

# Factibilidad de la tecnología de biodigestión anaerobia adecuada para un agroecosistema lechero



<https://cu-id.com/2177/v32n3e04>

## Feasibility of the Adequate Anaerobic Biodigestion Technology for a Dairy Agroecosystem

✉ Yanoy Morejón-Mesa\*, ✉ Darielis Vizcay-Villafranca,  
✉ Ramón Pelegrín-Rodríguez, ✉ Malgreter Noguera

Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

**RESUMEN:** La presente investigación se orienta en la determinación de la factibilidad económica, ambiental y energética de la tecnología de biodigestión anaerobia adecuada para un agroecosistema lechero, establecido en la Granja Universitaria “El Guayabal”, perteneciente a la Universidad Agraria de la Habana. Para ello se determina la especie animal existente en el escenario, dado que aportará los residuos orgánicos hacia el biodigestor, también se determina la cantidad de animales, considerándose el movimiento de rebaño, lo cual posibilitaría determinar la biomasa generada diariamente con el propósito de establecer el dimensionamiento de la tecnología de biodigestor adecuada y conocer el comportamiento de los parámetros económicos y energéticos. Entre los principales resultados obtenidos, se evidenció que la instalación de un biodigestor tubular de polietileno resulta más factible que la instalación de un biodigestor de cúpula fija, significando un ahorro económico de 19 796 peso por concepto de selección de la tecnología; el volumen necesario de esta tecnología debe ser de 20 m<sup>3</sup>, siendo posible producir 190 kg/día de biofertilizantes, que representan un aporte económico de 2 375 peso (95 USD) constituyendo un valor agregado, además de los beneficios energéticos y económicos a obtener. Además, con la introducción de la tecnología de biodigestión anaerobia seleccionada es posible generar energía eléctrica para el accionamiento de: un molino forrajero, un sistema de refrigeración, un sistema de ordeño mecánico, luminarias, cercado eléctrico y un sistema bombeo de agua, requiriéndose para ello de la adquisición de un generador de biogás de 35 kW de potencia.

**Palabras clave:** energía renovable, producción lechera, digestión anaerobia, factibilidad energética, impacto ambiental.

**ABSTRACT:** The present investigation is oriented towards the determination of the economic, environmental and energetic feasibility of the anaerobic biodigestion technology suitable for a dairy agroecosystem, established in "El Guayabal" University Farm, belonging to the Agrarian University of Havana. For this, animal species existing in the scenario is determined, since it will contribute the organic waste to the biodigester. The number of animals is also determined, considering the movement of the herd, which would make it possible to determine the biomass generated daily with the purpose of establishing the sizing of the appropriate biodigester technology and knowing the behavior of the economic and energy parameters. Among the main results obtained, it was evidenced that the installation of a tubular polyethylene biodigester is more feasible than the installation of a fixed dome biodigester, meaning an economic saving of 19,796 pesos for the concept of technology selection. The necessary volume of this technology must be 20 m<sup>3</sup>, making it possible to produce 190 kg/day of biofertilizers, which represent an economic contribution of 2,375 pesos (95 USD) constituting an added value, in addition to the energy and economic benefits to be obtained. Moreover, with the introduction of the selected anaerobic biodigestion technology, it is possible to generate electrical energy to drive a fodder mill, a refrigeration system, a mechanical milking system, lighting, electric fencing and a water pumping system, all which require the acquisition of a 35 kW biogas generator.

**Keywords:** Renewable Energy, Dairy Production, Anaerobic Digestion, Energy Feasibility, Environmental Impact.

\*Autor para correspondencia: Yanoy Morejón-Mesa, e-mail: [ymorejon83@gmail.com](mailto:ymorejon83@gmail.com) o [yymm@unah.edu.cu](mailto:yymm@unah.edu.cu)

Recibido: 03/02/2023

Aceptado: 24/06/2023

## INTRODUCCIÓN

El mundo actual enfrenta dos problemas básicos para la existencia y el progreso futuro de la humanidad: La detención de la creciente contaminación ambiental y la búsqueda y obtención de nuevas fuentes de energía ([Guardado-Chacón, 2006](#)). La única forma de contar con un futuro energético seguro es hallar una vía ambientalmente sostenible para producir y utilizar la energía. Si no se da respuesta a las preocupaciones de la sociedad sobre la energía y el medio ambiente natural, peligrará el suministro energético constante y seguro del que dependen las economías ([Priddle, 1999](#)). Resulta necesario aprovechar las fuentes renovables de energía basadas en la mejor utilización de los recursos locales que, mediante la mejor utilización de las tecnologías apropiadas contribuyan al ahorro de combustible convencional y sirvan para devolver al suelo los nutrientes que este necesita y preserven el medio ambiente de la contaminación ([Santos-Abreu et al., 2011](#)).

