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Ministerio de Educación Superior,

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
UEBP “EL COLORADO”	4
POLÍTICA DE MITIGACIÓN Y FUENTES RENOVABLES.....	5
PROYECTOS SOBRE BIOGAS.....	5
BIOMAS-CUBA.....	6
PROGRAMA DE PEQUEÑAS DONACIONES	6
BASAL	7
BIOENERGÍA	7
PRÁCTICAS Y TECNOLOGÍAS ADAPTATIVAS IDENTIFICADAS	7
El biogás.....	7
Descripción de prácticas y tecnologías.....	8
Beneficios y efectividad	10
Beneficios a nivel de UEBP y la comunidad.....	10
Benéficos al medio ambiente	11
INDICADORES ECONÓMICOS.....	11
Costo y rentabilidad	11
REFERENCIAS	13

INTRODUCCIÓN

El uso de fuentes renovables de energía, desde el punto de vista del cambio climático, son medidas de mitigación que, además, propician la reducción de la contaminación ambiental, la sustitución de importaciones, hacen más rentables las entidades que las usen y mejoran el confort doméstico en las áreas donde se utilicen. Entre ellas se incluye la utilización de los desechos agropecuarios y agroalimentarios para producir biogás, (Rota y Sehgal, 2015.), que es una vía económica y ambientalmente factible. 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; así como mejora la calidad de vida de los pobladores en zonas rurales y suburbanas (Vidal, 2013).

Existe una amplia experiencia internacional con el gas natural o licuado del petróleo, pero no es así con relación al biogás con fines doméstico. 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). Y, en Cuba, aun el uso de estas fuentes en Cuba, aun es insignificante (ONEI, 2019).

El objetivo de este Estudio de Caso es mostrar una experiencia exitosa de distribución y uso de biogás para uso doméstico a una comunidad rural en Cuba. Este es un resultado del proyecto GEF-PNUD Biomas-Cuba (Cosude), para el aprovechamiento del biogás generado en instalaciones ganaderas, como combustible doméstico. Uno de los objetivos de este proyecto, y de la experiencia, es sustituir el consumo de electricidad, combustibles y leña, como medidas de mitigación y de adaptación al cambio climático.

UEBP “EL COLORADO”

La Unidad Empresarial de Base Porcina (UEBP) “El Colorado” está ubicada en el municipio Cabaiguán, en la provincia de Sancti Spíritus, y tiene en sus alrededores una comunidad rural, de igual nombre, con 74 viviendas y 232 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 del 79 %.

Las fuentes energéticas más utilizadas para cocinar en la unidad productiva y en la comunidad, antes del uso de biogás, eran la electricidad, el diésel (costoso de adquirir) y la leña (de difícil acceso y escasa). Con el uso de estas fuentes de energía, la calidad de vida no era la deseada, debido a las incomodidades por el uso de la leña y el diésel y los gastos excesivos por pago de la factura eléctrica, a la vez que se detectaron afectaciones en la población enferma, como consecuencia del impacto del humo generado en la cocción de alimentos con diésel y leña.

POLÍTICA DE MITIGACIÓN Y FUENTES RENOVABLES¹

La contribución de Cuba a las emisiones globales de gases de efecto invernadero no rebasa el 0.1%. No obstante, se han venido realizando esfuerzos importantes en la reducción de las emisiones; creándose las condiciones necesarias para la incorporación de la dimensión climática en la planificación del desarrollo productivo y para transitar hacia un modelo de desarrollo resiliente y bajo en carbono. Particularmente en el sector Energía, se trabaja en el cambio estructural de la matriz energética, impulsado la incorporación de fuentes renovables en la generación eléctrica.

La mitigación en las políticas nacionales se considera esencial para el desarrollo sostenible del país. El Consejo de Ministros aprobó, en 2014, la “Política para el Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía”, dirigida a aprovechar al máximo los recursos renovables disponibles a nivel nacional. Para el cumplimiento de esta Política, se indican acciones concretas dirigidas a un desarrollo menos intenso en emisiones de GEI y se implementan de acciones de mitigación en 12 sectores claves del desarrollo: seguridad alimentaria, energía renovable, eficiencia energética, ordenamiento territorial y urbano, pesca, agropecuaria, salud, turismo, construcción, transporte, industria y manejo integral de los bosques.

El país incluye en sus acciones de mitigación la producción de biogás, basado en el aprovechamiento de los residuos orgánicos para el uso doméstico y la obtención de bioabonos que reemplazan fertilizantes químicos, coadyuvando a la reducción de las emisiones y a la disminución de la contaminación de cuencas hidrográficas y bahías. Aunque en proporciones insuficientes, existen avances promisorios en el uso de esta tecnología, entre ellos, los mostrados como resultado del Programa de Pequeñas Donaciones del PNUD, que ha creado una capacidad de biodigestión de más de 15 mil metros cúbicos instalados y una producción estimada de más de 6 mil metros cúbicos de biogás por día y transfirió la tecnología para la construcción de un gaseoducto de biogás, para la gasificación de 50 viviendas, a partir de la generación de biogás por el tratamiento de residuales de un gran productor de cerdos.

