



## USE OF THE ENERGY IN AGRICULTURE *USO DE LA ENERGÍA EN LA AGRICULTURA*



<https://eqrcode.co/a/a2VDSm>

ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

# Proposal for a Biogas Supply Network in the Rural Community “El Almirante”

## *Propuesta de una red de suministro de biogás en la comunidad rural “El Almirante”*

MSc. Wernel Rondón-Capote<sup>I\*</sup>, Dr.C. Alain Ariel de la Rosa-Andino<sup>II</sup>, MSc. Yusimit Karina Zamora-Hernández<sup>III</sup>, Dr.C. Yoandrys Morales-Tamayo<sup>IV</sup>, Dr.C. Idalberto Macías-Socarras<sup>V</sup>, Lic. Laida Figueroa-Rodríguez<sup>VI</sup>

<sup>I</sup> Coperativa de Crédito y Servicios José Nemesio Figueredo, Río Cauto, Granma, Cuba.

<sup>II</sup> Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Técnicas, Dpto. de Ingeniería Mecánica, Bayamo, Granma, Cuba.

<sup>III</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Dpto. de Ingeniería Mecánica, Quevedo, Ecuador.

<sup>IV</sup> Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Dpto. Ingeniería Electromecánica, Extensión La Maná, Ecuador.

<sup>V</sup> Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad-Santa Elena, Ecuador.

<sup>VI</sup> Universidad de Granma, Facultad de Humanidades, Dpto. de Lenguas Extranjeras, Manzanillo, Granma, Cuba.

**ABSTRACT.** Generally, biogas applications have been limited only to occasional use in the places where it is produced, with very few experiences related to network distribution in homes for domestic use. The present work was developed in Los Hermanos Farm, located in El Almirante Community, Bayamo Municipality, whose main economic line is the raising of pigs. The amount of manure generated has a theoretical biogas potential of generating more than 200 m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup>; however, the current treatment system, made up of 4 biodigesters of 60 m<sup>3</sup> each, produce approximately 100 m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup> of biogas, which allows 149 people to be provided for cooking food in the 50 closest homes. Therefore, the objective of this work was to propose a biogas distribution network, based on technical, economic, energy and environmental criteria, that allows an adequate distribution of biogas for use in cooking food in Cuban rural communities. In the present investigation, the branched biogas distribution network presented several advantages compared to a circular distribution network according to the six established priority orders. As the main result of this work, it was shown that biogas distribution networks have important environmental and social benefits; likewise, the favorable results of the financial indicators denote the economic feasibility of these systems, considering the significance of saving electricity in homes.

**Keywords:** Renewable Energy, Environmental Impact, Anaerobic Digester.

**RESUMEN.** Generalmente, las aplicaciones del biogás se han limitado solamente al uso puntual en los lugares donde se produce, siendo muy escasas las experiencias relacionadas a la distribución en red en las viviendas para uso doméstico. El presente trabajo se desarrolló en la finca Los Hermanos, ubicada en la comunidad El Almirante, municipio Bayamo, cuyo principal renglón económico es la crianza de cerdos. La cantidad de purines generados tiene un potencial teórico de biogás de generar diariamente más de 200 m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup>; no obstante, el actual sistema de tratamiento, compuesto por 4 biodigestores de 60 m<sup>3</sup> cada uno, producen aproximadamente 100 m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup> de biogás, lo que permite proveer a 149 personas para las labores de cocción de alimentos en las 50 viviendas más cercanas. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue proponer una red de distribución de biogás, a partir de criterios técnicos, económicos, energéticos y ambientales, que permita una adecuada distribución del biogás para su utilización en la cocción de alimentos en las comunidades rurales cubanas. En la presente investigación, la red de distribución de biogás ramificada presentó varias ventajas comparadas con una red de distribución circular de acuerdo a los seis órdenes de prioridades establecidos. Como principal resultado de este trabajo, se demostró que las redes de distribución de biogás tienen importantes beneficios ambientales y sociales; asimismo, los favorables resultados de los indicadores financieros indican la factibilidad de económica de esos sistemas considerando lo significativo que representa el ahorro de energía eléctrica en las viviendas.

**Palabras clave:** energía renovable, impacto ambiental, digestión anaerobia.

\*Author for correspondence: Wernel Rondón-Capote, e-mail: [bayamo2009@gmail.com](mailto: bayamo2009@gmail.com) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2377-9515>

Received: 20/01/2021.

Approved: 18/06/2021.

## INTRODUCTION

Anaerobic digestion technologies for biogas production contribute to reduce environmental pollution, lessen greenhouse gas emissions, decrease the use of fossil fuels and chemical fertilizers, and improve the quality of life of the settlers in rural and suburban areas. In addition, it has had a growing boom in recent years for being an economically feasible solution, enabling nutrients recirculation and reducing pollution (Zhang *et al.*, 2016).

Biogas is used as fuel for internal combustion engines, gas turbines, fuel cells, water heaters, as well as industrial heaters, among many other processes. It can also be used as fuel for electricity generation, where the overall conversion efficiency is around 10 - 16% (Fantin *et al.*, 2015).

In China, India and other developing countries, family biodigesters for biogas production play an important role in rural energy programs. Their design depends on climatic conditions, available organic waste, local materials and operators' skills. Animal and human manures combined with food, fruit and vegetable residues, are suitable materials to obtain biogas. Generally, the sizes of family biodigesters are between 8 - 10 m<sup>3</sup> and produce between 0.3 – 0.9 m<sup>3</sup> of biogas per m<sup>3</sup> of biodigesters per day; however, there are other standardized designs with volumes between 15 - 60 m<sup>3</sup> (Rajendran *et al.*, 2012; Kaur *et al.*, 2017)

Unlike the existing international experience with natural or liquefied gasoline, the relative supply of biogas in a distribution network for homes consumption is uncommon. The updated literature only reports the injection of biogas to natural gas networks in Sweden, Luxembourg and Spain (Bekkering *et al.*, 2010; Díaz-Trujillo y Nápoles-Rivera, 2019; Khishtandar, 2019). In Cuba, there are limited experiences on biogas distribution, mainly for its use in cooking food and other domestic uses. In these cases, the biogas is obtained from the anaerobic treatment of pig excreta using two digesters (López & Suárez, 2018). However, this study does not carry out an in-depth analysis of the energy evaluation of the biogas supply for the distribution network. According to the abovementioned, the current investigation proposes a biogas distribution network, based on technical, economic, energy and environmental criteria, which allows an adequate distribution of biogas for cooking food in Cuban rural communities.