Un claro ejemplo de las fuentes de energía renovable es la biomasa, término que se refiere a toda la materia orgánica generada a partir de la fotosíntesis o bien producida por la cadena trófica. Y como materia prima para procesos de reciclaje: tiene como origen las heces y orines recién expulsados (excremento animal), los cuales están constituidos por el sobrante del alimento ya digerido, pero no utilizado por el organismo, aparte se le suman desperdicios como camas, residuos de comida o material añadido ([Grundey y Juanos, 1982](#)).

La digestión anaerobia constituye una buena alternativa para tratar residuos con elevada materia orgánica biodegradable ([Flotats-Ripoll et al., 2001](#); [Sosa, 2017](#)). Por lo tanto, este tratamiento está indicado para aguas residuales agroindustriales, con alta carga de materia orgánica biodegradable: vertidos procedentes de la producción de azúcar, alcohol, cármicos, papel, conservas y destilerías ([Rahayu et al., 2015](#); [Suárez-Hernández et al., 2018](#)); residuos agropecuarios, como purines, estiércol ([Bansal et al., 2017](#)); y residuos urbanos que comprenden tanto la fracción orgánica de los residuos sólidos [Biogas Association \(2016\)](#) como los lodos de depuradora de aguas residuales urbanas ([Frankiewicz, 2015](#)).

Precisamente el biodigestor es antropogénicamente (producido por actividad humana) la tecnología a destacar en el proceso biotecnológico de digestión anaeróbica de biomasa para obtener biogás. Es un reactor hermético con una entrada lateral para la materia orgánica, un escape en la parte superior por donde fluye el biogás, y una salida para la obtención de efluentes con propiedades biofertilizantes, contribuyendo ambos productos a resolver las necesidades de los productores y al fomento de la agricultura orgánica, como una alternativa

económicamente factible y ecológicamente sustentable ([Zheng et al., 2012](#)).

A estos aspectos habría que agregar los altos precios de los combustibles y las elevadas tarifas locales de la energía eléctrica, siendo factores a considerar para la introducción de biodigestores o plantas de biogás a nivel nacional y regional que produzcan energía a partir del uso de los desechos de la producción agropecuaria ([Parra-Ortiz et al., 2019](#)).

Considerándose los criterios anteriormente descritos, en la Granja Universitaria "El Guayabal" localizada en la capital San José de las Lajas, de la provincia Mayabeque, Cuba, se realizó el estudio de la factibilidad de la tecnología de biodigestión anaerobia adecuada a introducir en un agroecosistema lechero, con el objetivo de producir biogás y biofertilizantes.

## MATERIALES Y METODOS

La vaquería 021 de la Granja Universitaria "El Guayabal", perteneciente a la Universidad Agraria de La Habana (UNAH), se encuentra ubicada a los 23°00'12.5" latitud Norte, y 82°09'57.9" longitud Oeste en el municipio San José de Las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba. Limita al noroeste con la Vaquería 023, al noreste con la Autopista Nacional, al sureste con la Vaquería 025 y al suroeste con la Vaquería 022. El área total es de 36 ha, con suelo Ferralítico Rojo típico según [Hernández-Jiménez et al. \(2019\)](#) en toda su extensión. Tiene un relieve llano, altura sobre el nivel del mar de 120 m e insolación anual de 1825kWh/m<sup>2</sup>. Las variables meteorológicas registradas durante el periodo 2015-2021 en la Estación Meteorológica Tapaste ([Figura 1](#)), mostraron que las temperaturas máximas alcanzadas en la región superaron los 26 °C entre los meses de junio a septiembre y las más frías descendieron como promedio hasta 20,76 °C en enero. Las precipitaciones manifestaron incrementos a partir de mayo, e indicaron los valores medios más elevados en junio y agosto con 255,50 y 245,16 mm, respectivamente. La humedad relativa varió entre 72,8% (mínimo, en marzo) y 84,6% (máximo, en diciembre), mientras que la velocidad del viento expresó su tope máximo de 5,46 km/h durante el mes de febrero. El comportamiento de estas variables climáticas permite desarrollar satisfactoriamente la ganadería lechera.

Como resultado del estudio, se analizó el consumo de energía eléctrica en la vaquería 021 durante el año 2021, pudiéndose constatar que se obtiene un alto consumo promedio mensual equivalente a 3 102,083 kWh.

La vaquería dispone de 34 vacas en ordeño, las que alcanzaron una producción promedio de leche diaria durante el 2021, de 7,4 L/vaca, por lo que diariamente esta vaquería posee un potencial productivo de 251,6 L/día.

Los medios y equipos existentes en el escenario objeto de estudio, así como el tiempo de operación de los mismos, lo que posibilita conocer el consumo de energía por operación, así como el porcentaje de representación de cada fuente energética, estos resultados se reflejan en la [Tabla 1](#).

De modo que en esta vaquería se consumen diariamente 102,85 kWh de energía eléctrica, elemento que demuestra el alto consumo de este escenario productivo, es válido señalar que solo por concepto de bombeo de agua se consume el 62,9% de la energía consumida.

