

Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores

Production of biogas and biofertilizers from biodigester effluents

L. Cepero¹, Valentina Savran², D. Blanco¹, M. R. Díaz Piñón³, J. Suárez¹ y A. Palacios⁴

¹Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey", Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba.

E-mail: luis.cepero@indio.atenas.inf.cu

²Dirección de Planificación Física, Sancti Spíritus, Cuba

³Delegación CITMA, Las Tunas, Cuba

⁴UEB Construcción Civil, Organización Base Eléctrica, Santiago de Cuba

Resumen

Uno de los procesos de investigación e innovación tecnológica que se desarrollan en el marco del proyecto "La biomasa como fuente renovable de energía para el medio rural" (BIOMAS-CUBA) está relacionado con la producción de biogás y bioabonos a partir de los efluentes de biodigestores, en fincas agroenergéticas, donde se producen alimentos y energía, de forma integrada. Las tecnologías seleccionadas para la construcción de biodigestores anaeróbicos han sido: la cúpula fija (modelo chino), el tubular plástico o de manga de polietileno con flujo continuo (tipo Taiwán) y la laguna anaeróbica cubierta con una geomembrana de polietileno de alta densidad. A partir de estas se construyeron o repararon –en menor medida– 69 biodigestores, en fincas campesinas de las provincias de Matanzas, Sancti Spíritus y Las Tunas, en la Estación Experimental "Indio Hatuey", en la comunidad de Montaña Magueyal (Santiago de Cuba), en un centro de producción porcina de Las Tunas y en una granja agropecuaria del Ministerio del Interior, en Jovellanos (provincia de Matanzas). Estos 69 biodigestores abarcaron una capacidad total de digestión de 1 665 m³ y generaron producciones de 600 060 m³ de biogás, que se utilizaron en la cocción de alimento humano y animal, la generación de electricidad y la cocción de ladrillos; así como 2 601 t de bioabonos, empleados en la mejora de la fertilidad de 1 830 ha de suelos; además permiten eliminar la contaminación provocada por excretas vacunas y porcinas en los escenarios productivos, lo cual genera un impacto ambiental positivo. Se instalaron 52 plantas de producción de bioproductos a partir de efluentes de biodigestores, enriquecidos con microorganismos nativos, los cuales se utilizan en la sanidad animal y vegetal, la nutrición de cultivos, la eliminación de malos olores en instalaciones pecuarias, la biorremediación de lagunas contaminadas con residuales orgánicos y en los filtros de biocerámicas.

Palabras clave: Biogás, abonos orgánicos

Abstract

One of the research and technological innovation processes which are developed within the project "Biomass as renewable energy source for rural areas" (BIOMAS-CUBA) is related to biogas and biofertilizer production from biodigester effluents, in agroenergy farms, where food and energy are produced, in an integrated way. The technologies selected for constructing anaerobic biodigesters have been: fixed dome (Chinese model), plastic tube or polyethylene with continuous flow (Taiwan type) and anaerobic lagoon covered with a high density polyethylene geomembrane. From these technologies 69 biodigesters were constructed or repaired – to a lesser extent-, in farms from the provinces Matanzas, Sancti Spiritus and Las Tunas, at the Experimental Station "Indio Hatuey", in the mountain community Magueyal (Santiago de Cuba), in a pig production facility from Las Tunas and a livestock production farm belonging to the Ministry of Interior, in Jovellanos (Matanzas province). These 69 biodigesters comprised a total digestion capacity of 1 665 m³ and generated productions of 600 060 m³ of biogas, which were used for cooking food and feedstuffs, electricity generation and brick firing; as well as 2 601 t of biofertilizers, used for improving the fertility of 1 830 ha of soils; in addition, they allow eliminating the contamination produced by cattle and pig dung in the productive scenarios, which generates a positive environmental impact. The installation was carried out of 52 bioproduct production plants from biodigester effluents, enriched with native microorganisms, which are used in animal and plant health, crop nutrition, elimination of bad odors in livestock production facilities, bioremediation of lagoons contaminated with organic residues and in bioceramic filters.

Key words: Biogas, organic fertilizers

Introducción

Uno de los procesos de investigación e innovación tecnológica que se desarrollan en el marco del proyecto internacional BIOMAS-CUBA está relacionado con la producción de biogás y bioabonos, a partir de los efluentes de biodigestores en el contexto de las fincas donde se produce alimentos y energía, de forma integrada.

