

PROPUESTA DE DISEÑO DE BIODIGESTOR DE CÚPULA FIJA PARA EL CENTRO PORCINO DE LA GRANJA UNIVERSITARIA EL GUAYABAL

Por Dr. C. Yanoy Morejón Mesa*, Dra. C. Vilma Moreno Melo** y M. Sc. Jenifer Álvarez Lima***

* Universidad Agraria de La Habana, Mayabeque, Cuba.

<https://orcid.org/0000-0002-1125-3105>.

E-mail: ymorejon83@gmail.com, ymm@unah.edu.cu

** Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-1982-3993>

E-mail: vilma@ucundinamarca.edu.co

*** Universidad Agraria de La Habana, Mayabeque, Cuba.

<https://orcid.org/0000-0003-4456-269X>

E-mail: jenifer93@unah.edu.cu

Resumen

La investigación se orientó hacia la propuesta de diseño de un biodigestor de cúpula fija y del potencial energético a obtener de este sistema una vez instalado en la granja universitaria El Guayabal de la Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez en la provincia Mayabeque, Cuba. Para ello, se determinó la especie animal existente en el escenario, dado que aportará los residuos orgánicos hacia el biodigestor, y 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 energéticos. Como resultado principal, se diseñó un biodigestor de cúpula fija (50 m³) adecuado para la granja. Se demostró, a pesar de los costos elevados por concepto de materiales para este tipo de tecnología (biodigestor de cúpula fija), el ahorro energético, preservación del medioambiente y disponibilidad local de los materiales requeridos para la construcción de la instalación, aspecto que no limitará la ejecución de la obra ingenieril.

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

DESIGN PROPOSAL OF A FIXED DOME BIODIGESTOR FOR THE PIG CENTER OF THE EL GUAYABAL UNIVERSITY FARM

Abstract

The research was oriented towards the design proposal of a fixed dome biodigester and the energy potential to be obtained from this system once installed in the university farm El Guayabal of the Agrarian University of Havana Fructuoso Rodriguez Perez in Mayabeque province, Cuba. For this purpose, the existing animal species in the scenario was determined, given that it will provide the organic waste to the biodigester, and the number of animals, considering the herd movement, which would make it possible to determine the biomass generated daily in order to establish the sizing of the appropriate biodigester technology and to know the behavior of the energy parameters. As a main result, a fixed dome biodigester (50 m³) suitable for the farm was designed. In spite of the high cost of materials for this type of technology (fixed dome

biodigestor), the energy savings, environmental preservation and local availability of the materials required for the construction of the installation were demonstrated, an aspect that will not limit the execution of the engineering work.

Keywords: *renewable energy, pig production, anaerobic digestion, energy feasibility, environmental impact.*

I. Introducción

El mundo 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, 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 medioambiente, 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 y tecnologías apropiadas, de modo que 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 *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, teniendo como origen el excremento animal recién expulsado a lo cual se le suman los desperdicios como camas, residuos de comida o material añadido (Grundey, 1982).

La digestión anaerobia constituye una buena alternativa para tratar residuos con elevada materia orgánica biodegradable (Sosa, 2017; Flotats *et al.*, 2001). 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, cárnicos, papel, conservas y destilerías (Rahayu *et al.*, 2015; Suárez *et al.*, 2018); residuos agropecuarios, como purines y estiércol (Bansal *et al.*, 2017) y residuos urbanos que comprenden tanto la fracción orgánica de los residuos sólidos (Biogas Association, 2015) como los lodos de las depuradoras de aguas residuales urbanas (Frankiewicz, 2015).

Precisamente el biodigestor es antropogénicamente 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 *et al.*, 2019).

Considerándose los criterios anteriormente descritos, en la granja universitaria El Guayabal, localizada en la capital San José de las Lajas, en la provincia Mayabeque, Cuba, se realizó el diseño de un biodigestor de cúpula fija, con el objetivo de producir biogás y biofertilizantes, por lo que la investigación se orientó a determinar el dimensionamiento y las potencialidades energéticas del uso de esta tecnología en ese sistema productivo.