### Metodología para el dimensionamiento e instalación de biodigestores anaerobios

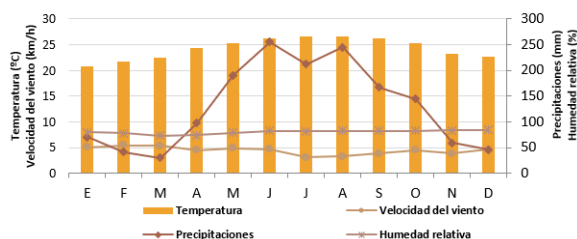
Para el cálculo de los parámetros de diseño de un biodigestor anaerobio, es necesario conocer los datos de entrada, y los que deben ser determinados ([Tabla 2](#)).

La cantidad diaria de material ( $Bm_d$ ) 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.

La cantidad de biomasa diaria generada ( $Bm_d$ ), se determina a través de la siguiente expresión:

$$Bm_d = Ca \times Ce \times Rp \times Rt, \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1} \quad (1)$$

donde:  $Ca$ - Cantidad de animales;  $Ce$ -Cantidad de excreta por animal, kg/día;  $Rp$ - Relación entre el peso vivo promedio de la población animal y el peso vivo



**FIGURA 1.** Promedios mensuales de las variables climáticas en la Vaquería 021, periodo 2015-2021.

Fuente: Estación Meteorológica de Tapaste.

equivalente tabulado;  $Rt$ - Fracción entre el tiempo de estabulación respecto a la duración del día, h/día

$$Bm_d = Ca \times Ce \times \left(\frac{PVp}{PVe}\right) \times \left(\frac{Te}{24h}\right), \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1} \quad (2)$$

donde:  $PVp$ -Peso vivo promedio de la población animal, kg;  $PVe$ - Peso vivo equivalente tabulado;  $Te$ - Horas del día que el animal permanece estabulado, h/día

El volumen diario de material (mezcla estiércol y agua) ( $V_{dm}$ ), no es más que la suma del residual y la dilución de la biomasa (residual y agua).

$$Vdm = (1 + N) \cdot Bmd, \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1} \quad (3)$$

donde:  $N$ : Proporción excreta-agua,  $\text{kg L}^{-1}$ , se requiere conocer que la densidad del agua es:  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

Mientras, el volumen del biodigestor ( $V_{biodig}$ ) se calcula teniéndose en cuenta el valor del volumen de material (mezcla estiércol y agua)  $V_{dm}$  que entra al biodigestor y el tiempo de retención TRH.

**TABLA 1.** Características energéticas de los medios y equipos eléctricos existentes en la vaquería 021

Medios y equipos eléctricos	Potencia, kW	Tiempo de operación, h	Energía consumida por día, kWh/día	%
Molino forrajero	5,5	1,0	5,5	5,34
Bomba de agua	18,5	3,5	64,75	62,95
Sistema de refrigeración	4,0	4,0	16	15,55
Sistema de ordeño mecanizado	5,0	3,0	15	14,58
Cerca eléctrica	0,04	10,0	0,4	0,38
Luminarias	0,1	12,0	1,2	1,16
<b>Total</b>			<b>102,85</b>	<b>100</b>

**TABLA 2.** Datos de entrada y salida requeridos para el diseño de un biodigestor anaerobio

Parámetros	Unidad
<b>Datos de entrada</b>	
Cantidad de biomasa diaria generada ( $Bm_d$ )	$\text{kg dia}^{-1}$
Proporción excreta-agua ( $N$ )	$\text{kg L}^{-1}$
Rendimiento de biogás ( $Y$ )	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	día
<b>Datos de salida</b>	
Volumen diario de material (mezcla estiércol y agua) ( $Vdm$ )	$\text{kg dia}^{-1}$
Volumen del biodigestor, ( $V_{biodig}$ )	$\text{m}^3$
Volumen diario de biogás producido ( $G$ )	$\text{m}^3 \text{dia}^{-1}$
Volumen de contención del biogás ( $V_2$ )	$\text{m}^3$
Volumen del tanque de compensación ( $Vtc$ )	$\text{m}^3$

$$V_{biodig} = Vdm TRH, m^3 \quad (4)$$

Posteriormente se procede al cálculo del volumen diario de biogás (G) producido:

$$G = Y \times B_{md}, m^3 \cdot dia^{-1} \quad (5)$$

donde: Y- Rendimiento de biogás,  $m^3 \cdot kg^{-1}$

El rendimiento de biogás (Y), se determina mediante la expresión:

$$Y = \frac{X}{c_e}, m^3 \cdot kg^{-1} \quad (6)$$

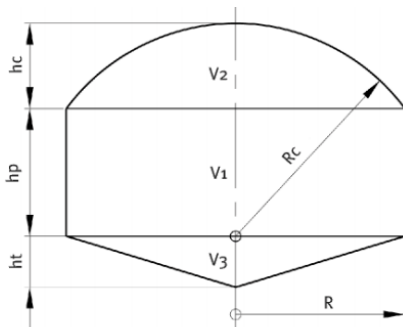
donde: X- coeficiente de conversión energética de la excreta producida diariamente o sea la producción diaria de biogás en función del tipo de residuo orgánico,  $m^3/dia$ .