El biogás es una mezcla de diferentes gases producidos por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, como el estiércol y las basuras orgánicas. La composición química del biogás (tabla 1) indica que el componente más abundante es el metano (CH_4); este es el primer hidrocarburo de la serie de los alcanos y un gas de efecto invernadero. La mezcla de CH_4 con el aire es combustible y arde con llama azul.

Tabla 1. Composición química del biogás.

Table 1. Chemical composition of biogas.

Componente	Fórmula	Porcentaje
Metano	CH_4	40-70
Dióxido de carbono	CO_2	30-60
Hidrogeno	H_2	0,1
Nitrógeno	N_2	0,5
Monóxido de carbono	CO	0,1
Oxígeno	O_2	0,1
Sulfuro de hidrógeno	H_2S	0,1

Fuente: Blanco *et al.* (2011).

El objetivo del trabajo fue socializar la experiencia del proyecto en lo referente a la producción de biogás y bioabonos, a partir de los efluentes de biodigestores.

Procedimiento

Para el fomento de la producción integrada de biogás y bioabonos, así como para su uso, se utilizó un procedimiento, cuyos pasos son los siguientes:

1. Selección de la tecnología más apropiada para cada escenario productivo.
2. Diseño y construcción de los biodigestores.
3. Desarrollo y construcción de filtros para absorber el sulfuro de hidrógeno presente en el biogás.

Introduction

One of the research and technological innovation processes developed within the international project BIOMAS-CUBA is related to biogas and biofertilizer production, from biodigester effluents in farms where food and energy are produced, in an integrated way.

Biogas is a mixture of different gasses produced by the anaerobic decomposition of organic matter, such as manure and organic wastes. The chemical composition of biogas (table 1) indicates that the most abundant component is methane (CH_4); this is the first hydrocarbon of the alkane series and a greenhouse gas. The mixture of CH_4 with air is fuel and burns with blue flame.

The objective of this work was to socialize the experience of the project concerning biogas and biofertilizer production, from biodigester effluents.

Procedure

For the promotion of the integrated biogas and biofertilizer production as well as for their use, a procedure was used, which steps are the following:

1. Selection of the most appropriate technology for each productive scenario.
2. Design and construction of the biodigesters.
3. Development and construction of filters to absorb the hydrogen sulfur present in the biogas.
4. Test of different applications of the biogas. Use of the biofertilizers produced from the biodigester effluents.
5. Training.

Biogas production from animal residues and biofertilizer production from biodigester effluents: the experience of BIOMAS-CUBA

Characteristics of the biodigesters

The technologies selected for the construction of anaerobic biodigesters within BIOMAS-CUBA were: 1) fixed dome (Chinese model), 2) plastic tube or polyethylene tube with continuous flow (Taiwan type), and 3) anaerobic lagoon covered with a high-density polyethylene geomembrane (HDP), from Vietnam.

4. Prueba de diversas aplicaciones de utilización del biogás. Uso de los bioabonos producidos a partir de los efluentes de los biodigestores.

5. Capacitación.

Producción de biogás a partir de residuos animales y de bioabonos con los efluentes de biodigestores: la experiencia de BIOMAS-CUBA

Características de los biodigestores

Las tecnologías seleccionadas para la construcción de biodigestores anaeróbicos en el marco de BIOMAS-CUBA fueron: 1) la cúpula fija (modelo chino), 2) el tubular plástico o de manga de polietileno con flujo continuo (tipo Taiwán), y 3) la laguna anaeróbica cubierta con una geomembrana de polietileno de alta densidad (PAD), de Vietnam.

La forma del biodigestor de cúpula fija, de origen chino, se asemeja a una esfera y el gas se almacena dentro de la campana fija a presión variable, la cual se obtiene al desplazar el líquido en digestión hacia una cámara llamada de hidropresión; los materiales de construcción son bloques y/o ladrillos, cemento y acero. Estos digestores se cargan en forma semicontinua: se realiza una primera carga con material celulósico y estiércol, además del inóculo correspondiente, hasta un 70% de la capacidad (Hilbert, 2003); luego se sigue cargando como un digestor continuo; a los 120-180 días se descarga en forma total y se reinicia el ciclo. Fuera de China, generalmente, se manejan estos digestores en forma continua.