PROYECTOS SOBRE BIOGAS

Desde finales de la pasada década se implementan experiencias de producción integrada de alimentos y bioenergía, sobre bases agroecológicas, en diferentes provincias cubanas, apoyadas por proyectos internacionales financiados por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) y su Programa de Pequeñas Donaciones (PPD), y la Unión Europea.

¹ Basado en la Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre cambio Climático

Estos proyectos son BIOMAS-CUBA, BIOENERGÍA, BASAL y también existen numerosas acciones apoyadas por el PPD, Estos proyectos contribuyen a la seguridad energética, la generación de energía rural a partir de fuentes renovables, principalmente biomasa, a la protección ambiental y a la mitigación y adaptación al cambio climático.

BIOMAS-CUBA

Liderado por la Estación Experimental Indio Hatuey (EEIH) en siete provincias, ha apoyado la construcción de 176 biodigestores; la instalación de tres plantas de producción de biodiésel a partir del fruto de *Jatropha curcas*, plantadas en 370 ha, principalmente en las provincias orientales; y de tres gasificadores para producir electricidad y calor, que utilizan residuos agroforestales, de aserraderos de madera y cáscara de arroz; además, , desde 2015, en seis municipios se han formulado e implementado estrategias locales para la producción integrada de alimentos y bioenergía.

Las acciones del proyecto en el 2016, han posibilitado:

- Incremento de un 31% de la producción de alimentos en los seis municipios respecto a 2011,
- ahorro de electricidad de 388,8 MW.h/año y entre un 40 y 70 % en las viviendas rurales,
- creación de 372 nuevos empleos (28 % para mujeres),
- capacitación de 136 decisores y 5 885 productores agrícolas y especialistas (46% mujeres),
- ingresos de 88,7 millones de pesos cubanos y
- sustitución de importaciones por 5,9 millones USD en los escenarios del proyecto.

PROGRAMA DE PEQUEÑAS DONACIONES

Los proyectos del PPD han instalado 612 biodigestores tubulares de geomembrana de PVC, en cuatro Cooperativas de Producción Agropecuaria y 43 Cooperativas de Crédito y Servicio, ubicadas en 23 municipios de nueve provincias. Además, ha promovido un modelo de transferencia de tecnología apropiada para una transformación a una agricultura familiar inteligente, incluida la creación de capacidades de fabricación cooperada de biodigestores tubulares entre la ANAP y la Empresa Francisco Aguiar, de Sancti Spíritus, que ya ha producido 50 sistemas, que incluyen el filtro de biogás y todos los accesorios de instalación.

Asimismo, el PPD desarrolló una caja de herramientas para el productor porcino, que incluye el mejor conocimiento producido en el país por el Instituto de Investigaciones Porcinas, la Estación Experimental Indio Hatuey y el Grupo Empresarial Porcino del Ministerio de la Agricultura, con una impresión de 3 000 módulos para los productores beneficiados con financiamiento del PPD y la COSUDE.

Los 612 biodigestores instalados por el PPD han tratado los residuales de 60 000 cerdos, con lo cual se disminuyeron 9 000 t CO₂ anuales de emisiones de GEI y de 12 000 t de carga contaminante (DBO₅); un ahorro anual de 300 toneladas equivalentes de petróleo; la mejora de calidad de vida y una reducción de 25 % en la tarifa eléctrica de las viviendas beneficiadas (50 kW.h mensuales/casa).

BASAL

Este es un proyecto enfocado a la sostenibilidad alimentaria local sobre bases ambientales, con intervenciones de en tres municipios en tres provincias del país. El proyecto tiene un eje de energía, con énfasis en el uso de biodigestores para el tratamiento de excretas animales y de la gasificación de la cáscara de arroz para la generación de electricidad y calor.

BIOENERGÍA

Es un proyecto más reciente, insertado en el área de cambio climático del FMAM, implementado por PNUD y liderado por la EEIH y Cubaenergía. Se enfoca en apoyar al Gobierno para el perfeccionamiento del marco legal, regulatorio y normativo para el desarrollo de la bioenergía; así como del sistema de información estadístico en este tema, la creación de capacidades de desarrollo y la fabricación de equipos y componentes para los sistemas de producción de biodiésel y biogás en la industria nacional, la instalación de plantas de biodiésel y biodigestores de laguna cubierta (en dos municipios cubanos), y el fortalecimiento institucional y del capital humano.