Para todos los tipos de biodigestores, el volumen del tanque de compensación (Vtc) es equivalente al volumen de gas producido o sea oscila entre el 25... 30% del volumen del biodigestor.

En el caso específico de los cálculos para el dimensionamiento de un biodigestor de cúpula fija (caracterizado por sus tres partes: cónica, cilíndrica y casquete esférico, representado en la [Figura 2](#)), se plantean a continuación.

Los pasos que se deben seguir para su empleo son los siguientes:

- Se calcula el volumen total del biodigestor ( $V_{biodig}$ ), sobre la base del volumen de la mezcla agua-estiércol y el tiempo de retención, tal como se muestra en la [expresión 4](#).
- Se calcula el radio del volumen predefinido (R).



**FIGURA 2.** Principales partes en las que se divide un biodigestor de cúpula fija.

Fuente: [Guardado-Chacón \(2006\)](#).

Para calcular el radio del volumen predefinido (R), se plantea la expresión:

$$R = \sqrt[3]{\frac{V_{biodig}}{\pi \times 1.121}} \quad (7)$$

donde: R- Radio básico, m

Teniéndose el radio del volumen predefinido (R), se procede a determinar la unidad en metros ( $U = R/4$ ).

donde: U - Unidad proporcional

Esta unidad proporcional permite determinar el resto de las denominaciones, sustituyendo U en las proporciones siguientes:

$$Rc = 5 \times U \quad (8)$$

$$D = 8 \times U \quad (9)$$

$$hc = 2 \times U \quad (10)$$

$$hp = 3 \times U \quad (11)$$

$$ht = 0.15 \times D \quad (12)$$

donde: Rc- Radio de la cúpula, m; D- Diámetro, m; hc = Altura de la cúpula, m; hp = Altura del cilindro, m; ht = Altura del cono base, m

A partir de la determinación de los principales parámetros geométricos se procede a determinar los volúmenes correspondientes al cono base, cilindro y segmento esférico de la cúpula:

$$V_1 = \text{Volumencilindro} = R^2 \times hp \times \pi \quad (13)$$

$$V_2 = \text{Volumencúpula} = \frac{\pi \times hc^2}{3} (3R - hc) \quad (14)$$

$$V_3 = \text{Vcono} = R^2 \times \pi \times \left(\frac{ht}{3}\right) \quad (15)$$

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Valoración técnico-económica de la introducción de un biodigestor en las condiciones de la vaquería 021

Para la determinación de la tecnología de biodigestor adecuada a instalar en las condiciones de la vaquería 021, perteneciente a la Granja Universitaria "El Guayabal", se tuvo en consideración el dimensionamiento y costo constructivo de las tecnologías de biodigestor de cúpula fija y tubular de polietileno, para a partir de ese análisis determinar cuál de las dos tecnologías resultaría de mayor factibilidad sobre la base de los costos constructivos o de adquisición en el mercado.

Para el correcto dimensionamiento del biodigestor de cúpula fija se requiere la determinación de los siguientes parámetros:

- Cantidad de biomasa diaria generada ( $B_{md}$ );
- Volumen diario de material (mezcla estiércol y agua) (Vdm);
- Volumen del biodigestor ( $V_{biodig}$ );
- Volumen de la cámara de fermentación ( $V_{cf}$ );
- Volumen del cilindro ( $V_1$ );
- Volumen de contención del biogás ( $V_2$ );
- Volumen del cono base ( $V_3$ );
- Volumen del tanque de compensación (Vtc).

Por otro lado, para la determinación del aporte energético potencial a obtener en función de la

cantidad de animales disponibles se requiere la determinación de los siguientes parámetros:

- Productividad de biogás (Y);
- Volumen diario de biogás (G).

Antes de proceder a las determinaciones antes mencionadas, se debe conocer el movimiento de rebaño en el escenario objeto de estudio, el cual se refleja en la [Tabla 3](#).

Los resultados obtenidos de cada uno de estos parámetros de dimensionamiento, se representan en la [Tabla 4](#), estos valores se obtienen a partir del movimiento de rebaño concebido por la dirección de la granja durante el periodo 2021-2022, representados en la tabla anterior.

Considerándose que, por cada 350 kg de ganado bovino, se obtienen 10 kg de excreta, generándose 0,36 m<sup>3</sup> biogás/día, con una proporción de 1:1-3 de excreta-agua (tomándose una proporción de 1:1) y con un tiempo de retención recomendable de 40 días, lo cual permite determinar el dimensionamiento del biodigestor de cúpula fija para esa especie y cantidad de animales.