El biodigestor tubular plástico consiste en una especie de bolsa elongada de polietileno, con una relación longitud-ancho de aproximadamente 5:1, aunque por razones de construcción eficiente las dimensiones pueden diferir (Frederiks, 2011); dicha bolsa se coloca en un foso. Este biodigestor tiene un costo mucho menor que el anterior, pero posee una vida útil inferior (menos de un 25% de la vida del biodigestor de cúpula fija).

La laguna anaeróbica cubierta con polietileno de alta densidad es una tecnología desarrollada por el Centro de Tecnología de Biogás de Hanoi

The shape of the fixed-dome biodigester, from Chinese origin, is similar to a sphere and the gas is stored inside the fixed dome at variable pressure, which is obtained by displacing the liquid under digestion towards a chamber called hydropressure chamber; the construction materials are blocks and/or bricks, cement and steel. These digesters are semi-continuously charged: they are first charged with cellulosic material and manure, in addition to the corresponding inoculum, up to 70% of their capacity (Hilbert, 2003); then they continue to be charged as a continuous digester; after 120-180 days they are completely discharged and the cycle is started again. Out of China, these digesters are managed continuously.

The plastic tubular biodigester consists in a kind of elongated polyethylene bag, with length:width ratio of approximately 5:1, although for efficient construction purposes the dimensions may differ (Frederiks, 2011); such bag is placed in a trench. This biodigester is much less costly than the above-mentioned one, but has a lower useful life (less than 25% the life of the fixed-dome biodigester).

The anaerobic lagoon covered with high density polyethylene is a technology developed by the Biogas Technology Center in Hanoi (CTBH, 2011) for large residue volumes and a solid quantity of around 3%, with low construction and operation costs. It solves the limitations of uncovered anaerobic lagoons, which emit methane to the atmosphere and unpleasant odors, and prevent the recovery of biogas. Its bottom and walls can be made of impermeable clay, blocks, bricks or reinforced concrete; while the HDP cover floats on the lagoon surface and is resistant to ultraviolet rays.

Biodigester location and production

Within the project 69 biodigesters were constructed or repaired –to a lower extent-, from them: nine are plastic tubular; one is a mobile dome (Indian model); two consist in covered anaerobic lagoons, of 300 m³ (Vietnamese technology); and the other 57 ones are fixed-dome models (Cepero *et al.*, 2011).

(CTBH, 2011) para grandes volúmenes de residuales y una cantidad de sólidos de alrededor del 3%, con bajos costos de construcción y operación. Esta resuelve las limitaciones de las lagunas anaeróbicas descubiertas, las cuales emiten metano a la atmósfera y olores desagradables, e impiden recuperar el biogás. Su fondo y paredes pueden ser de arcilla impermeable, de bloques, ladrillos u hormigón armado; mientras que la cubierta de PAD flota en la superficie de la laguna y es resistente a los rayos ultravioletas.

Ubicación y producción de los biodigestores

En el proyecto se construyeron o repararon –en menor medida– 69 biodigestores, de ellos: nueve son tubulares plásticos; uno, de cúpula móvil (modelo hindú); dos, de lagunas anaeróbicas cubiertas, de 300 m³ (tecnología vietnamita); y los 57 restantes son de cúpula fija (Cepero *et al.*, 2011).

Los biodigestores tubulares plásticos se instalaron en fincas campesinas de las provincias de Matanzas y Sancti Spíritus, así como en la Estación Experimental “Indio Hatuey” (EEIH); los de cúpula fija se construyeron en estas dos provincias, además de en Las Tunas, la comunidad de montaña Magueyal –de la Sierra Maestra, municipio San Luis (Santiago de Cuba)– y en la EEIH, donde también se reparó un biodigestor de cúpula móvil. Las dos lagunas anaeróbicas cubiertas se construyeron en un centro de producción porcina de Las Tunas y en una granja agropecuaria del Ministerio del Interior, en Jovellanos (Matanzas).

Estos 69 biodigestores, entre 2009-2011, abarcaron una capacidad total de digestión de 1 665 m³ y generaron producciones de 600 060 m³ de biogás, que se utilizaron en la cocción de alimento humano y animal, en la generación de electricidad y en la cocción de ladrillos; así como de 2 601 t de bioabonos (equivalentes a 1 812 barriles de petróleo –100 USD/barril– y 348 t de fertilizante completo NPK (12-10-10%) –650 USD/t–, respectivamente), empleados en la mejora de la fertilidad de 1 830 hectáreas de suelos (tabla 2).