## MATERIALS AND METHODS

### Determination of the Biogas Production Potential in the Farm “Los Hermanos”

#### Amount of Residuals Generated in the Farm

To calculate the amount of residuals, the number of housed animals is determined, and the volume of excreta calculated. In addition, according to the data provided by the owner of the farm, the amount of animals corresponds to 50 kg of weight

## INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de la digestión anaerobia para la producción de biogás contribuyen a disminuir la contaminación del medio ambiente, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, y disminuir el uso de los combustibles fósiles y fertilizantes químicos, así como mejora la calidad de vida de los pobladores en zonas rurales y suburbanas. Además, ha tenido un creciente auge en los últimos años por ser una solución económicamente factible, y la posibilidad de recircular los nutrientes y reducir la contaminación (Zhang *et al.*, 2016).

El biogás puede ser utilizado como combustible para los motores de combustión interna, las turbinas de gas, las celdas de combustible, los calentadores de agua, calentadores industriales, entre otros muchos procesos. También, el biogás puede ser utilizado como combustible para la generación de electricidad, donde la eficiencia de conversión global está alrededor de 10 - 16 % (Fantin *et al.*, 2015).

En países como China, India y otros más en vías de desarrollo, los biodigestores familiares para la producción de biogás juegan un importante rol en los programas energéticos rurales. El diseño de los biodigestores depende de las condiciones climáticas, los residuos orgánicos disponibles, los materiales locales y las habilidades de los operadores. Los excrementos de animales, y humanos, en combinación con residuos de alimentos, de frutas y verduras, pueden ser usados como materiales adecuados para obtener biogás. Normalmente, los tamaños de los biodigestores familiares están entre 8 – 10 m<sup>3</sup> y producen entre 0,3 – 0,9 m<sup>3</sup> de biogás por m<sup>3</sup> de biodigestor por día; no obstante, existen otros diseños estandarizados con volúmenes entre 15 - 60 m<sup>3</sup> (Rajendran *et al.*, 2012; Kaur *et al.*, 2017).

A diferencia de la experiencia internacional existente con el gas natural o licuado del petróleo, es muy escasa la relativa repartición del biogás en una red de distribución para ser consumido en viviendas. La literatura actualizada solo reporta la inyección de biogás a redes de gas natural en Suecia, Luxemburgo y España (Bekkering *et al.*, 2010; Díaz-Trujillo y Nápoles-Rivera, 2019; Khishtandar, 2019). En Cuba hay limitadas experiencias de distribución de biogás, fundamentalmente para su utilización en la cocción de alimentos y otros usos domésticos. En estos casos el biogás se obtuvo a partir del tratamiento anaerobio de excretas de cerdo mediante dos digestores (López & Suárez, 2018). No obstante, en este estudio no se realizó un profundo análisis de la evaluación energético del suministro de biogás para la red de distribución. Por lo anteriormente expuesto se realizó la presente investigación la cual tuvo como objetivo proponer una red de distribución de biogás, a partir de criterios técnicos, económicos, energéticos y ambientales, que permita una adecuada distribución del biogás para su utilización en la cocción de alimentos en las comunidades rurales cubanas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Determinación del potencial de producción de biogás en la “Finca Los Hermanos”

#### Cantidad de residuales generados en la finca

Para calcular la cantidad de residuales se determinó el número de animales estabulados, y cálculo del volumen de excretas. Además, con los datos brindados por el propietario de la finca, se obtuvo la cantidad de animales equivalentes a

considering a per capita contribution of BOD<sub>5</sub> per animal, which allows determining an average contribution of 0,39 kg day<sup>-1</sup>.

### Design Methodology for Fixed Dome Biodigesters

To calculate an anaerobic biodigester design parameters, it is necessary to know the input data, and those that must be calculated (Table 1). The daily amount of material (Am) is in direct function to the biomass amount generated, whether it is domestic, agricultural or animal waste. Besides, it is essential to take into account the maximum amount obtained and the future productive increase plans.

50 kg de peso y, considerando un aporte per cápita de DBO<sub>5</sub> por animal, se determinó un aporte promedio de 0,39 kg día<sup>-1</sup>.

### Metodología de diseño de los biodigestores de cúpula fija

Para el cálculo de los parámetros de diseño de un biodigester anaerobio es necesario conocer los datos de entrada, y los que deben ser calculados (Tabla 1). La cantidad diaria de material (Md) está en función directa con la cantidad de biomasa que se genera, ya sean residuos domésticos, agrícolas o de origen animal. Además, se debe tomar en cuenta la cantidad máxima que se obtiene y los planes de incrementos productivos en el futuro.

**TABLE 1. Input and output data required for an anaerobic digester design**  
**TABLA 1. Datos de entrada y salida requeridos para el diseño de un biodigester anaerobio**

Parameters	Unit
<i>Input data</i>	
Daily biomass amount generated (Md)	kg d <sup>-1</sup>
Dilution rate (Td)	L kg <sup>-1</sup>
Biogas productivity (Y)	m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup>
Hydraulic retention time (HRT)	d
Biogas containment coefficient (k)	
<i>Output data</i>	
Daily material volume (manure and water mixture) (Sd)	kg d <sup>-1</sup>
Biodigester volume (V <sub>biodig</sub> )	m <sup>3</sup>
Biogas production capacity (G)	m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>
Biogas containment volume (V <sub>biogás</sub> )	m <sup>3</sup>
Buffer tank volume (Vtc)	m <sup>3</sup>

The daily amount of input material (Sd) is the sum of the residual and the dilution of the biomass (residual and water).

$$Sd=(1+N) \cdot M_d [m^3 d^{-1}] \quad (1)$$

Where: N is the dilution factor; Md is the daily amount of material.

While, the volume of the biodigester (V<sub>biodig</sub>) is calculated taking into account the value of Sd that enters to the biodigester and HRT.

$$V_{biodig} = S_d \cdot TRH [m^3] \quad (2)$$

Likewise, the biogas production capacity (G) is calculated through Equation 3.

$$G=M_d \cdot Y [m^3 d^{-1}] \quad (3)$$

Where: Y is the specific productivity of the biogas (m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>).

In addition, the biogas containment volume is obtained from Equation 4.

$$V_{biogás} = k \cdot G [m^3 d^{-1}] \quad (4)$$

Therefore, substituting G in Equation 4, the result is:

$$V_{biogás} = k \cdot M_d \cdot Y [m^3 d^{-1}] \quad (5)$$

### Biogas Purification System

As a fundamental part of the structure, it has a biogas filtering system, using the absorption purification method. The

La cantidad diaria de materia de entrada (Sd), no es más que la suma del residual y la dilución de la biomasa (residual y agua).

$$Sd=(1+N) \cdot M_d [m^3 d^{-1}] \quad (1)$$

donde: N es el factor de dilución; Md es la cantidad diaria de material.

