OPEN ACCESS

ORIGINAL ARTICLE

Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 35
enero-diciembre 2026
ISSN 1010-2760, eISSN 2071-0054
Cu-ID: https://cu-id.com/2177/v35e15

Dimensionamiento de biodigestor artesanal para la cocción de alimentos en la Cooperativa Humberto Hernández

Dimensioning of Artisanal Biodigester for Food Cooking at the Humberto Hernandez Cooperative

Yanoy Morejón Mesa[1*], Yusimí Pérez López[1], Heriberto Vargas Rodríguez[1], Fabienne Torres Menéndez[1] and Omar Hernández Cruz[2]

[1]*Universidad Agraria de la Habana (UNAH), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.*
E-mail: yusimi@unah.edu.cu, vargas@unah.edu.cu, fabienne@unah.edu.cu
[2]*Cooperativa de Producción Agropecuaria "Humberto Hernández", Güines, Mayabeque, Cuba. CP: 33900*

[*]Autor para correspondencia: Yanoy Morejón Mesa, e-mail: ymorejon83@gmail.com

RESUMEN: Esta investigación se orientó a la proyección de un biodigestor artesanal, teniendo en cuenta la disponibilidad local de los materiales requeridos y el potencial energético a obtener del sistema, una vez instalado en la Cooperativa de Producción Agropecuaria "Humberto Hernández", ubicada en el municipio Güines, provincia Mayabeque, Cuba. Para ello se determinan las especies animales existentes en el escenario, dado que estos aportarán 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 energéticos. Entre los principales resultados obtenidos, se realizó el diseño de un biodigestor artesanal (12 m^3) adecuado para la granja objeto de estudio, considerándose para ello la cantidad potencial de animales a establecer en la misma, así como el movimiento de rebaño concebido por la dirección del área y la cantidad de biomasa diaria generada; se demuestra que con la instalación de la tecnología propuesta se contribuye al ahorro energético y a la conservación y preservación del medioambiente y que los materiales requeridos para la construcción de la instalación se encuentran localmente disponibles, aspecto que no limita la ejecución del proyecto de ingeniería.
Palabras clave: energía renovable, producción de biogás, digestión anaerobia, factibilidad energética, impacto ambiental.

ABSTRACT: This research focused on the design of a homemade biodigester, taking into account the local availability of the required materials and the energy potential of the system once installed at the "Humberto Hernández" Agricultural Production Cooperative, located in the municipality of Güines, Mayabeque province, Cuba. To this end, the existing animal species were identified, as these would provide the organic waste for the biodigester. The number of animals was also determined, considering herd movement, which would allow for the calculation of the daily biomass generated. This information was used to establish the appropriate biodigester size and understand the behavior of the energy parameters. Among the main results obtained, a homemade biodigester (12 m3) suitable for the farm under study was designed, considering the potential number of animals, herd movement based on the farm's layout, and the amount of daily biomass generated. It is demonstrated that the installation of the proposed technology contributes to energy savings and the conservation and preservation of the environment, and that the materials required for the construction of the installation are locally available, an aspect that does not limit the execution of the engineering project.
Keywords: renewable energy, biogas production, anaerobic digestion, energy feasibility, environmental impact.

INTRODUCCIÓN

La tecnología de biodigestión es antropogénicamente la tecnología destacada en el proceso biotecnológico de digestión anaeróbica de biomasas para obtener biogás. Esta tecnología consiste en 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; Cortez y Serrano, 2023).