Los biodigestores, además de producir biogás –cuyo contenido de energía en 1 m³ de biogás

Plastic tube biodigesters were installed in farms from the Matanzas and Sancti Spiritus provinces, as well as at the Experimental Station “Indio Hatuey” (EEIH); the fixed-dome ones were constructed in these two provinces, in addition to Las Tunas, the mountain community Magueyal –in the Sierra Maestra mountain range, San Luis municipality (Santiago de Cuba)– and at the EEIH, where a mobile-dome biodigester was also repaired. The two covered anaerobic lagoons were constructed in a pig production facility in Las Tunas and a livestock production farm of the Ministry of Interior, in Jovellanos (Matanzas).

These 69 biodigesters, between 2009 and 2011, comprised a total digestion capacity of 1 665 m³ and generated productions of 600 060 m³ of biogas, which were used in cooking food and feedstuffs, electricity generation and brick firing; as well as 2 601 t of biofertilizers (equivalent to 1 812 oil barrels –100 USD/barrel– and 348 t of whole fertilizer NPK (12-10-10%) –650 USD/t–, respectively), used in improving the fertility of 1 830 hectares of soils (table 2).

Biodigesters, in addition to producing biogas –which energy content in 1 m³ of biogas (60% CH₄ and 40% CO₂) is approximately 6 kWh/m³ (Hilbert, 2003)–, allow reducing the uncontrolled methane emission from livestock production and CO₂ concentration in the atmosphere –both greenhouse gases–, the emission of nitrous oxide and ammonia by applying the biodigester effluents as fertilizers, and the organic contaminants present in manure, as they are decomposed in the anaerobic digestion. Likewise, every 380 L of methane (CH₄), formed in a biogas digester at a pressure of one atmosphere and 25°C of temperature, the pollution load is reduced in 1 kg of chemical oxygen demand (COD).

In this sense, BIOMAS-CUBA allowed eliminating, through the construction of biodigesters, the contamination generated by cattle and pig manure in 67 productive scenarios, which generated a positive environmental impact, increased with the utilization of their effluents as biofertilizers.

In this process, a contribution was made by a software supported on LabVIEW 7.1, developed

Tabla 2. Composición química de los efluentes de los biodigestores.
Table 2. Chemical composition of the biodigester effluents.

	N (%)	P (%)
Efluente líquido	1,45	1,10
Efluente sólido	1,60	1,40

Fuente: Díaz Piñón (2009).

(60% CH₄ y 40% CO₂) es aproximadamente 6 kWh/m³ (Hilbert, 2003)–, permiten reducir la emisión descontrolada de metano proveniente de la ganadería y la concentración de CO₂ en la atmósfera –ambos, gases de efecto invernadero–, la emisión de óxido nitroso y amoníaco al aplicar como bioabono los efluentes del biodigestor, y los contaminantes orgánicos presentes en los estiércoles, al ser descompuestos en la digestión anaerobia. Asimismo, cada 380 L de metano (CH₄), formados en un digestor de biogás a presión de una atmósfera y 25°C de temperatura, se reduce la carga contaminante en 1 kg de demanda química de oxígeno (DQO).

En este sentido, BIOMAS-CUBA permitió eliminar, mediante la construcción de biodigestores, la contaminación generada por excretas vacuna y porcina en 67 escenarios productivos, lo cual generó un impacto ambiental positivo, incrementado con la utilización de sus efluentes como bioabonos.

En este proceso contribuyó un software soportado en LabVIEW 7.1, desarrollado por especialistas de la delegación provincial del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) de Las Tunas vinculados al proyecto y un manual para diseñar biodigestores y sus lagunas de tratamiento secundario y terciario, en función de la disminución de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del efluente líquido, lo cual permitió el diseño óptimo de biodigestores, con mayor eficiencia y menor gasto de materiales.

Tratamiento del sulfuro de hidrógeno y los olores desagradables

Como en el biogás hay trazas de sulfuro de hidrógeno (H₂S) que le confieren un olor

by specialists from the provincial delegation of the Ministry of Science, Technology and the Environment (CITMA) of Las Tunas province, linked to the project, and a handbook for designing biodigesters and their secondary and tertiary treatment lagoons, regarding the decrease of the biochemical oxygen demand (BOD) of the liquid effluent, which facilitated the optimum design of biodigesters, with higher efficiency and lower material expenses.