Mientras, el volumen del biodigester (V<sub>biodig</sub>) se calculó teniendo en cuenta el valor de Sd que entra al biodigester y el TRH.

$$V_{biodig} = S_d \cdot TRH [m^3] \quad (2)$$

Asimismo, la capacidad de producción de biogás (G) se calculó a través de la ecuación 3.

$$G=M_d \cdot Y [m^3 d^{-1}] \quad (3)$$

donde: Y es la productividad específica del biogás (m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>).

También, el volumen de contención del biogás se obtuvo a partir de la ecuación 4.

$$V_{biogás} = k \cdot G [m^3 d^{-1}] \quad (4)$$

Por tanto, substituyendo G en la ecuación 4, se tuvo que:

$$V_{biogás} = k \cdot M_d \cdot Y [m^3 d^{-1}] \quad (5)$$

### Sistema de purificación de biogás

Como parte fundamental del sistema está instalado un sistema de filtrado para el biogás, utilizando el método de purificación por

device has two filter tanks with the following characteristics: 1,30 m high and 0,30 m in diameter and contain iron filings inside. When the biogas has small amounts of air, the iron corrodes and the sulfur partially deposits itself on the iron filings, which can be washed away avoiding the corrosion caused by  $H_2S$  in the cookers.

### Determination of the Amount of Network Beneficiaries

The amount of the network beneficiaries is calculated taking into account the exclusive use of the biogas for cooking. According to Guardado (2007), for Cuban conditions and food culture, there is a daily consumption between  $0.38-0.42 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  per person. That is why, the existing production reserves are also taken into account.

### Distribution Network Design

The design of the distribution network is based on the analysis of each of the factors evaluated in the field by the technical group, to define the most appropriate way according to technical, economic and social standards, as well as the criteria of the users, highlighting the geographical disposition of the houses and the development plans at the local level.

To define the criteria for selecting the houses, several aspects are taken into account according to a certain order of priority. 1st) the needs of the farm. 2nd) the houses of the owner and his relatives. 3rd) the houses located to the south since the winds circulate in that direction and may be affected by bad odors; 4th) the nearby houses where the workers reside; and 5th) the housing of the most vulnerable people, such as the physically and visually disabled, the elderly, and young children.

The biodigesters will conduct the biogas produced to the places of use through plastic pipes. PVC plastic pipes are suitable for this purpose, as they have the following advantages: corrosion resistant, easy to install, and lower prices. Their disadvantage lies in the necessary protection against the sunbeam and the movement of animals and heavy transport (López & Suárez, 2018).

The required diameter of a pipe depends on the distance from the plant to the place of gas consumption, as well as the maximum gas flow required and the allowable pressure loss (Table 2). The maximum gas flow is obtained by adding the consumptions of the equipment operating simultaneously (Guardado, 2007).

absorción. El dispositivo cuenta con dos tanques filtros con las características siguientes: 1,30 m de alto y 0,30 m de diámetro y en su interior contienen limallas de hierro. Cuando el biogás contiene pequeñas cantidades de aire, el hierro se corroe y el azufre se deposita parcialmente sobre las limallas, las cuáles pueden lavarse y se puede evitar la corrosión provocada por el  $H_2S$  en las cocinas.

### Determinación de la cantidad de beneficiarios de la red

La cantidad de beneficiarios de la red se calculó teniendo en cuenta que el biogás producido será usado en su totalidad para la cocción de los alimentos. Según Guardado (2007), para las condiciones de Cuba, debido a la cultura alimentaria, se consumen diariamente entre  $0,38-0,42 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  por comensal. Para ello se tuvieron en cuenta además las reservas de producción existentes.

### Diseño de la red de distribución

Para el diseño de la red de distribución se partió del análisis de cada uno de los factores evaluados en el terreno por el grupo técnico, para definir la ruta más apropiada de acuerdo a los criterios técnicos, económicos y sociales, así como los criterios de los usuarios, destacándose la disposición geográfica de las viviendas, planes de desarrollo a nivel local.

Para definir el criterio de selección de las viviendas se tuvieron en cuenta varios aspectos según un determinado orden de prioridad: 1ra prioridad) las necesidades de la finca; 2da prioridad) las viviendas del propietario y sus familiares; 3ra prioridad) las viviendas ubicadas al sur ya que en esa dirección circulan los vientos y pueden estar afectadas por los malos olores; 4ta prioridad) las viviendas cercanas donde residen los trabajadores; y 5ta prioridad) las viviendas de las personas más vulnerables, como discapacitados físicos y visuales, ancianos, y niños pequeños.

El biogás producido será conducido desde los biodigestores hasta los lugares de uso a través de mangueras plásticas. Las mangueras plásticas de PVC resultan adecuadas para esta finalidad, ya que presenta las ventajas siguientes: resistente a la corrosión, facilidad de instalación y menores precios. Su desventaja radica en la necesaria protección contra los rayos solares y el movimiento de animales y el transporte pesado (López & Suárez, 2018).

El diámetro una tubería requerida depende de la distancia desde la planta hasta el lugar de consumo del gas, así como del flujo máximo de gas requerido y de la pérdida de presión admisible (Tabla 2). El flujo máximo del gas se obtiene sumando los consumos de los equipos que funcionen simultáneamente (Guardado, 2007).

**TABLA 2. Pressure loss in mm water flow for every 10 m of pipe**  
**TABLA 2. Pérdidas de presión en mm de columna de agua por cada 10m de tubería**

Flow ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Pipe diameter				
	17 mm	23 mm	30 mm	43 mm	54 mm
	Losses of pressure every 10 m				
0.5	1.0	0.3	0.1	-	-
1.0	2.5	0.7	0.2	-	-
2.0	7.0	1.8	0.6	-	-
2.5	9.9	2.5	0.8	-	-

Flow (m <sup>3</sup> /h)	Pipe diameter				
	17 mm	23 mm	30 mm	43 mm	54 mm
	Losses of pressure every 10 m				
3.0	13.1	3.3	1.0	0.2	-
4.0	20.7	5.2	1.6	0.3	-
5.0	29.6	7.4	2.2	0.4	-
6.0	29.7	9.8	2.9	0.6	-
7.0	-	12.6	3.7	0.7	-
8.0	-	15.7	4.6	0.9	0.3
9.0	-	19.0	5.6	1.0	0.4
10.0	-	22.6	6.6	1.3	0.5

### Energy Contribution of the Biogas Produced

The energy contribution of the biogas produced is determined from the saving of electrical energy that will no longer be consumed by network users when cooking food. For this, the analysis was carried out in a period of one year and considering what was reported by Argota (2013), determining that in Cuba approximately 60% of electricity consumption in an average home is used for cooking food. For the study, three evaluations were made, considering the consumption of 60%, 50%, and 40% of the total consumed.

### Gas Analyzer Features

To verify the biogas composition, a gas analyzer model Gas Board-3200L was used. This device is powered by rechargeable Lithium (Li) batteries, and is used to measure the concentration of CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S and O<sub>2</sub> in biogas. The gas determination process consists in the detection of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> concentrations by non-scattered infrared beams (NDIR) and the use of a fuel cell (ECD) to determine H<sub>2</sub>S and O<sub>2</sub> gases.