Recibido: 21/11/2025
Aceptado: 28/03/2026
Conflictos de interés: Los autores declaran que no existen conflictos de interés.
Contribuciónes de autor: Conceptualización: Yanoy Morejón Mesa, Yusimí Pérez López, Heriberto Vargas Rodríguez. **Curación de datos:** Yanoy Morejón Mesa, Yusimí Pérez López. **Investigación:** Yanoy Morejón Mesa, Yusimí Pérez López, Heriberto Vargas Rodríguez, Fabienne Torres Menéndez, Omar Hernández Cruz, **Metodología:** Yanoy Morejón Mesa**. Supervisión:** Yanoy Morejón Mesa, Yusimí Pérez López, Heriberto Vargas Rodríguez. **Redacción-borrador inicial:** Yanoy Morejón Mesa, Yusimí Pérez López. **Redacción-revisión y edición**: Yanoy Morejón Mesa, Yusimí Pérez López. **Supervisión:** Yanoy Morejón Mesa.
La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a fines de identificación, no existe ningún compromiso promocional relacionado con los mismos, ni para los autores ni para el editor.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

La digestión anaerobia constituye una buena alternativa para tratar residuos con elevada materia orgánica biodegradable (Flotats, 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, cárnicos, papel, conservas y destilerías (Rahayu, *et al.*, 2015; Suárez *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).

En el contexto actual una de las vías más factibles para evitar la creciente contaminación ambiental, es 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 (Priddle, 1998). Es necesario aprovechar las fuentes renovables de energía. Esto implica una mejor utilización de los recursos locales y la aplicación de tecnologías apropiadas que contribuyan al ahorro de combustible convencional, devuelvan nutrientes al suelo y preserven el medio ambiente (Santos *et al.*, 2011).

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 que produzcan energía a partir del uso de los desechos de la producción agropecuaria (Parra *et al.*, 2019).

El funcionamiento de la tecnología de biodigestión dependerá en gran medida del tipo y calidad de 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, 1982).

Partiendo de los criterios anteriormente descritos, en la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) "Humberto Hernández", localizada en Güines, provincia Mayabeque, Cuba, se realizó requiere de la proyección de un biodigestor artesanal, con el objetivo de producir biogás para la cocción de alimentos y a su vez obtener biofertilizantes, por lo cual el objetivo de la presente investigación se orientó a determinar el dimensionamiento y las potencialidades energéticas del uso de esta tecnología en ese sistema productivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del escenario

La CPA "Humberto Hernández" se localiza en el municipio Güines, provincia Mayabeque, Cuba, y dispone de una superficie total de 1 030 ha, las cuales se dedican a la producción cañera, a los cultivos varios (granos, viandas, hortalizas y frutales) y cuenta con áreas de pastoreo y otras destinadas a la producción de forrajes, esta cooperativa también desarrolla la producción ganadera: porcina, bovina, ovino-caprino, avícola y cunícula.

Esta CPA, ubicada en una llanura con peculiaridades morfológicas y morfométricas, presenta pendiente suave e influencia cársica; con una elevación comprendida entre los 5 y 31 m sobre el nivel del mar.

Los suelos predominantes en esta CPA son los Pardos con carbonatos (41,5%), las Rendzinas rojas (25,1%) y en menor escala los Vertisuelos y Aluviales. Los dos primeros ocupan el 66,6% de los suelos cultivados de caña de azúcar en la cooperativa estando presentes en las zonas más elevadas con pendientes que alcanzan del 2 al 3% y las llanas más extensas de la entidad. (Según el mapa de suelos (1/25000).

Los suelos Vertisuelos se encuentran ubicados al Sur y Este de la CPA, los subtipos existentes son típicos y por tanto son suelos con problemas de mal drenaje y ocupan en su totalidad el 18,37 %.

Los suelos Aluviales ocupan la menor superficie (15,03%) y como sub-tipos los Típicos y Diferenciados, localizándose al Oeste de la CPA y en las márgenes del río Mayabeque rectificado el cual limita de Norte a Sur la CPA y en menor escala en las márgenes de las vías de agua que alimentan o parten del Mayabeque como el rio Agua émulos y la Zanja Amarilla (Hernández *et al.*, 2019).