Treatment of hydrogen sulfur and unpleasant odors

As there are traces of hydrogen sulfur (H₂S) in biogas which produce an unpleasant smell, similar to sewage, it is necessary to eliminate this component from its flow before using it as fuel; for such purpose the biogas flow is forced to pass through a filter filled with treated iron shavings from machining workshops.

The previous treatment starts from washing the shavings, with detergent, to eliminate grease and other dirt, and they are left to dry. Afterwards, the shavings are submerged in a solution of HCl at 5,0% during 5-10 minutes, they are extracted and dried by air; finally, they are submerged in a solution of NaOH at 5,0% for 5 to 10 minutes, and are left to be dried by air again. As a result, the shavings become Fe₂O₃, a compound that reacts rapidly with H₂S, which absorption limit in Fe₂O₃ is 56% (Díaz Piñón, 2008). In this sense, different variants of these filters by absorption have been developed.

One of the reasons for which the elimination of H₂S is necessary, is its corrosive characteristics of metal equipment, especially under high temperature and pressure conditions (for example, with steel the eroding character of H₂S is 2,5 mm/year). The wearing of H₂S originates from this reaction: Fe + H₂S → Fe_xS_y + 2H

The other reason is that when it is burned, H₂S produces gas SO₂, which is also a strong acid gas with corrosive characteristics and toxic for the respiratory system; when contacting water it forms the acid H₂SO₃, responsible for producing acid rain, of high environmental impact and generator of climate changes.

desagradable, a desagüe, es necesario eliminar este componente de su corriente antes de emplearlo como combustible; para ello se hace pasar el flujo de biogás a través de un filtro relleno con virutas de hierro tratadas, provenientes de los talleres de maquinado.

El tratamiento previo parte de un lavado de las virutas, con detergente, para eliminar la grasa y otras suciedades, y se dejan secar. Posteriormente las virutas se sumergen en una solución de HCl al 5,0% durante 5-10 minutos, se extraen y se secan al aire; por último, son sumergidas en una solución de NaOH al 5,0%, por 5 a 10 minutos, y de nuevo se dejan secar al aire. Como resultado, las virutas se convierten en Fe_2O_3 , compuesto que reacciona rápidamente con el H_2S , cuyo límite de absorción en Fe_2O_3 es 56% (Díaz Piñón, 2008). En este sentido, se han desarrollado diversas variantes de estos filtros por absorción.

Una de las razones por las que es necesaria la eliminación del H_2S es el carácter corrosivo de los equipos de metal, especialmente en las condiciones de alta temperatura y presión (por ejemplo, con acero el nivel erosivo de H_2S es 2,5 mm/año). El desgaste de H_2S tiene su origen en esta reacción: $Fe + H_2S \rightarrow Fe_xS_y + 2H$

La otra razón es que, cuando se quema, el H_2S produce SO_2 , el cual también es un gas ácido fuerte con carácter corrosivo y tóxico para el sistema respiratorio; si tiene contacto con el agua forma el ácido H_2SO_3 , responsable de producir la lluvia ácida, de gran impacto ambiental y generadora de cambios climáticos.

Producción de bioproductos

También se instalaron 64 plantas de producción de bioproductos a partir de efluentes de biodigestores y otros residuos, enriquecidos con microorganismos nativos, los cuales se utilizan en la sanidad animal y vegetal, la nutrición de cultivos, la eliminación de malos olores en instalaciones pecuarias y la biorremediación de lagunas contaminadas con residuales orgánicos, así como en filtros de biocerámicas.

Capacitación

A finales de 2011, se organizaron dos cursos sobre biodigestores de laguna anaeróbica

Bioproduct production

In addition, 64 bioproduct production plants were installed from biodigester effluents and other residues, enriched with native microorganisms, which are used in animal and plant health, crop nutrition, elimination of bad odors in livestock production facilities, and biorremediation of lagoons contaminated with organic residuals, as well as in bioceramic filters.

Training

At the end of 2011, two courses were organized about biodigesters of covered anaerobic lagoon. The first one approached the technology of cover with high density polyethylene, developed by the Biogas Technology Center of Hanoi; while the other was organized with the German firm AquaLimpia® Group and dealt with the dimensioning, design and construction of the anaerobic lagoon covered with AQFlex® geomembrane, for digestion capacities higher than 300 m³ and electricity generation from biogas (Moncayo, 2011), in order to install seven lagoons since 2012.