### Economic Analysis

The most used methods to verify the economic profitability of the project are the Net Present Value, (NPV) and the Internal Rate of Return, (IRR). The NPV method, also known as Net Present Value (NPV), is one of the most widely used economic criteria in the evaluation of an investment project. It consists in determining the equivalence in time zero of the future cash flows generated by a project, and comparing this equivalence with the initial disbursement, then it is recommended that the project be accepted (Barta *et al.*, 2010).

The investor finances taking into account two factors, first, the project's profits must be such that they compensate for the inflationary effects, and secondly, it must be a premium or overrate to risk his money in a certain investment. So before investing, the investor always has to take into account a minimum rate of return on the proposed investment called the Minimum Acceptable Rate of Return (TMAR) (Eq. 6).

$$TMAR = i + f + (i \cdot f) \quad (6)$$

Where: *i* is inflation, and *f* is the risk premium.

The evaluation acceptance criteria are if NPV ≥ 0, then the project is acceptable; meanwhile, if the NPV < 0 the project is

### Aporte energético del biogás producido

El aporte energético del biogás producido se determinó a partir del ahorro de energía eléctrica que se dejará de consumir por los usuarios de la red en la cocción de los alimentos. Para esto, se realizó el análisis en el período de un año y considerando lo reportado por Argota (2013), donde concluye que en Cuba aproximadamente el 60 % del consumo de electricidad en una vivienda promedio se realiza para la cocción de alimentos. Para el estudio se realizaron tres valoraciones, considerando el consumo del 60 %, 50%, y 40% del total consumido.

### Características del analizador de gases

Para verificar la composición del biogás se utilizó un analizador de gases modelo Gas Board-3200L. Este dispositivo se alimenta mediante baterías recargables de Litio (Li), y se utiliza para la medición de la concentración de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y O<sub>2</sub> en el biogás. El proceso de determinación de los gases consiste en la detección de las concentraciones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> por haces infrarrojos no dispersos (NDIR) y el uso de una pila de combustible (ECD) para la determinación de los gases H<sub>2</sub>S y O<sub>2</sub>.

### Análisis económico

Los métodos más utilizados para comprobar la rentabilidad económica del proyecto son el Valor Actual Neto, (VAN) y la Tasa Interna de Retorno, (TIR). El método del VAN, también conocido como Valor Presente Neto (VPN), es uno de los criterios económicos más ampliamente utilizados en la evaluación de un proyecto de inversión. Consiste en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivos futuros que genera un proyecto, y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial, entonces es recomendable que el proyecto sea aceptado (Barta *et al.*, 2010).

El inversionista, invierte teniendo en cuenta dos factores, primero, debe ser tal su ganancia, que compense los efectos inflacionarios, y en segundo término, debe ser un premio o sobre tasa para arriesgar su dinero en determinada inversión. Entonces antes de invertir, siempre hay que tener en cuenta una tasa mínima de ganancia sobre la inversión propuesta llamada Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR) (Ec. 6).

$$TMAR = i + f + (i \cdot f) \quad (6)$$

donde: *i* es la inflación, y *f* es el premio del riesgo.

Los criterios de aceptación de evaluación son: sí el VAN ≥ 0, entonces es aceptable el proyecto; mientras, si el VAN < 0

rejected. Any project with negative NPV becomes underfunded as time passes, and therefore, it is no sustainable.

Likewise, the IRR is the rate that equals the sum of the flows discounted to the initial investment, that is, the NPV is equal to 0. As a criterion it is considered that if the  $IRR > TMAR$ , then the investment is accepted.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Characterization of Biogas Quality in the Biodigesters

The quality of the biogas produced (Table 3) in each of the biodigesters is adequate, since it is within the values established for this type of biomass technology.

se rechaza el proyecto. Cualquier proyecto con VAN negativo se va desfinanciando según transcurre el tiempo y por lo tanto de ninguna manera será sustentable.

Asimismo, El TIR es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial, o sea, el VAN es igual a 0. Como criterio se considera que si el  $TIR > TMAR$ , entonces se acepta la inversión.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de la calidad del biogás en los biodigestores

La calidad del biogás producido (Tabla 3) en cada uno de los biodigestores es adecuada, ya que se encuentra dentro de los valores establecidos para este tipo de tecnología de biomasa.

**TABLE 3. Composition of biogas in the biodigesters**  
**TABLA 3. Composición del biogás en los biodigestores**

Components	Digesters				Average
	1	2	3	4	
CH <sub>4</sub> (%)	64.04±3.2	63.80±2.4	62.0±2.5	63.85±1.9	63.2±1.2
CO <sub>2</sub> (%)	31.05±2.1	32.00±1.5	31.80±2.2	30.00±1.3	31.3±1.1
O <sub>2</sub> (%)	2.60±0.5	1.80±0.3	2.00±0.2	2.30±0.7	2.00.3
H <sub>2</sub> S (ppm)	640.0±21	636.00±24	600.00±41	650.00±36	631.5

It is important to point out that the methane concentration values are excellent for use in domestic cookers, which coincide with what Guardado (2007) proposes. However, the H<sub>2</sub>S values are slightly high, which implies that maintenance of the purification system is necessary to avoid the hydrogen sulfide formation and the accelerated corrosion of the metallic elements of the cookers.

Table 4 shows the results of the daily biogas measurements in each of the biodigesters for 5 days. It is observed that the average daily gas production value is 101.48 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>. Considering it is very unlikely that all users are connected and using the maximum capacity of the biogas produced, it is estimated that approximately 100 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> is the theoretical biogas flow to determine the number of users that the distribution network will support.

Es importante significar que los valores de la concentración de metano, son excelentes para el uso en cocinas domésticas coincidiendo con lo planteado por Guardado (2007). No obstante, los valores de H<sub>2</sub>S fueron ligeramente elevados, lo que implica que es necesario realizar un mantenimiento al sistema de purificación para evitar la formación de ácido sulfhídrico y la acelerada corrosión de los elementos metálicos de las cocinas.

La Tabla 4 muestra los resultados de las mediciones diarias de biogás en cada uno de los biodigestores durante 5 días. Se pudo observar que el valor promedio de producción diaria de gas fue de 101,48 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>. Considerando que es muy poco probable que todos los usuarios estén conectados y usando la máxima capacidad del biogás producido. Por tanto, se consideró que aproximadamente 100 m<sup>3</sup> día<sup>-1</sup> es el caudal teórico de biogás para determinar el número de usuarios que soportará la red de distribución.