A partir de los valores obtenidos en el dimensionamiento del biodigestor de cúpula fija se propone que este biodigestor posea un volumen de 20 m<sup>3</sup>, con el propósito de facilitar el proceso de instalación y adquisición de los materiales necesarios.

Para la determinación del aporte energético, se considera la cantidad de biomasa generada diariamente, el rendimiento de biogás y el volumen diario de biogás ([Tabla 5](#)).

Como se representa en la [Tabla 5](#), el rendimiento de biogás a obtener según la especie es de 0,036m<sup>3</sup>/kg (si se considera la cantidad total de animales se obtienen 1,22 m<sup>3</sup>/kg) y para esa cantidad de animales estabulados es posible obtener un volumen diario de biogás de 8,26 m<sup>3</sup>/día.

Para tener un estimado del costo del proceso constructivo y de instalación del sistema de biodigestor de cúpula fija (sin considerar la mano de

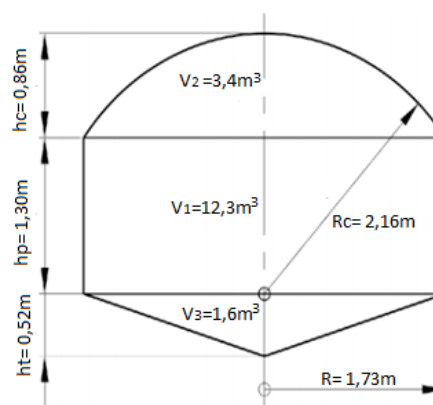


FIGURA 3. Principales dimensiones del biodigestor de cúpula fija propuesto.

obra), en la [Tabla 6](#), se relacionan los materiales requeridos para la construcción e instalación de la tecnología.

En el caso de la variante del biodigestor tubular de polietileno se relacionan los materiales requeridos para la construcción e instalación de la tecnología, en la [Tabla 7](#), para tener un estimado del costo del proceso constructivo y de instalación (sin considerar la mano de obra), para tener mayor exactitud en los valores económicos, se determinaron las principales dimensiones para un biodigestor de 20 m<sup>3</sup>, estas se reflejan en la [Figura 4](#).

Como se puede apreciar en las [Tablas 6 y 7](#), el costo de estas tecnologías no resulta elevado, aunque se aprecian diferencia entre ambas, para lograr una mejor comprensión de los aspectos relacionados con el dimensionamiento de ambas tecnologías, así como el aporte energético a obtener con el biogás producido por la introducción de estas variantes tecnológicas, en la [Tabla 8](#), se resumen estos valores tanto de diseño, como energéticos.

En el caso del biodigestor de cúpula fija, si se considera la inversión requerida por concepto de materiales de la construcción, la cual asciende a un

TABLA 3. Movimiento de rebaño en la vaquería 021 de la Granja “El Guayabal”

Mov. de Rebaño	Existencia Inicial	Existencia Final	Animales/día	Masa Promedio, kg
Vacas	34	34	34	475

TABLA 4. Dimensionamiento del biodigestor de cúpula fija

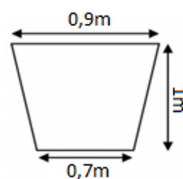
Fuente de materia prima	Animal / día	Masa Promedio, kg	Bm, kg/día	Vdm, m <sup>3</sup> /día	V <sub>biodig</sub> , m <sup>3</sup>	V <sub>1</sub> , m <sup>3</sup>	V <sub>2</sub> , m <sup>3</sup>	V <sub>3</sub> , m <sup>3</sup>	V <sub>cf</sub> , m <sup>3</sup>	V <sub>ce</sub> , m <sup>3</sup>
Vacas	34	475	229,5	0,45	18,4	12,3	3,4	1,6	4,3	4,3

TABLA 5. Aporte energético de la población animal

Fuente de materia prima	Animal / día	Masa Promedio, kg	Bmd, kg/día	Y, m <sup>3</sup> /kg	G, m <sup>3</sup> /día
Vacas	34	475	229,5	0,036	8,26

costo de 34 871 peso y si se analiza este en función del ahorro energético a obtenerse, por concepto de gasolina con una producción equivalente diaria de 6,60 L, a partir del precio de este combustible que equivale a 25 peso, diariamente se tendría un ahorro de 165 peso, por tanto en un año (considerándose 365 días) este ahorro equivaldría a 60 225 peso, lo que evidencia que en tan solo siete meses de funcionamiento se recupera la inversión por concepto de materiales requeridos para la construcción y se obtiene una ganancia de 25 354 peso en lo que resta de año.

De igual forma si se realiza el mismo análisis, pero considerándose el ahorro de energía eléctrica, a partir de generación potencial a obtener con el empleo del biogás, que asciende a 14,86 kWh diariamente y tomándose la tarifa establecida por la Empresa Eléctrica en Cuba:



Dimensiones/Ancho del Rollo (A <sub>R</sub> ), m	
a, m	0,7
b, m	0,9
p, m	1,0
Largo biodigestor, m	14,5

FIGURA 4. Principales dimensiones de la zanja y el biodigestor de tubular de polietileno propuesto.