II. Materiales y métodos

Caracterización de la granja universitaria El Guayabal

La granja universitaria El Guayabal, perteneciente a la Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez, dispone de una superficie total de 665,8 ha, de las cuales 100 ha se dedican a la producción agrícola para el consumo animal y humano, el resto a la producción ganadera (porcina, bovina, ovino-caprino, cunícula, avícola, apícola y piscícola).

El suelo que existe en el escenario es ferralítico rojo típico (Hernández *et al.*, 2015). Tiene un relieve llano, altura sobre el nivel del mar de 120 m. Las variables meteorológicas registradas durante el periodo 2015-2021 mostraron temperaturas máximas que superaron los 26 °C, entre los meses de junio a septiembre, y las más frías con un promedio de 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 el 72,8 % (mínimo en marzo) y el 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 centro porcino posee una capacidad total de 425 animales (en todas las categorías productivas), con un sistema de alimentación alternativo que utiliza el alimento ensilado cubano (AEC), como parte de la fracción energética que necesitan los cerdos para su desarrollo, y los piensos secos (PS) balanceados, para cubrir la proteína que requieren. Para la operatividad del sistema productivo se dispone de un molino forrajero, con motor eléctrico de 4,5 kW destinado a la elaboración de alimentos alternativos, una bomba hidráulica, con una potencia de 5,5 kW destinada a las labores de limpieza y abastecimiento de agua, y 40 luminarias de 40 W.

Metodología para el dimensionamiento de biodigestores de cúpula fija

Para el cálculo de los parámetros de diseño de un biodigestor de cúpula fija, es necesario conocer los datos de entrada y los que deben ser determinados (Tabla 1).

La cantidad diaria de material (Bmd) 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.

Tabla 1. Datos de entrada y salida requeridos para el diseño de un biodigestor anaerobio de cúpula fija

Parámetros	Unidad
Datos de entrada	
Cantidad de biomasa diaria generada (Bmd)	Kg/día
Proporción excreta-agua (N)	L/kg
Rendimiento de biogás (Y)	m ³ /kg
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	día
Datos de salida	
Volumen diario de material (mezcla estiércol y agua) (Vdm)	m ³ /día
Volumen del biodigestor (V _{biodig})	m ³
Volumen de la cámara de fermentación (V _{cf})	m ³
Volumen del cilindro (V _c)	m ³
Volumen de contención del biogás (V ₂)	m ³
Volumen del cono base (V ₃)	m ³
Volumen del tanque de compensación (V _{tc})	m ³

La cantidad de biomasa diaria generada (Bmd), expresada en kg/día, se determina a través de la expresión 1:

$$Bmd = Ca \times Ce \times Rp \times Rt \tag{1}$$

Donde *Ca* es la cantidad de animales, *Ce* la cantidad de excreta por animal (kg/día), *Rp*, la relación entre el peso vivo promedio de la población animal y el peso vivo equivalente tabulado y *Rt* la fracción entre el tiempo de estabulación respecto a la duración del día (h/día).

$$Bmd = Ca \times Ce \times \left(\frac{PVp}{PVe} \right) \times \left(\frac{Te}{24h} \right) \tag{2}$$

En la expresión 2, *PVp* es el peso vivo promedio de la población animal (kg), *PVe* el peso vivo equivalente tabulado, *Te* las horas que el animal permanece estabulado (h/día). El volumen diario de material (Vdm), mezcla estiércol y agua, no es más que la suma del residual y la dilución de la biomasa (residual y agua).

$$Vdm \text{ (m}^3\text{/día)} \tag{3}$$

En la expresión 3, *N* es la proporción excreta-agua (L/kg), se requiere conocer que la densidad del agua es 1000 kg/m³. Luego, el valor obtenido se expresa en kg/día, pero al considerarse la densidad volumétrica del agua, se divide este valor por dicha densidad, entonces se expresaría en m³/día.