**TABLE 4. Biogas flow in the digesters**  
**TABLA 4. Caudal de Biogás en los digestores**

Biodigesters	Flow (m <sup>3</sup> /d)					Average
	1	2	3	4	5	
1	24.60	25.03	25.65	24.85	26.00	25.22±0.6
2	25.00	26.85	24.20	25.03	23.65	24.94±.2
3	25.88	25.85	27.02	24.75	26.08	25.91±0.8
4	24.30	25.66	26.01	25.20	25.80	25.39±0.7
<b>Total</b>	<b>99.78</b>	<b>103.39</b>	<b>102.88</b>	<b>99.83</b>	<b>101.53</b>	<b>101.48±1.7</b>

Figure 1 shows the biogas quality measurements made. These measurements were performed on 5 different days in 2 weeks of evaluation.

En la Figura 1 se muestran las mediciones realizadas de la calidad del biogás. Estas mediciones fueron realizadas en 5 días diferentes en 2 semanas de evaluación.

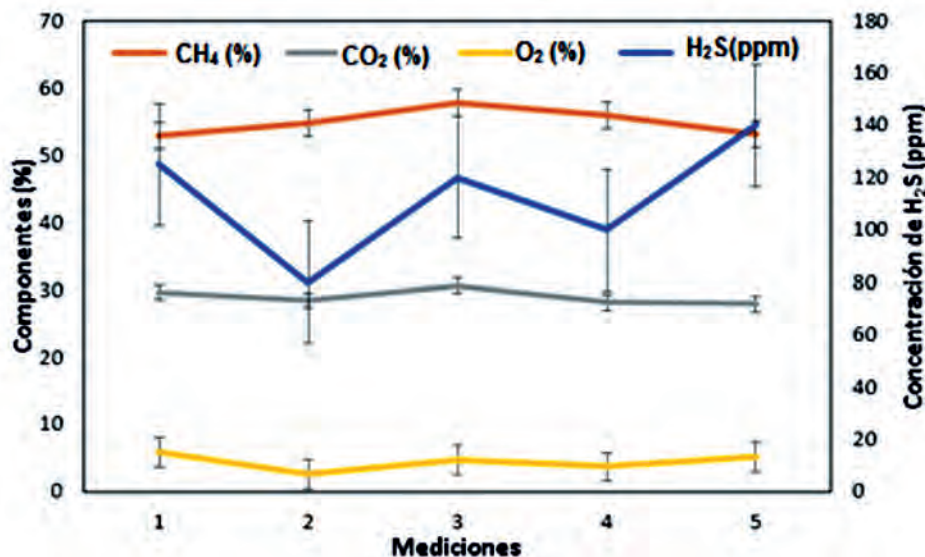


FIGURE 1. Concentration of biogas components in the biodigesters.  
 FIGURA 1. Concentración de los componentes del biogás en los biodigestores.

The variation range of H<sub>2</sub>S is between 80-140 ppm; while the concentrations of CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> & O<sub>2</sub> are between 52.98 – 57.74%, 27.90 – 30.65% and 2.70 – 5.82%, respectively. The variation in the biogas components concentrations shows a fluctuation in its quality during the days evaluated.

The range of H<sub>2</sub>S values shows that the maximum value observed is 140 ppm. These values are far below those obtained by Zapata (1998) where he reported hydrogen sulfide contents between 0.125% and 0.176% (1,250 ppm - 1,760 ppm) in the biogas produced in biodigesters fed with pig manure. An anaerobic biodigester can produce biogas with different proportions in the content of CH<sub>4</sub> & CO<sub>2</sub>, where the percentage of methane will be between 40% and 70%, depending on the organic material with which the biodigester is fed (Duque *et al.*, 2008).

In the stored biogas, a reduction in the concentration of H<sub>2</sub>S and a slight increase in the percentages of methane are observed. These results show that, in the filtration stage, H<sub>2</sub>S removal efficiencies of 50.4% and an improvement in methane concentrations are obtained because of the slight reduction in CO<sub>2</sub>. The literature is contradictory concerning the allowable amount of H<sub>2</sub>S in biogas to operate engines without damage. According to Hanoi Energy Institute specialists' criteria, it should not exceed 50 ppm (Schirmer *et al.*, 2014).

The CO<sub>2</sub> levels remain without significant variation. This result seems to be related to the biogas accumulation in the storage containers, which causes the increase in CH<sub>4</sub> levels, in addition to the effect of the filters used. (Quesada *et al.* 2007) reported similar results, where an electrical energy generation system from biogas is evaluated.

### Gas Distribution Network

The Technical group proposes the branched network design considering the following advantages:

- i) Better technical operation and maintenance according to the established priorities.

El rango de variación del H<sub>2</sub>S estuvo entre 80 – 140 ppm; mientras las concentraciones de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> estuvieron entre 52,98 – 57,74 %, 27,90 – 30,65 % y 2,70 – 5,82 %, respectivamente. La variación de las concentraciones de los componentes del biogás muestra una fluctuación en la calidad del mismo durante los días evaluados.

El rango de valores del H<sub>2</sub>S muestra que el valor máximo observado fue de 140 ppm. Estos valores se encuentran muy por debajo de los obtenidos por Zapata (1998) donde reportó contenidos de ácido sulfhídrico entre 0,125 % y 0,176 % (1 250 ppm – 1 760 ppm) en el biogás producido en biodigestores alimentados con estiércol de cerdo. Un biodigester anaerobio puede producir biogás con diferentes proporciones en el contenido de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, donde el porcentaje de metano estará entre 40 % y 70 %, dependiendo del material orgánico con el que se alimenta el biodigester (Duque *et al.*, 2008).

Una reducción de la concentración de H<sub>2</sub>S y un leve incremento en los porcentajes de metano en el biogás se observó en el biogás almacenado. Estos resultados muestran que, en la etapa de filtración, se obtienen eficiencias de eliminación de H<sub>2</sub>S del 50,4 % y una mejora en las concentraciones de metano debido a la leve reducción del CO<sub>2</sub>. La literatura es contradictoria en cuanto a la cantidad permisible de H<sub>2</sub>S en el biogás para operar motores sin que sufran daños. Según el criterio de los especialistas del Instituto de Energía de Hanoi, no debe sobrepasar las 50 ppm (Schirmer *et al.*, 2014).

Los niveles de CO<sub>2</sub> permanecieron sin una variación significativa. Este resultado parece que está relacionado con la acumulación del biogás en los depósitos de almacenamiento, lo que motiva el incremento de los niveles del CH<sub>4</sub>, además del efecto de los filtros utilizados. Resultados similares a este estudio fueron reportados por (Quesada *et al.* 2007), donde evaluaron un sistema de generación de energía eléctrica a partir de biogás.