The AQFlex® membranes of monolayer rubber are manufactured with propylene, diene, lamp black, ethylene and vulcanization agent oils. They have 1,1 mm of thickness and weigh less than 1,4 kg/m²; yet, they offer high resistance to breaking, perforations and tearing. They have an elongation capacity of up to 400%, which allows an easy coupling to the movements by pressure and biogas accumulation; they stand large and sudden changes of temperature and prolonged exposure to ozone, with insignificant or no signs of ageing; they are also stable under ultraviolet rays, even under a permanent exposure to sunlight, for which their life expectancy under ambient conditions is more than 30 years.

Likewise, as part of the process of training farmers and specialists to favor the diffusion and adoption of anaerobic biodigesters –plastic as well as fixed-dome ones- two handbooks have been elaborated for their design, set up and operation (Blanco *et al.*, 2011; 2012).

These results have been generated through a wide network, principal cause of the success that

cubierta. El primero abordó la tecnología de cobertura con polietileno de alta densidad, desarrollada por el Centro de Tecnología de Biogás de Hanoi; mientras que el segundo se organizó con la empresa alemana Grupo AquaLimpia® y versó sobre el dimensionamiento, diseño y construcción de la laguna anaeróbica cubierta con geomembrana AQFlex®, para capacidades de digestión superiores a 300 m³ y generación de electricidad a partir del biogás (Moncayo, 2011), con el propósito de instalar siete lagunas a partir de 2012.

Las membranas AQFlex® de caucho monocapa son fabricadas con propileno, dieno, negro de humo, etileno y aceites agentes de vulcanización. Tienen 1,1 mm de espesor y pesan menos de 1,4 kg/m²; sin embargo, ofrecen una gran resistencia a la rotura, a las perforaciones y al desgarro. Estas tienen una capacidad de elongación de hasta un 400%, lo que permite un fácil acoplamiento a los movimientos por las presiones y acumulación de biogás; resisten grandes y bruscos cambios de temperatura y la exposición prolongada al ozono, con insignificantes o nulos signos de envejecimiento; también son estables a los rayos ultravioletas, incluso bajo una exposición permanente al sol, por lo que su esperanza de vida a la intemperie es de más de 30 años.

Asimismo, como parte del proceso de capacitación a los productores y especialistas para favorecer el proceso de difusión y adopción de los biodigestores anaeróbicos –tanto plásticos como de cúpula fija– se han elaborado dos manuales para su diseño, montaje y operación (Blanco *et al.*, 2011; 2012).

Estos resultados se han generado mediante un amplio trabajo en red, causa principal del éxito que facilitó sinergias entre los actores a escala local, territorial y nacional, y también a través de un modelo de innovación orientado hacia el logro de resultados prácticos, que promovió la vinculación entre el sector académico y los productores, la implantación del concepto de finca agroenergética, el fomento de procesos de innovación agrícola local en los cuales se desarrollan y mejoran tecnologías e innovaciones con una amplia participación del beneficiario –lo que

facilitated synergies among the stakeholders at local, territorial and national scale, and also by means of an innovation model oriented towards the achievement of practical results, which promoted the link between the academic sector and farmers, the implementation of the concept agroenergy farm, the promotion of local agricultural innovation processes in which technologies and innovations are developed and improved with large participation of the beneficiary –generating improvements and sustainability- and the fact that the participation and the protagonist role of farmers and their families has been enhanced.

Acknowledgements

This work was possible thanks to the support provided by the Swiss Development and Cooperation Agency (SDC) in the project BIOMAS-CUBA and the EEIH. The authors also appreciate the contribution of the Biogas Technology Center in Hanoi, the AquaLimpia firm, Dr. Thomas Preston, Dr. Lyliam Rodríguez (UTA Foundation) and Eng. Marcel Gauch (SUSTEC Group, Swiss Federal Institute for Material Research and Testing, St. Gallen).

--End of the English version--

genera mejoras y la sostenibilidad– y el hecho de que se haya potenciado la participación y el papel protagónico de los productores/as y sus familias.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al apoyo de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) en el proyecto BIOMAS-CUBA y de la EEIH. Se agradece también la contribución del Centro de Tecnología del Biogás de Hanoi, la empresa AquaLimpia, el Dr. Thomas Preston, la Dra. Lyliam Rodríguez (UTA Foundation) y el Ing. Marcel Gauch (Grupo SUSTEC, Instituto Federal Suizo de Investigación y Prueba de Materiales, St. Gallen).