El volumen del biodigestor (V_{biodig}) se calcula teniendo en cuenta el valor del volumen de material mezcla estiércol y agua (Vdm) que entra al biodigestor y el tiempo de retención (TRH) (expresión 4).

$$V_{biodig} \text{ (m}^3\text{)} \tag{4}$$

Una vez determinado el volumen del biodigestor, se calcula el volumen de diseño a partir de dos posibles opciones:

- Tratar todo el residual y obtener los subproductos derivados.
- Tratar solamente la parte del residual que garantice la energía requerida.

Las expresiones fundamentales que se emplean para el dimensionamiento de un biodigestor de cúpula fija, caracterizado por sus partes cónica, cilíndrica y casquete esférico (Figura 1), se plantean a continuación.

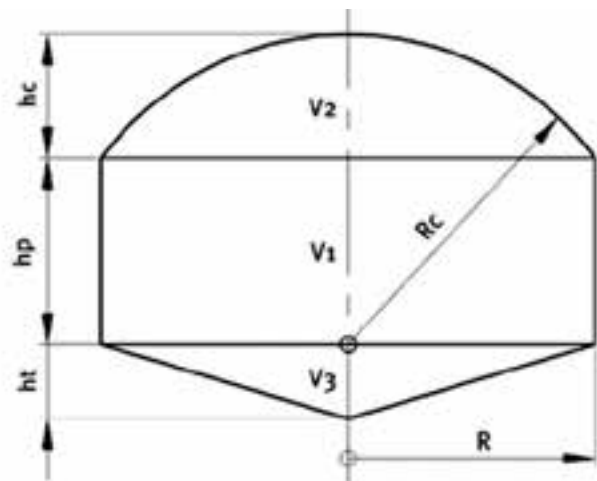


Fig. 1. Partes principales en las que se divide un biodigestor de cúpula fija (Guardado, 2007).

Los pasos a 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, como se mostró en la expresión 4.
- Se calcula el radio del volumen predefinido (R).

Para calcular el radio del volumen predefinido (R), se plantea la expresión 5: R (m)

$$R = \sqrt[3]{\frac{V_{biodig}}{\pi \times 1,121}} \tag{5}$$

Teniéndose el radio del volumen predefinido (R), se procede a determinar la unidad proporcional (U) en metros (expresión 6):

$$U(m) \\ U=R\div 4 \quad (6)$$

La unidad proporcional permitirá determinar el resto de las denominaciones, sustituyendo U en las proporciones siguientes:

$$Rc(m) \\ Rc = 5\times U \quad (7)$$

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

$$hc(m) \\ hc = 2\times U \quad (9)$$

$$hp(m) \\ hp = 3\times U \quad (10)$$

$$ht(m) \\ ht = 0,15\times D \quad (11)$$

En las expresiones 7, 8, 9, 10 y 11, dadas en metros, Rc es el radio de la cúpula, D el diámetro, hc la altura de la cúpula, hp la altura del cilindro y ht la altura del cono base.

A partir de la determinación de los principales parámetros geométricos se procede a calcular los volúmenes correspondientes al cilindro (V₁), de contención del biogás (V₂), cono base (V₃) y volumen de la cámara de fermentación (V_{cf}) (expresiones 12, 13, 14 y 15):

$$V_1(m) \\ V_1=R^2 \times hp \times \pi \quad (12)$$

$$V_2(m) \\ V_2 = \frac{\pi \times hc^2}{3} (3R - hc) \quad (13)$$

$$V_3(m) \\ V_3 = R^2 \times \pi \times \left(\frac{ht}{3}\right) \quad (14)$$

$$V_{cf}(m) \\ V_{cf}=V_1+V_2+V_3 \quad (15)$$

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

$$G(m^3/día) \\ G = Y \times Bmd \quad (16)$$

En la expresión 16, Y es el rendimiento de biogás, dado en m³/día (Tabla 1). Esta variable se determina en la expresión 17, donde Ce, analizada en la expresión 1, es la cantidad de excreta por animal (kg/día) y X es el coeficiente de conversión energética de la excreta producida diariamente, o sea, la producción diaria de biogás en función del tipo de residuo orgánico.