- Desde 0 kWh hasta 100 kWh: 0,33;
- Desde 101 kWh hasta 150 kWh: 1,07;
- Desde 151 kWh hasta 200 kWh: 1,43;
- Desde 201 kWh hasta 250 kWh: 2,46;
- Más de 250 kWh: 3,12 por cada kWh.

TABLA 6. Listado de materiales para la construcción e instalación del biodigestor de cúpula fija de 20 m<sup>3</sup> propuesto a instalar y costo

Materiales	UM	Cantidad	Precio unitario**, peso/u	Costo, peso*
Cemento	Bolsas	90	183	16 470
Arena	m <sup>3</sup>	6	160	960
Gravilla (38 mm)	m <sup>3</sup>	7	200	1 400
Bloque 15 cm	u	480	10	4 800
Ladrillos macizos	u	650	8	5 200
Acero 3/8	kg	162	10	1 620
Acero 1/4	kg	24	12,5	300
Puntillas	kg	3	50	150
Alambre de amarrar cabillas	kg	5	25	125
Madera para encofrar	m <sup>3</sup>	0,3	120	36
Excavación	m <sup>3</sup>	38	25	950
Relleno	m <sup>3</sup>	18	20	360
Tuberías para captación y conducción de biogás	Accesorios: Uniones, codos, limpiador y pegamento PVC, válvulas de cierre (la cantidad varía en función de la distancia hasta las naves )		1 550	1 550
Tuberías para suministro de excreta	Tubos de 110 mm (4") (2): 5m/cu		300	600
<b>Total</b>				<b>34 871</b>

\*peso: se refiere a la moneda nacional (MN), se considera la tasa de cambio 25 MN = 1 USD

\*\* Precios de los materiales de la construcción establecidos por el Ministerio de Comercio Interior (MINCIN) en Cuba

TABLA 7. Lista de costos de la instalación del biodigestor tubular de polietileno

Materiales	UM	Cantidad	Precio unitario, peso/u	Costo, peso
Módulo de polietileno	m <sup>3</sup>	20	6 250 (por cada 10 m <sup>3</sup> )	12 500
Excavación	m <sup>3</sup>	17	25	425
Tuberías para captación y conducción de biogás	Accesorios: Uniones, codos, limpiador y pegamento PVC, válvulas de cierre (la cantidad varía en función de la distancia hasta las naves )		1 550	1 550
Tuberías para suministro de excreta	Tubos de 110 mm (4") (2): 5m/cu		300	600
<b>Total</b>				<b>15 075</b>

Entonces se tendría un ahorro promedio mensual de 890 peso, lo que significa un ahorro anual equivalente a 10 680 peso, evidenciándose que en tan solo 3,4 años de funcionamiento se recupera la inversión por concepto de materiales requeridos para la construcción, de modo que se tendrían 16,6 años de ganancia, teniéndose en cuenta que la vida útil de un biodigestor de cúpula fija asciende a los 20 años. Estos elementos demuestran la factibilidad económica de la propuesta analizada.

Para el biodigestor tubular de polietileno, la inversión requerida por concepto de materiales de la construcción, esta asciende a un costo de 15 075 peso y si se analiza este en función del ahorro energético a obtenerse, solo por concepto de gasolina con una producción equivalente diaria de 6,60 L, a partir del precio de este combustible que equivale a 25 peso, diariamente se tendría un ahorro de 165 peso, por tanto en un año (considerándose 365 días) este ahorro equivaldría a 60 225 peso, lo que evidencia que en tan solo tres meses de funcionamiento se recupera la inversión por concepto de materiales requeridos para la construcción y se obtiene una ganancia de 45 150 peso en lo que resta de año; este elemento demuestra la factibilidad económica de la propuesta.

De igual forma si se realiza el mismo análisis, pero considerándose el ahorro de energía eléctrica, a partir de generación potencial a obtener con el empleo del biogás, que asciende a 14,86 kWh diariamente y tomándose la tarifa establecida por la Empresa Eléctrica en Cuba:

- Desde 0 kWh hasta 100 kWh: 0,33;
- Desde 101 kWh hasta 150 kWh: 1,07;
- Desde 151 kWh hasta 200 kWh: 1,43;
- Desde 201 kWh hasta 250 kWh: 2,46;
- Más de 250 kWh: 3,12 por cada kWh.

Entonces se tendría un ahorro promedio mensual de 890 peso, lo que significa un ahorro anual equivalente a 10 680 peso, evidenciándose que en tan solo 1,5 años de funcionamiento se recupera la inversión por concepto de materiales requeridos para la construcción, de modo que se tendrían 3,5 años de ganancia, teniéndose en cuenta que la vida útil de un biodigestor tubular de polietileno asciende a los 5 años. Estos elementos demuestran la factibilidad económica de la propuesta analizada.