De los resultados iniciales, destaca la elaboración del primer Atlas Nacional de Bioenergía, la capacitación de más de 200 decisores, especialistas y productores, la selección de indicadores estadísticos más pertinentes, y el desarrollo tecnológico de equipos y componentes.

PRÁCTICAS Y TECNOLOGÍAS ADAPTATIVAS IDENTIFICADAS

El biogás

Los principales componentes del biogás son el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂); 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 MJ/m³, comparado con 33-38 MJ/m³ en el gas natural), según Werner *et al.* (1989).

Tabla 1. Composición química del biogás

Gas	% del volumen total
Metano (CH ₄)	54-70
Dióxido de carbono (CO ₂)	27-45
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	0-0.1
Hidrógeno (H ₂)	1-10
Nitrógeno (N ₂)	0.5-9.0

Fuente: Guerrero, 2012

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 (Zapata, 2002). Según Marchaim (1992), para el uso del biogás en motores es indispensable eliminar el ácido sulfhídrico (H_2S), ya que este, al reaccionar con agua, forma ácido sulfúrico (H_2SO_4) que es altamente corrosivo y puede ocasionar graves daños internos al motor.

Descripción de prácticas y tecnologías

En la UEBP se construyeron dos biodigestores de cúpula fija (modelo chino modificado), con 45 y 50 m^3 de digestión, respectivamente (Figura 1). Ambos biodigestores tratan las excretas de 600 cerdos (el 50 % de la masa animal de la UEBP).



Figura 1. Biodigestor instalado por el Proyecto BIOMAS-Cuba

Los dos biodigestores producen diariamente, en conjunto, 90 m^3 de biogás, debido con una alta eficiencia. Esto es posible por mejoras realizadas en su diseño, a la disciplina de operación del sistema y a la dieta que se suministra a los cerdos (alimentos concentrados); sin embargo, la instalación productiva solo consumía diariamente entre 15 y 17 m^3 , por lo que existía un excedente de 73-75 m^3 /día.

Esta situación exigió buscar un uso alternativo e inteligente 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 de mayor lejanía está a 270 m. Así se logró un mayor aprovechamiento energético, mejorar las

condiciones de vida de mujeres y hombres, y eliminar la contaminación ambiental que se generaría al quemar el excedente una antorcha.

La disponibilidad de biogás no permitía suministrarlo a todas las viviendas, por lo cual los criterios de selección fueron los siguientes: 1) priorizar las viviendas donde residieran trabajadores de la UEBP, y 2) en las que vivieran personas más vulnerables, como discapacitados físicos y visuales, ancianos y niños pequeños, que 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, para suministrar el biogás a las viviendas, mediante tuberías derivadoras de goma de 12 mm. Esta 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 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.

Se diseñó un innovador sistema para la limpieza del sulfuro de hidrógeno, un componente contaminante y corrosivo existente en el biogás. Este sistema tiene 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. El lavado de la limalla se realiza cada 25 días, añadiendo agua por la válvula instalada en la parte superior y, una vez transcurridos seis meses, los filtros estarán listos para volver a introducir la limalla. Los residuos de los filtros se recogen y son depositados en la laguna anaerobia.

Los filtros fueron construidos en dos tanques plásticos de 200 l; con una llave de paso de 18 mm en la parte inferior para garantizar el drenaje de los tanques. La reposición de la limalla y del agua se realiza por la parte superior. Los filtros fueron evaluados mediante la obtención de muestras, con tres repeticiones en dos puntos de medición, utilizando un analizador de gases portátil "Lantec", modelo GEM 2000. Un punto de medición se ubicó antes de ingresar el biogás a los filtros y el otro después que salió de los mismos.

El gasto de energía eléctrica en las viviendas se determinó mediante el procesamiento de datos brindados por la Empresa Eléctrica, donde 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.

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, los cuales se reunían mensualmente con los especialistas.

La instalación de las tuberías fue realizada por los miembros de la comunidad, con asesoría de los especialistas del proyecto Biomas-Cuba y distribuidas según la ubicación de las viviendas.

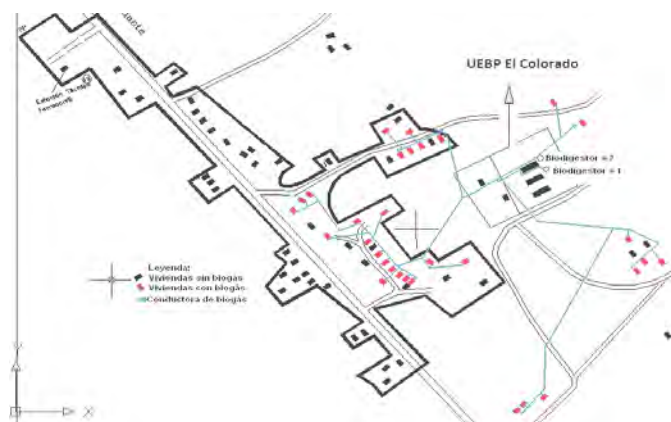


Figura 1. Ubicación de los dos biodigestores, la red de distribución de biogás y las 31 viviendas beneficiadas en la UEBP y la comunidad "El Colorado".