$$Y(m^3/día) \\ Y = \frac{X}{C_e} \quad (17)$$

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

III. Resultados y discusión Dimensionamiento del biodigestor

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

- Cantidad de biomasa diaria generada (Bmd)
- 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 (V₁)
- Volumen de contención del biogás (V₂)
- Volumen del cono base (V₃)
- Volumen del tanque de compensación (V_{tc})

Los resultados obtenidos de cada uno de estos parámetros se representan en la Tabla 2, estos valores se obtienen a partir del movimiento del rebaño concebido por la dirección de la granja durante el periodo 2021-2022.

Aporte energético potencial

Para determinar el aporte energético potencial a obtener en función de la cantidad de animales disponibles, se requieren los parámetros siguientes:

- Rendimiento de biogás (Y)
- Volumen diario de biogás (G)

Tabla 2. Movimiento del rebaño en la granja El Guayabal

Movimiento del rebaño	Existencia inicial	Existencia final	Animales por día	Masa promedio (kg)
Sementales	5	5	5	130
Reproductoras	20	30	25	100
Cebas	100	140	120	90
Precebas	100	100	100	25
Crías	200	150	175	7
Total	425	425	425	70,40

Considerándose lo planteado por varios autores, entre ellos Guardado (2007), por cada 50 kg de cerdo se obtienen 2,25 kg de excreta, generándose 0,10 m³ de 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.

Se determinó el dimensionamiento del biodigestor requerido para la cantidad de animales analizada en la Tabla 2 y el aporte energético de la población animal (Tabla 3).

Como se evidencia en la Tabla 3, la mayor cantidad de biomasa diaria generada, se obtiene en la categoría ceba, representando el 61,1 % de la cantidad de biomasa diaria generada total, este resultado se debe, fundamentalmente, a la cantidad de animales existentes en esta categoría.

Por otro lado, la categoría de ceba es la que más influye en el dimensionamiento del sistema de biodigestión, dado que representa el porcentaje de mayor representatividad para la determinación de los volúmenes del cono base, las paredes laterales (sección cilíndrica) y la cúpula (semiesfera superior), así como del biodigestor, la cámara de fermentación y el tanque de compensación.

Como se representa en la Tabla 4, el rendimiento de biogás a obtener, según la especie, es de 0,044 m³/kg (si se

considera la cantidad total de animales se obtienen 18,7 m³/kg) y para esa cantidad de animales estabulados es posible obtener un volumen diario de producción de gas total de 34,99 m³/día.

Considerándose los valores reflejados en la Tabla 2, se propone la instalación de un biodigestor de cúpula fija de 50 m³, las dimensiones del mismo se reflejan en las figuras 2 y 3, así como el esquema general de dicha tecnología (Figura 4) (Guardado, 2007).

En la Tabla 5 se muestra el aporte energético del biogás que se obtendrá con la instalación de la tecnología propuesta en el estudio.

Como se evidencia en las tablas 3 y 4, 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 medioambiente.

Un estimado del costo del proceso constructivo y de instalación del sistema de biodigestión propuesto, sin considerar la mano de obra, se representa en la Tabla 6 donde se relacionan los materiales requeridos para la construcción e instalación de la tecnología.