Resulta válido señalar que el correcto dimensionamiento de este tipo de tecnologías, propicia el aprovechamiento máximo de los desechos obtenidos en los escenarios productivos.

Como se evidencia en la [Tabla 8](#), la instalación de biodigestores en unidades de producción agropecuaria constituye una opción energéticamente viable, a lo cual habría que añadir la contribución a la conservación y cuidado del medio ambiente.

De modo que para adoptar la tecnología de biodigestión en la vaquería objeto de estudio es recomendable desde el punto de vista económico la introducción de un biodigestor tubular de polietileno.

Con la introducción de esta tecnología sería posible:

**TABLA 8.** Dimensionamiento y aporte energético del biogás a obtener con la instalación de la tecnología de biodigestión

Parámetros de dimensionamiento	Biodigestor Cúpula Fija	Biodigestor Tubular de Polietileno
$V_{biodig}$ , m <sup>3</sup>	18,4	18,4
$V_{cf}$ , m <sup>3</sup>	4,3	4,3
$V_{tc}$ , m <sup>3</sup>	4,3	4,3
$V_{gas}$ , m <sup>3</sup>	3,4	3,4
Ancho del rollo (polietileno), m	-	2,0
Largo del rollo (polietileno), m	-	14,5
Base superior zanja, m	-	0,9
Base inferior zanja, m	-	0,7
Altura de la Zanja, m	-	1,0
<b>Parámetros de energéticos</b>		
Y, m <sup>3</sup> /kg		0,036
G, m <sup>3</sup> /día		8,26
<b>Ahorro Energético Potencial</b>		
Energía eléctrica, kWh		14,86
Gas Natural, m <sup>3</sup>		4,95
Carbón vegetal, kg		2,47
Madera, kg		22,30
Gasolina, L		6,60
Alcohol combustible, L		9,90
Aceite combustible, L		5,78
Producción de biofertilizantes kg/día		190,5

- Generar energía eléctrica para el accionamiento de: un molino forrajero, un sistema de refrigeración, un sistema de ordeño mecánico, luminarias, cercado eléctrico y un sistema de bombeo de agua, para lo que se requiere de la adquisición de un generador de biogás de 35 kW de potencia, considerándose todas las fuentes energéticas, si se excluye el bombeo de agua, entonces se requería de un generador de biogás de 16,5 kW de potencia; por otro lado, si se considera la adquisición de un generador de biogás por cada fuente energética, entonces:
  - Para el molino forrajero se requiere de un generador de biogás 5,5 kW de potencia;
  - Para el sistema de refrigeración se requiere de un generador de biogás 4 kW de potencia;
  - Para el sistema de ordeño mecanizado se requiere de un generador de biogás de 5 kW de potencia;
  - Para luminarias y cercado eléctrico se requiere de un generador de biogás de 0,14 kW de potencia.

Según la empresa China Shenzhen Teenwin Environment Co, el precio de estos generadores de biogás oscila entre 550... 1250 USD (13 750... 31 250 peso MN)

- Además, es posible obtener 190 kg/día de biofertilizantes, que representan un aporte económico de 2 375 peso (95 USD), a partir del precio de los biofertilizantes en el mercado internacional que alcanza un valor de 500 USD/t (12 500 peso/t).