Como parte del sistema, se entregaron 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 en la UEBP; así como cocinas domésticas de dos quemadores a las 31 viviendas y una olla arrocera.

Según las mediciones realizadas se pudo obtener los resultados siguientes:

- Consumo promedio de biogás por vivienda: 1,5-1,7 m³/día
- Consumo promedio de biogás en la UEBP: 15-17 m³/día
- Consumo promedio en las 31 viviendas: 60 m³/día
- Consumo promedio por persona: 0,5 m³/día

Beneficios y efectividad

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 %.

Beneficios a nivel de UEBP y la comunidad

- Consumo promedio de electricidad antes de utilizar biogás en las viviendas: 80,3 MWh/año.
- Consumo promedio de electricidad después de emplear biogás en las viviendas: 62 MWh/año.
- Disminución del consumo de electricidad: 18,3 MWh/año.
- En las viviendas, 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 también con el uso de leña, cuya combustión generaba humos que afectaban notablemente a las cocineras, además de crear unas deficientes condiciones de trabajo. Los gastos para la búsqueda, preparación y transportación de la leña eran elevados, por los salarios de los trabajadores y el costo del diésel para el traslado (\$ 3 500 CUP en salarios y \$ 26 940 CUP en diésel, anualmente).
- Con la construcción de los biodigestores se dejaron de consumir en la cocción 11 t anuales de leña, se eliminaron las emisiones de humo que molestaba a los trabajadores y se mejoró notablemente las condiciones de trabajo de las cocineras, las cuales también se beneficiaron de los equipos domésticos que consumen biogás. Además, se dejan de consumir anualmente 3 380 L de diésel en las viviendas.
- Mejoran las condiciones higiénico-sanitarias de la cocina de la UEBP y de las 31 viviendas.
- Se humaniza 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 benefician directamente 25 personas en el comedor obrero de la UEBP y se mejora la calidad de vida de 110 habitantes (el 65 % de la población total) en la comunidad El Colorado.

Benéficos al medio ambiente

- El consumo diario de 90 m³ de biogás para la cocción permite dejar de talar 24 ha/año.
- Se evita la emisión de 59,8 t de CO₂eq/año, o sea, 1 255 t de metano (CH₄), cálculos realizados a partir de la metodología del GEF (2008).
- Se producen 4 t/año de efluentes, que se utilizan como bioabonos para la mejora de suelos.

INDICADORES ECONÓMICOS

Costo y rentabilidad

El costo total de la inversión, incluidos los dos biodigestores, fue de 121 213 CUP, mientras que los ahorros totales por año de explotación de la red de distribución de biogás alcanzaron los 63 310 CUP. Se estima 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.

Esta experiencia de instalación de redes de suministro de biogás alimentadas por biodigestores se ha replicado en otras tres comunidades rurales del municipio de Cabaiguan, lo cual ha permitido beneficiar a 53 viviendas y 272 personas, que mejoraron su calidad de vida y logran obtener un ahorro de 77,2 MWh/año (Figura 2), constituyendo las primeras comunidades rurales en Cuba con redes de abasto de biogás para uso doméstico, sin compresión.

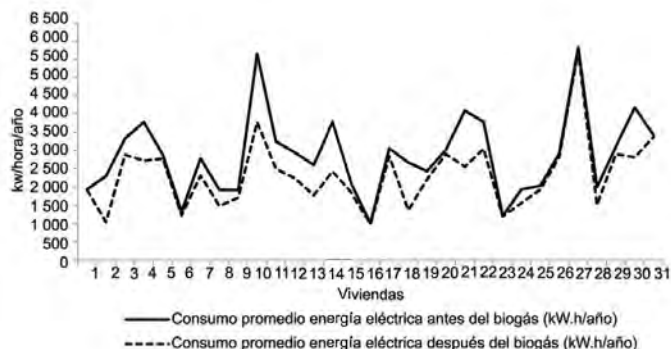


Figura 2. Comportamiento del consumo de la electricidad en las viviendas

Tabla 2. Análisis económico de la inversión.

Concepto	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 en Cuba	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.

REFERENCIAS

- 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.
- GEG 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.; Benwto, 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 (H₂S(g))/ácido sulfhídrico (H₂S(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.