Referencias bibliográficas

Blanco, D. *et al.* 2011. Manual para el diseño, montaje y operación de digestores plásticos de bajo costo.

- Una alternativa para Cuba. Estación Experimental "Indio Hatuey", Matanzas, Cuba. 38 p.
- Blanco, D. *et al.* 2012. Manual para el diseño, montaje y operación de digestores de cúpula fija. Una alternativa para Cuba. Estación Experimental "Indio Hatuey", Matanzas, Cuba. 35 p.
- Cepero, L. *et al.* 2011. Experiencias y resultados de BIOMAS-CUBA en la producción de biogás y de bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. I Conferencia Científica Internacional de la UNISS "Yayabociencia 2011", 23-26 noviembre, Universidad de Sancti Spíritus, Cuba. 8 p.
- CTBH. 2011. Entrenamiento de la tecnología del biogás a gran escala para especialistas cubanos. Centro de Tecnología del Biogás de Hanói, Vietnam.
- Díaz Piñón, M.R. 2008. Eliminación de H₂S en biogás. Caracterización, métodos y procedimientos. Grupo Provincial de Biogás, Las Tunas, Cuba. 12 p.
- Díaz Piñón, M.R. 2009. Energía y fertilizantes a partir de los residuos orgánicos. Presentación en Taller Nacional de Biogás, febrero, GRUPOR, Santiago de Cuba. 8 p.
- Frederiks, B. 2011. Biogas bag installation manual for small bag-type plug flow digesters. FACT Foundation, Eindhoven, Netherlands. <http://www.fact-foundation.com> [2/10/2011]
- Hilbert, J.A. 2003. Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar, Morón, Argentina. 54 p.
- Moncayo, G. 2011. Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás. AquaLimpia Beratende Ingenieure, Germany. 43 p.

Recibido el 10 de abril del 2012
Aceptado el 14 de mayo del 2012

ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE PASTOS Y FORRAJES "INDIO HATUEY"

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN PASTOS Y FORRAJES

Resumen de Tesis

Título: Evaluación de la tecnología de pedestales vacunos como subsistema en la Lechería No 17 de la UBPC Maniabo, Las Tunas.

Autor: Lic. Mario Juan Vázquez Hidalgo

En la lechería No. 17 de la UBPC Maniabo, perteneciente a la Empresa Agropecuaria de Las Tunas, se evaluó la producción de leche durante dos años en un subsistema de pedestales vacunos CENPALAB, con la asociación de la leguminosa *glycine* cv. Tinaroo y de la gramínea bermuda cv. Cruzada 1, en 1,25 ha. Los animales utilizados fueron del genotipo mestizo Siboney y mestizo Holstein. La disponibilidad de MS en el área de pedestal fue superior a 5,9 t/ha/rotación durante los dos años de evaluación y hubo diferencias significativas entre las épocas del año. Ello permitió ofertas de MS de 21,7 a 29,7 kg/vaca/día en el PLL, que fueron superiores en el PLL (entre 28,8 y 40,4 kg/vaca/día).

La mayor producción de leche por hectárea se obtuvo en el PLL, con diferencias significativas. Se alcanzaron producciones de 26 541 kg/ha y hubo diferencias entre los dos años evaluados. La producción de leche individual en el segundo año fue superior a la del primero (15,3 y 11,1 kg/vaca/día para el segundo y primer año, respectivamente). Las vacas de cuarta lactancia tuvieron un mayor comportamiento productivo individual (15,0 kg/vaca/día), con diferencias significativas del resto (11,0; 12,3 y 13,9 kg/vaca/día para animales de primera, segunda y tercera lactancia, respectivamente).

Los resultados demostraron la factibilidad de la aplicación de la tecnología, pues la producción por hectárea del área de pedestales significó el 16,8% en el primer año y el 18,5% en el segundo en relación con la producción total de la lechería, con únicamente el 8,0% y el 7,9% de las vacas en ordeño.

Se alcanzaron ingresos totales en las 1,25 ha de pedestales de \$29 800 en el primer año de evaluación y de \$34 500 en el segundo año con una ganancia de \$23 700 y \$27 600, respectivamente, calculada a partir de los precios anteriores a julio de 2007.