### Red de distribución de gas

El grupo técnico propuso el diseño de la red ramificada considerando las siguientes ventajas: i) mejor operación técnica

- ii) Due to the layout of the houses, it is the most economically attractive variant.
- iii) The highest-pressure values are obtained at the critical points, which are the furthest points from the network, reaching values of 120 mm c.a., sufficient for the work of the cookers.

### Energy and Environmental Impact of the Distribution Network in the Community

Before the current proposal for the use of biogas through a distribution network, the most widely used energy sources for cooking on the farm and households were electricity and firewood. For this reason, a study of energy consumption is carried out to determine electricity consumption taking into account the groupings of homes by priorities. For this, the information provided by the municipal electricity company is used. It includes a history of electricity consumption in each home in the selected period, from January to December 2019.

López & Suárez (2018) report that the biogas network installation allows reducing between 30 and 60% the electric power consumption in all of the houses. Taking this result into account, the reduction of the electric consumption in the 50 houses selected is calculated (Figure 2).

y mantenimiento de acuerdo a las prioridades establecidas; ii) debido a la disposición de las viviendas, la red ramificada es la variante económicamente más atractiva; y iii) se obtuvieron los mayores valores de presión en los puntos críticos, los cuales son los puntos más alejados de la red, alcanzando valores de 120 mm c.a., suficientes para el trabajo de las cocinas.

### Impacto energético y ambiental de la red de distribución en la comunidad

Antes de la presente propuesta del uso de biogás mediante una red de distribución, las fuentes energéticas más utilizadas para cocinar en la finca y en las viviendas eran la electricidad y la leña. Por esta razón se efectuó un estudio del consumo energético en las viviendas para determinar el gasto eléctrico tomando en cuenta las agrupaciones de viviendas por prioridades. Para esto, se utilizó la información brindada por la empresa eléctrica municipal. Información que comprendió un historial del consumo de electricidad en cada vivienda en el periodo de tiempo seleccionado, desde enero hasta diciembre de 2019.

López & Suárez (2018) se reportaron que la instalación de la red de biogás permitió reducir el consumo de energía eléctrica en todas las viviendas entre un 30 y 60 %. Teniendo en cuenta ese resultado, se realizó el cálculo de la reducción del consumo eléctrico en las 50 viviendas que fueron seleccionadas para ser beneficiadas (Figura 2).

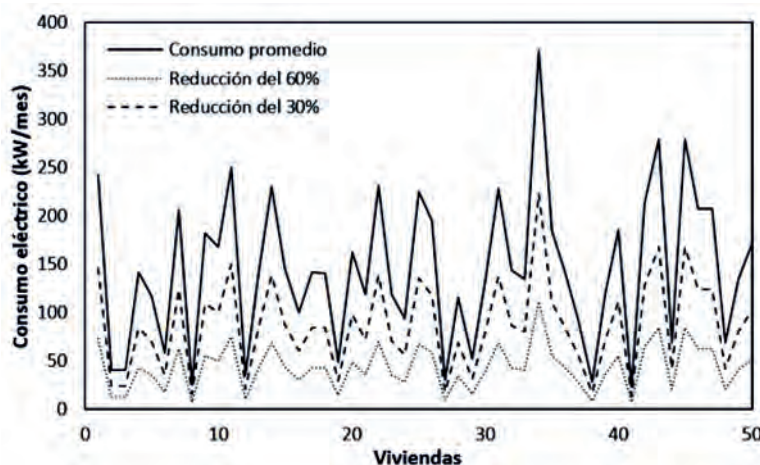


FIGURE 2. Behavior of electricity consumption in homes considering reductions between 30% - 60% in consumption.  
FIGURA 2. Comportamiento del consumo eléctrico en las viviendas y considerando reducciones entre 30 % - 60 % del consumo.

When analyzing electricity consumption by groups of dwellings, according to the defined priority levels considering reductions in electricity costs between 30% - 60%, it can be stated that the use of the biogas network in the community El Almirante, will allow obtaining the following energy consumption benefits. i) the electricity consumption of the 50 households has an average value of 6,977 kW/month, and considering the reduction abovementioned on account of cooking, consumption will decrease between 2 093 kW / month and 4 186 kW/month. ii) Once the distribution network has been installed, the current average electricity consumption per household of 139 kW/month will decrease to a range between 41 kW/month and 83 kW/month; iii) the network will reduce energy consumption in each house between 55 kW / month and 97 kW/month.

Al analizar el consumo eléctrico por agrupaciones de viviendas según los niveles de prioridad definidos, considerando reducciones del gasto eléctrico entre el 30 % - 60 % se puede afirmar que el uso de la red de biogás en la comunidad del Almirante, permitirá obtener los siguientes beneficios energéticos: i) el consumo eléctrico de las 50 viviendas tienen un valor promedio de 6 977 kW/mes, y considerando una reducción del consumo eléctrico en las viviendas entre el 30 % - 60 % por la cocción de alimentos, permitirá disminuir el consumo entre 2 093 kW/mes y 4 186 kW/mes; ii) instalada la red de distribución, el actual consumo eléctrico promedio por vivienda de 139 kW/mes disminuirá hasta un rango entre 41 kW/mes y 83 kW/mes; iii) la red permitirá reducir entre 55 kW/mes y 97 kW/mes el consumo energético en cada vivienda.



However, in the visits made it was evidenced the use of firewood in several households to cook in order to save electricity. Therefore, the biogas supply could positively influence the life quality of these inhabitants. On the other hand, the daily cooking of food with firewood for 15 workers on the farm generates smoke and significantly affects working conditions. Likewise, the expenses for the search, preparation and transportation of firewood are high, so there will be financial resources saving and a significant impact on workers' wages.

There are also other important environmental impacts: i) Stopping the felling of 24 ha/year by the daily consumption of 100 m<sup>3</sup> of biogas for cooking food. ii) Reducing the emission of 59.8 t of CO<sub>2</sub> eq/year, that is, 1 255 t of methane. iii) Producing approximately 4 t/year of anaerobic digested, used as organic fertilizers for the improvement and fertilization of soils. iv) Developing the hygienic-sanitary conditions of the cookers in both the farm and the 50 homes. v) Enhancing the 15-employees' working conditions by replacing firewood with biogas. vi) Ameliorating the quality of life of 149 inhabitants.

### Economic Analysis

The project financial feasibility analysis is made under the three most used indicators for this type of study: NPV, IRR and the investment recovery index (IR).

These indicators are considered taking into account the average range of savings in electricity consumption resulting from the application of this technology, already systematized in different investigations (Abbasi *et al.*, 2012; Garfí *et al.*, 2016; Masebinu *et al.*, 2018).

Table 5 shows the economic analysis of the biodigesters investment and the biogas distribution network. In general, for the two cases analyzed (reduction of electricity consumption between 30% and 60%) the implementation of the project is feasible. The financial indicators NPV and IRR show favorable results; moreover, as energy savings increase, the expected results improve.