### CONCLUSIONES

- Los fundamentos teórico-metodológicos planteados posibilitaron determinar la factibilidad económica, energética y ambiental de la tecnología de digestión anaerobia adecuada a introducir en las condiciones de la vaquería 021 de la Granja Universitaria “El Guayabal”.
- Con la instalación de un biodigestor tubular de polietileno de 20 m<sup>3</sup> es posible producir 190 kg/día de biofertilizantes, que representan un aporte económico de 2 375 peso (95 USD), que constituyen un valor agregado, además de los beneficios energéticos y económicos a obtener.
- Con la introducción de la tecnología de biodigestión anaerobia es posible generar energía eléctrica para el accionamiento de: un molino forrajero, un sistema de refrigeración, un sistema de ordeño mecánico, luminarias, cercado eléctrico y un sistema de bombeo de agua, requiriéndose para ello de la adquisición de un generador de biogás de 35 kW de potencia.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BANSAL, V.; TUMWESIGE, V.; SMITH, J.U.: “Water for small-scale biogas digesters in Sub-Saharan Africa”, *GCB Bioenergy*, 9(2): 339-357, 2017, ISSN: 1757-1693, e-ISSN: 1757-1707, Publisher: Wiley Online Library.
- BIOGAS ASSOCIATION: *Municipal guide to biogas Ottawa, Canada: Biogas Association, [en línea]*, Inst. Biogas Association, Ottawa, Canada, Ottawa, Canada, 4 de junio de 2016, Disponible en: [https://biogasassociation.ca/resources/municipalguide\\_tob\\_iogas](https://biogasassociation.ca/resources/municipalguide_tob_iogas). [04/06/2016].
- FLOTATS-RIPOLL, X.; CAMPOS-POZUELO, E.; PALATSI-CIVIT, J.; BONMATÍBLASI, A.: “Digestión anaerobia de purines de cerdo y codigestión con residuos de la industria alimentaria”, *Porci*, (65): 51-65, 2001, ISSN: 1130-8451.
- FRANKIEWICZ, T.: “People’s Republic of China Urban Municipal Waste and Wastewater Program”, [en línea], En: *línea*, En: *Technology, Process and Evaluation Best Practices for Utilizing Organic and «Kitchen» Waste from the Municipal Solid Waste Stream» Workshop. Global Methane Initiative, Ningbo, China*, Ningbo, China, p. 16, 2015, Disponible en: <http://communitybysesign.co.uk/2015>.
- GRUNDEY, K.; JUANOS, C.B.: *Tratamiento de los residuos agrícolas y ganaderos*, Ediciones GEA ed., Barcelona, España, 278-280 p., 1982, ISBN: 84-7287-025-1.
- GUARDADO-CHACÓN, J.A.: *Manual del Biogás*, Ed. Editorial CUBASOLAR, La Habana, Cuba, 2006.
- HERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.M.; BOSCH-INFANTE, D.; CASTRO-SPECK, N.: “La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015”, *Cultivos Tropicales*, 40(1): 93, 2019, ISSN: 0258-5936, Publisher: Ediciones INCA.
- PARRA-ORTIZ, D.L.; BOTERO-LONDOÑO, M.; BOTERO-LONDOÑO, J.M.: “Biomasa residual pecuaria: revisión sobre la digestión anaerobia como método de producción de energía y otros subproductos”, *Revista UIS Ingenierías*, 18(1): 149-160, 2019, ISSN: 2145-8456.
- PRIDDLE, R.: “Energía y desarrollo sostenible”, *IAEA Bulletin*, 41(1): 2-6, 1999.
- RAHAYU, A.S.; KARSIWULAN, D.; YUWONO, H.; TRISNAWATI, I.; MULYASARI, S.; RAHARDJO, S.; HOKERMIN, S.; PARAMITA, V.: “Handbook POME-to-biogas project



- development in Indonesia”, *Winrock International, United States of America*, : 8-19, 2015.
- SANTOS-ABREU, T.; MEDINA-MORALES, N.; MACHADO-MURO, Y.; MARTÍN-SANTOS, T.: *La Educación Agropecuaria en la Escuela Cubana Actual*, Ed. Editorial “Félix Valera”, Estudio de la Educación Ambiental. Villa Clara, Cuba ed., Villa Clara, Cuba, 2011.
- SOSA, R.: “Indicadores ambientales de la producción porcina y ganadera”, En: *VII Seminario Internacional de Porcicultura Tropical*, Instituto de Investigaciones Porcinas, La Habana, Cuba, 2017.
- SUÁREZ-HERNÁNDEZ, J.; SOSA-CÁCERES, R.; MARTÍNEZ-LABRADA, Y.; CURBELO-ALONSO, A.; FIGUEREDO-RODRÍGUEZ, T.; CEPERO-CASAS, L.: “Evaluación del potencial de producción del biogás en Cuba”, *Pastos y Forrajes*, 41(2): 85-92, 2018, ISSN: 0864-0394, e-ISSN: 2078-8452.
- ZHENG, Y.; WEI, J.; LI, J.; FENG, S.; LI, Z.; JIANG, G.; LUCAS, M.; WU, G.; NING, T.: “Anaerobic fermentation technology increases biomass energy use efficiency in crop residue utilization and biogas production”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7): 4588-4596, 2012, ISSN: 1364-0321.

Yanoy Morejón-Mesa, Dr.C. Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. e-mail: [yomorejon83@gmail.com](mailto:yomorejon83@gmail.com), [yymm@unah.edu.cu](mailto:yymm@unah.edu.cu)

Darielis Vizcay-Villafranca , Ing., Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. e-mail: [darielisv@unah.edu.cu](mailto:darielisv@unah.edu.cu)

Ramón Pelegrín-Rodríguez, Ingeniero recién graduado, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. e-mail: [pelegrinramon458@gmail.com](mailto:pelegrinramon458@gmail.com)

Malgreter Noguera-Betancourt, Ingeniera Agrónoma graduada de la Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. e-mail: [malgreternoguerabetancourt@gmail.com](mailto:malgreternoguerabetancourt@gmail.com)

The authors of this work declare no conflict of interests.

**AUTHOR CONTRIBUTIONS:** **Conceptualization:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca. **Data curation:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca. **Formal Analysis:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca, M. Noguera Betancourt. **Investigation:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca, R. Pelegrin Rodríguez, M. Noguera Betancourt. **Methodology:** J Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca. **Supervision:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca. **Validation:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca, R. Pelegrin Rodríguez. **Writing - original draft:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca, R. Pelegrin Rodríguez. **Writing - review & editing:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca, R. Pelegrin Rodríguez.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.