Tabla 3. Dimensionamiento del biodigestor diseñado en función de la cantidad de animales

Fuente de materia prima	Animal por día	Masa promedio (kg)	Bmd (kg/día)	Vdm (m ³ /día)	Vbiodig (m ³)	V1 (m ³)	V2 (m ³)	V3 (m ³)	Vcf (m ³)	Vtc (m ³)
Sementales	5	130	29,25	0,06	64,00	41,00	8,00	1,00	50,00	14,00
Reproductoras	25	100	112,50	0,22						
Cebas	120	90	486	0,98						
Precebas	100	25	112,50	0,22						
Crías	175	7	55,12	0,11						
Total	425	70,40	795,37	1,60						

Tabla 4. Aporte energético de la población animal

Fuente de materia prima	Animal por día	Masa promedio (kg)	Bmd (kg/día)	Y (m ³ /kg)	G (m ³ /día)
Sementales	5	130	29,25	0,044	1,28
Reproductoras	25	100	112,50		4,95
Cebas	120	90	486		21,38
Precebas	100	25	112,50		4,95
Crías	175	7	55,12		2,42
Total	425	70,4	795,37		34,99

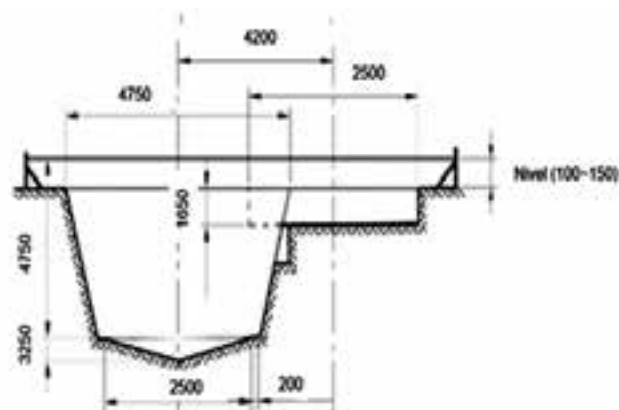
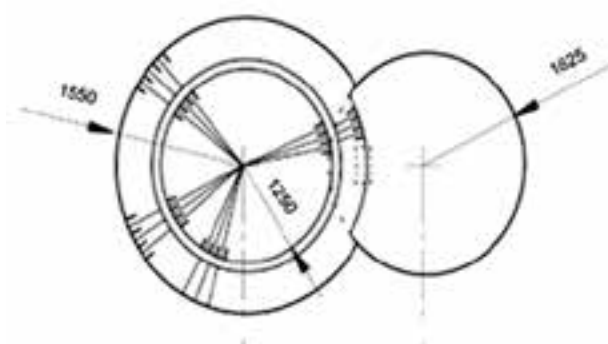


Fig. 2. Dimensionamiento y vistas superior y frontal del biodigestor de cúpula fija (50 m³) a instalar en el escenario productivo (Guardado, 2007).

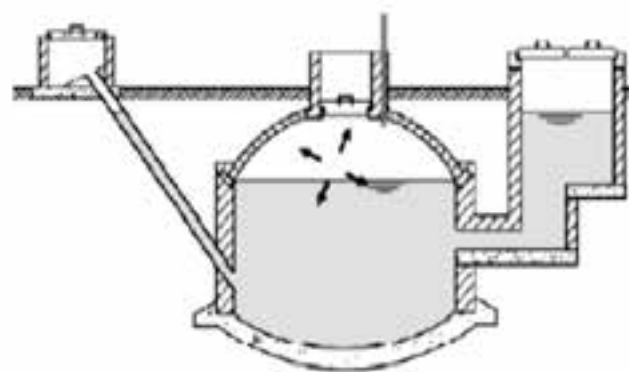
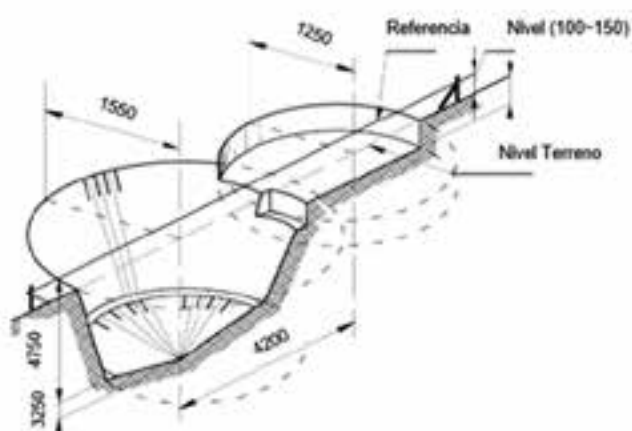