No obstante, en las visitas realizadas se evidenció que en varias viviendas la cocción de alimentos se realiza mediante leña, con el objetivo de ahorrar electricidad. Por tanto, se considera que el suministro de biogás pudiera impactar positivamente en la calidad de vida de esos habitantes. Por otro lado, la cocción diaria de alimentos para 15 trabajadores en la finca se realiza mediante el uso de leña, cuya combustión genera humo y afecta notablemente las condiciones de trabajo. Asimismo, los gastos para la búsqueda, preparación y transportación de la leña son elevados, lo que permitirá un ahorro de recursos financieros y un impacto significativo en los salarios de los trabajadores.

También existen otros impactos ambientales importantes: i) el consumo diario de 100 m<sup>3</sup> de biogás para la cocción de alimentos permite dejar de talar 24 ha/año; ii) se puede evitar la emisión de 59,8 t de CO<sub>2</sub> eq/año, o sea, 1 255 t de metano; iii) se pueden producir aproximadamente 4 t/año de digeridos anaerobios, los cuáles se pueden utilizar como fertilizantes orgánicos para la mejora y fertilización de los suelos; iv) mejoran las condiciones higiénico-sanitarias de la cocina de la finca y de las 50 viviendas; v) se humaniza el trabajo de 15 personas (hombres y mujeres) que laboran en la finca por la sustitución de la leña por biogás; y vi) se mejora la calidad de vida de 149 habitantes.

### Análisis económico

Para el análisis de la factibilidad financiera del proyecto se consideraron los tres indicadores más utilizados para este tipo de estudios: VAN, TIR y el índice de recuperación de la inversión (IR).

Se consideraron estos indicadores teniendo en cuenta el rango promedio de ahorro del consumo eléctrico, resultado de la aplicación de esta tecnología la cual ha sido sistematizado en diferentes investigaciones (Abbasi *et al.*, 2012; Garfí *et al.*, 2016; Masebinu *et al.*, 2018).

La Tabla 5 muestra el análisis económico de la inversión de los biodigestores y la red de distribución de biogás. De forma general, para los dos casos analizados (reducción del consumo eléctrico entre un 30 % y 60 %) es factible la implementación del proyecto. Los indicadores financieros VAN y TIR mostraron resultados favorables; además, de manera general, a medida que se incrementa el ahorro de energía se mejoran los resultados esperados.

**TABLE 5. Economic analysis of the investment**  
**TABLA 5 Análisis económico de la inversión**

Indicador	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Biodigester cost 11	50 000	-	-	-	-
Biodigester cost 2	50 000	-	-	-	-
Biodigester cost 3	50 000	-	-	-	-
Biodigester cost 4	50 000	-	-	-	-
Network installation cost	20 000	-	-	-	-
Total investment cost	220 000	-	-	-	-
Useful life (years)	20	-	-	-	-
Taxes (%)	0	0	-	-	-
Interest rate (%)	0	0	-	-	-
Electricity cost (CUP/kW h)	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25
Energy no longer consumed (30%) (kW h/month)	2 093	2 093	2 093	2 093	2 093

Indicador	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Energy no longer consumed (60%) (kW h/month)	4,186	4,186	4,186	4,186	4,186
Savings for OBE (30%) (kW h/year)	25,116	25,116	25,116	25,116	25,116
Savings for OBE (60%) (kW h/year)	50,232	50,232	50,232	50,232	50,232
Average savings in homes (30%) (kW h/month)	41	41	41	41	41
Average savings in homes (60%) (kW h/month)	83	83	83	83	83
Savings from wood replacement (CUP/year)	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
Total savings (30%) (CUP/year)	146,859	146,859	146,859	146,59	146,859
Total savings (60%) (CUP/year)	278,718	278,718	278,718	278,718	278, 718
Depreciation (Year)	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000
Savings-Depreciation (Cash Flow) (30%) (CUP/year)	135, 859	135,859	135, 859	135,859	135,859
Savings-Depreciation (Cash Flow) (60%) (CUP/year)	267,718	267,718	267,718	267,718	267,718
Accumulated cash flow (60%) (CUP/year)	-84,141	51,718	187,577	323,436	459,295
Accumulated cash flow (60%) (CUP/year)	47,718	315,436	583,154	850,872	1,118,590
NPV (30%)	295				
	012.5				
IRR (30%)	326%				
NPV (60%)	393				
	276.9				
IRR (60%)	1,225%				

The total cost of the investment, which includes the cost of the four biodigesters, the biogas filtration system and the distribution network is 220,000 CUP; while the total expected savings per year of operation of the biogas distribution network is between 146,859 CUP and 278,718 CUP, for saving values of 30% and 60%, respectively. For both values, the investment recovery is between the first and second year of the system operation. In addition, both NPV values are greater than zero, indicating that the investment is justified from an economic point of view.

According to López & Suárez (2018), the total investment cost of two biodigesters and a biogas distribution network, which supplies 110 inhabitants for cooking tasks, with a value of 121,213 CUP is recovered by the end of the second year of operation. The authors conclude that the NPV is superior to zero for all the variants evaluated, evidencing the validation of the investment from the economic point of view, allowing the rapid recovery of the investment. This work achieves similar results.

## CONCLUSIONS

- The amount of substratum to be fermented requires a volume of approximately 360 m<sup>3</sup> of digestion, which would allow the generation of more than 200 m<sup>3</sup> of biogas daily.
- The current total volume of the treatment system requires an increase of 100 m<sup>3</sup>; however, the 100 m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup> of biogas generated by the four biodigesters built allows providing gas to 149 people who live in the 50 homes closest to the farm.
- The efficiency of the filtration system is adequate; however, the iron filings contained in the tanks require periodic re-

El costo total de la inversión, el cual incluye el costo de los cuatro biodigestores, el sistema de filtración de biogás y la red de distribución es de 220 000 CUP; mientras que el ahorro total esperado por año de explotación de la red de distribución de biogás ronda entre 146 859 CUP y 278 718 CUP, para valores de ahorro de 30 % y 60 %, respectivamente. Para ambos valores, la inversión se recupera entre el primer y segundo año de explotación del sistema; además ambos valores de VAN fueron mayores que cero, indicando que la inversión se justifica desde el punto de vista económico

Según López & Suárez (2018), el costo de total de inversión de dos biodigestores y una red de distribución de biogás, que abastece para labores de cocción a 110 habitantes, con un valor de 121 213 CUP fue recuperado al final del segundo año de explotación. Los autores concluyeron que el VAN fue mayor que cero para todas las variantes evaluadas, por lo que la justificación de la inversión fue evidenciada desde el punto de vista económico, permitiendo la rápida recuperación de la inversión. Resultados similares fueron alcanzados en este trabajo.