Fig. 3. Dimensionamiento para la excavación del biodigestor de cúpula fija (50 m³) a instalar en el escenario productivo (Guardado, 2007).

Fig. 4. Esquema general del biodigestor de cúpula fija (50 m³) a instalar en el escenario productivo (Guardado, 2007).

Tabla 5. Aporte energético del biogás a obtener con la instalación propuesta

Parámetros de dimensionamiento	Biodigestor propuesto
V_{biodig} (m ³)	64,00
V_{cf} (m ³)	50,00
V_{tc} (m ³)	14,00
V_{gas} (m ³)	8,00
Parámetros energéticos	Biodigestor propuesto
Y (m ³ /kg)	0,044
G (m ³ /día)	34,99
Ahorro energético potencial	Biodigestor propuesto
Energía eléctrica (kWh)	15,91
Gas natural (m ³)	5,30
Carbón vegetal (kg)	2,65
Madera (kg)	23,86
Gasolina (L)	7,07
Alcohol combustible (L)	10,60
Aceite combustible (L)	6,18

Tabla 6. Listado de materiales y sus costos para la construcción e instalación del biodigestor de cúpula fija de 50 m³

Materiales	UM	Cantidad	Precio unitario (CUP/u)	Costo (CUP)
Cemento	Bolsas	150	183	27 450
Arena	m ³	12	160	1920
Gravilla (38 mm)	m ³	13	200	2600
Bloque 15 cm	u	895	10	8950
Ladrillos macizos	u	1335	8	10 680
Acero 3/8	kg	340	10	3400
Acero 1/4	kg	43	12,5	537
Puntillas	kg	10	50	500
Alambre de amarrar cabillas	kg	15	25	375
Madera para encofrar	m ³	1,5	120	180
Excavación	m ³	100	25	2500
Relleno	m ³	55	20	1100
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	1250
Tuberías de 110 mm para suministro de excreta de 5 m de longitud	m	2	300	600
Total				62 042

*Se considera la tasa de cambio 25 CUP = 1 USD.

La inversión por concepto de materiales para la construcción asciende a un costo de 62 042 CUP. En función del ahorro energético a obtenerse, solo por concepto de gasolina, con una producción diaria de 7,07 L, la cual tiene un precio de 25 CUP, se tendría un ahorro de 176,75 CUP, lo que equivaldría en un año a 64 513,75 CUP, recuperándose la inversión, por concepto de materiales requeridos para la construcción, en su primer año de funcionamiento con una ganancia de 2471, 75 CUP, demostrando la factibilidad económica de la propuesta.

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

IV. Conclusiones

Se realizó el diseño de un biodigestor de cúpula fija adecuado para la granja El Guayabal, considerándose para ello la cantidad de animales (porcinos), potencial a establecer en la misma, el movimiento de rebaño concebido por la dirección del área y la cantidad de biomasa diaria generada.

A pesar de los costos elevados por concepto de materiales para este tipo de tecnología (biodigestor de cúpula fija) se demostró el ahorro energético, la preservación del medioambiente y la disponibilidad local de los materiales requeridos, aspecto que no limita la ejecución de la obra

ingenieril. Durante el primer año de funcionamiento del biodigestor se recuperará la inversión, obteniéndose una ganancia de 2471, 75 CUP, elemento que determina la factibilidad económica del proyecto.

V. Referencias bibliográficas

- Bansal, V., Tumwesige, V. y Smith, J. U. (2017). Water for small-scale biogas digesters in sub-Saharan Africa. *GCB Bioenergy*. 9(2), 339-357.
- Biogas Association. (2015). *Municipal guide to biogas*. Ottawa, Canada: Biogas Association.
- Flotats, X., Campos, E., Palatsi, J., Bonmatí, X. (2001). Digestión anaerobia de purines de cerdo y codigestión con residuos de la industria alimentaria. *Porci; Monografías de actualidad*, 65, pp 51-65.
- Frankiewicz, T. (2015). *People's Republic of China Urban Municipal Waste and Wastewater Program* (p. 16). Proceeding of Technology, Process and Evaluation Best Practices for Utilizing Organic and Kitchen Waste from the Municipal Solid Waste Stream Workshop. Global Methane Initiative. Ningbo, China.
- Grundey, K. (1982). *Tratamiento de los residuos agrícolas y ganaderos* (pp. 278-280). Ediciones GEA.
- Guardado Chacón J. A. (2006). *Manual del Biogás*. Editorial Cubasolar
- Guardado Chacón J. A. (2007). *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*. Editorial Cubasolar, ISBN 959-7113-33-3

- Hernández Jiménez, A., Bosch Infante, D., Pérez Jiménez, J. M., Castro Speck, N. (2015). *Clasificación de los suelos de Cuba* (p. 93). Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Parra D., Botero, M., Botero, J. (2019). Biomasa residual pecuaria: revisión sobre la digestión anaerobia como método de producción de energía y otros subproductos, *Revista UIS Ingeniería* 18(1), 149-160.
- Priddle, R. (1999). Energía y Desarrollo Sostenible. *Boletín* 41(1) 2-6. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjmcCw44D8AhXzSZA-BHXdRB2wQFnoECBMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.iaea.org%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2F41104080206_es.pdf&usg=AOvVaw2rRDkemS6W-Fflf4Z-DFor
- Rahayu, A. S., Karsiwulan, D., Yuwono, H., Trisnawati, I., Mulyasari, S., Rahardjo, S., Hokermin, S. y Paramita, V. (2015). *Handbook Pome-to-Biogas. Project development in Indonesia*. Winrock international. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjWo72H1YH8AhV9QzABHbg-PA2MQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fwinrock.org%2Fwp-content%2Fuploads%2F2016%2F05%2FCIRCLE-Handbook-2nd-Edition-EN-25-Aug-2015-MASTER-revo2-final-new02-edited.pdf&usg=AOvVaw3soGeD9x6P-so57obyE7RcQ>
- Santos Abreu, I., Medina Morales, N., Machado Muro, Y. y Martín Santos, T. M (2011). *La educación agropecuaria en la escuela cubana actual*. Editorial CEEA.
- Sosa Cáceres, R. (22-26 de mayo de 2017) *Indicadores ambientales de la producción porcina y ganadera*. VII Seminario Internacional de Porcicultura Tropical. Instituto de Investigaciones Porcinas. La Habana, Cuba.
- Suárez Hernández, J., Sosa Cáceres, R., Martínez Labrada, Y., Curbelo, A., Figueredo Rodríguez, T., Cepero Casas, L. (2018). Evaluación del potencial de producción del biogás en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 41(2), 85-92.
- Zheng, Y.H., Wei, J.G. Li, Feng, S.F., Li, Z.F., Jiang, G.M., Lucas, M, Wu, M., Ning, T.Y. (2012). Anaerobic fermentation technology increases biomass energy use efficiency in crop residue utilization and biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4588-4596. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.061>

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Yanoy Morejón Mesa, conceptualización, investigación, metodología, supervisión y redacción-revisión y edición; Vilma Moreno Melo, curación de datos, metodología y redacción-borrador original; Jenifer Álvarez Lima, análisis formal, validación y redacción-borrador original.

Recibido: 24 de octubre de 2022

Aprobado: 17 de noviembre de 2022