## CONCLUSIONES

- La cantidad de sustrato a fermentar requiere un volumen de aproximadamente 360 m<sup>3</sup> de digestión, lo cual permitiría generar diariamente más de 200 m<sup>3</sup> de biogás por día.
- El actual volumen total del sistema de tratamiento requiere un incremento de 100 m<sup>3</sup>; no obstante, los 100 m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup> de biogás que generan los cuatro biodigestores construidos permiten proveer de gas a 149 personas que habitan en las 50 viviendas más cercanas a la finca.
- La eficiencia del sistema de filtración es adecuada; sin embargo, las virutas de hierro contenidas en los depósitos

- activation, approximately every 3 months, in order not to reduce the purifying capacity of the filters.
- For this study, the branched biogas distribution network presents several advantages compared to a circular distribution network according to the six established priority orders.
  - Biogas distribution networks have important environmental and social benefits; likewise, the favorable results of the financial indicators show the economic feasibility of these systems considering how significant electrical energy saving is to these houses.
- requieren una periódica reactivación, aproximadamente cada 3 meses, con la finalidad de que no disminuya la capacidad depuradora de los filtros.
- Para este estudio, la red de distribución de biogás ramificada presenta varias ventajas comparadas con una red de distribución circular de acuerdo a los seis órdenes de prioridades establecidos.
  - Las redes de distribución de biogás tienen importantes beneficios ambientales y sociales; asimismo, los favorables resultados de los indicadores financieros indican la factibilidad de económica de esos sistemas considerando lo significativo que representa el ahorro de energía eléctrica en las viviendas.

## REFERENCES

- ABBASI, T.; TAUSEEF, S.; ABBASI, S.: *Biogas energy*, Ed. New York: Springer Verlag, 2012.
- ARGOTA, P. D.: “Estudio de las principales cargas eléctricas del sector residencial en Cuba”, *Ciencia & Futuro*, 3(3): 11-25, 2013.
- BARTA, Z.; RECZEY, K. ZACCHI, G.: “Techno-economic evaluation of stillage treatment with anaerobic digestion in a softwood-to-ethanol process”, *Biotechnology for Fuels*, 3: 21, 2010.
- BEKKERING, J.; BROEKHUIS, A. A.; GEMERT, W. J. T. V.: “Optimisation of a green gas supply chain – A review”, *Bioresource Technology*, 101: 450-456, 2010.
- DÍAZ-TRUJILLO, L. A.; NÁPOLES-RIVERA, F.: “Optimization of biogas supply chain in Mexico considering economic and environmental aspects”, *Renewable Energy*, 139: 1227-1240, 2019.
- DUQUE, C.; GALEANO, C.; MANTILLA, J.: *Plug flow biodigester evaluation [en línea] Disponible en: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd18/4/duqu18049.htm> [Consulta: 14 de marzo de 2016]*.
- GARFÍ, M.; MARTÍ-HERRERO, J.; GARWOOD, A.; FERRER, I.: “Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60: 599-614, 2016.
- GUARDADO, C. J. A.: *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*, Ed. Editorial Cubasolar, Ciudad de la Habana, Cuba, 2007.
- KAUR, H.; SOHPAL, V. K.; KUMAR, S.: “Designing of Small Scale Fixed Dome Biogas Digester for Paddy Straw”, *INTERNATIONAL JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY RESEARCH*, 7(1): 422-431, 2017.
- KHISHTANDAR, S.: “Simulation based evolutionary algorithms for fuzzy chance-constrained biogas supply chain design”, *Applied Energy*, 236: 183-195, 2019.
- LÓPEZ, S. A.; SUÁREZ, H. J.: “Experiencia de suministro de biogás en una comunidad rural, en Cuba”, *Pastos y Forrajes*, 41(1): 67-73, 2018.
- MASEBINU, S. O.; AKINLABI, E. T.; MUZENDA, E.; ABOYADE, A. O.; MBOHWA, C.: “Experimental and feasibility assessment of biogas production by anaerobic digestion of fruit and vegetable waste from Joburg Market”, *Waste Management*: 2018.
- QUESADA, R.; SALAS, N.; ARGUEDAS, M.; BOTERO, R.: “Generación de energía eléctrica a partir de biogás”, *Tierra Tropical*, 3(2): 227-235, 2007.
- RAJENDRAN, K.; ASLANZADEH, S.; TAHERZADEH, M. J.: “Household biogas digesters: a review”, *Engineering*, 5: 2911-2942, 2012.
- SCHIRMER, W. N.; JUCÁ, J. F. T.; SCHULER, A. R. P.; HOLANDA, S.; JESUS, L. L.: “Methane production in anaerobic digestion of organic waste from Recife (Brazil) landfill: evaluation in refuse of different ages”, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 31(2): 373-384, 2014.
- ZAPATA, A.: *Utilización de biogás para la generación de electricidad [en línea] Disponible en: <http://www.cipav.org.co/cipav/resrch/energy/alvarol.htm> [Consulta: 23 de octubre de 2015]*.
- ZHANG, Q.; HU, J.; LEE, D. J.: “Biogas from anaerobic digestion processes: Research updates”, *Renewable Energy*, 98: 108-119, 2016.

Wernel Rondón-Capote, Ing. Cooperativa de Crédito y Servicios José Nemesio Figueredo, Río Cauto, Granma, Cuba, e-mail: [bayamo2009@gmail.com](mailto:bayamo2009@gmail.com) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2377-9515>

Alain Ariel de la Rosa-Andino, Prof. Titular. Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Técnicas, Dpto. de Ingeniería Mecánica, Carretera a Manzanillo, km 17 ½, Peralejo-Apartado 21-Bayamo, M. N. Código Postal 85149, Provincia Granma, Cuba. e-mail: [arosaa@udg.co.cu](mailto:arosaa@udg.co.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6593-8583>

Yusimit Karina Zamora-Hernandez, Prof. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Dpto. de Ingeniería Mecánica, Quevedo, Ecuador., e-mail: [yzamorah@uteq.edu.ec](mailto:yzamorah@uteq.edu.ec) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0112-0161>

Yoandrys Morales-Tamayo, Prof. Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Dpto. Ingeniería Electromecánica, Extensión La Maná, Ecuador, e-mail: [yoandrys.morales@utc.edu.ec](mailto:yoandrys.morales@utc.edu.ec) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-7456-1490>

Idalberto Macías-Socarrás, Prof., Universidad Estatal Península de Santa Elena, Avenida Principal La Libertad-Santa Elena, La Libertad, e-mail: [imacias@upse.edu.ec](mailto:imacias@upse.edu.ec) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3512-7098>

Laida Figueroa-Rodríguez, Prof. Asistente, Universidad de Granma, Facultad de Humanidades, Manzanillo, Granma, Cuba, e-mail: [lfigueroar@udg.co.cu](mailto:lfigueroar@udg.co.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2638-7536>

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.