Para el diseño de la tecnología de biodigestión con el propósito de procesar los alimentos de los trabajadores y a su vez obtener efluentes del sistema para las labores agrícolas, se realizó un estudio de los materiales y recursos disponibles en la propia CPA, así como la demanda de biogás para el propósito concebido, partiendo de estos elementos se proyectó la propuesta de la tecnología de biogás que resultaría de mayor factibilidad en correspondencia con las condiciones de la propia entidad y a su economía.

Metodología para el dimensionamiento de biodigestores

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

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:

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

donde: *Ca*- Cantidad de animales; Ce-Cantidad de excreta por animal, kg/dia; *Rp*- Relación entre el peso vivo promedio de la población animal y el peso vivo equivalente tabulado; *Rt*- Fracción entre el tiempo de estabulación respecto a la duración del día, h/día.

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

Parámetros	Unidad
Datos de entrada	
Cantidad de biomasa diaria generada (Bm_d)	kg dia^{-1}
Proporción excreta-agua (N)	L kg^{-1}
Rendimiento de biogás (Y)	m^3 kg^{-1}
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	día
Datos de salida	
Volumen diario de material (mezcla estiércol y agua) (Vdm)	kg dia^{-1}
Volumen del biodigestor, (V_{biodig})	m^3
Volumen de la cámara de fermentación, (V_{cf})	m^3
Volumen del cilindro, (V_1)	m^3
Volumen de contención del biogás (V_2)	m^3
Volumen del tanque de compensación (Vtc)	m^3

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

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).

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

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

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

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

Una vez predeterminado el volumen del biodigestor, se procede a calcular el volumen de diseño, con dos posibles partidas:

- Tratar todo el residual y obtener los subproductos que de ello se derive.
- Tratar solamente la parte del residual que garantice la energía que se requiera.

Las expresiones fundamentales que se emplean para el dimensionamiento de un biodigestor artesanal (caracterizado por sus tres partes principales: cámara de fermentación anaerobia, cámara de contención del biogás y cámara de compensación (salida de efluente)), 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.
- Posteriormente se procede al cálculo del volumen diario de biogás (G) producido:

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

donde: Y- Rendimiento de biogás, m^3. kg^{-1}

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

$$Y = \frac{X}{C_e}, m^3\,. \quad kg^{-1} \qquad (6)$$

donde: X- coeficiente de conversión energética de la excreta producida diariamente es decir 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 es decir oscila entre el 25…30% del volumen del biodigestor.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dimensionamiento del biodigestor

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

- Cantidad de biomasa diaria generada (Bm_d);
- Volumen diario de material (mezcla estiércol y agua) (Vdm);
- Volumen del biodigestor (V_{biodig});
- Volumen de la cámara de fermentación (V_{cf});
- Volumen de contención del biogás (V_{cg});
- Volumen del tanque de compensación (Vtc).

Los resultados obtenidos de cada uno de estos parámetros se representan en la Tabla 2 considerando que en el almacén de la propia CPA, se dispone de tanques de PVC de 2 m^3 de capacidad, los cuales podrían ser empleados para la cámara de fermentación. Por tanto, considerando esa capacidad disponible se determinaron los demás parámetros y la cantidad de animales (bovinos) requeridos para la producción de excreta para el funcionamiento del sistema de biodigestión propuesto.

Aporte energético potencial

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).

La Tabla 3 muestra que por cada 350 kg de peso vivo de ganado bovino se obtienen 10 kg de excreta húmeda por día, generando 0,36 m^3 de biogás/día. Considerando una proporción excreta-agua de 1:1 y un tiempo de retención de 40 días, se determinó el dimensionamiento del biodigestor (Tabla 2) y el aporte energético de la población animal (Tabla 3).

Como se representa en la Tabla 3, el rendimiento de biogás a obtener según la especie es de 0,036 m^3/kg y para esa cantidad de animales estabulados es posible obtener un volumen diario de producción de gas total de 4,5 m^3/día. Considerándose los valores reflejados en la Tabla 3, se propone la instalación de un biodigestor artesanal de 12 m^3 (Guardado, 2007).

Como se evidencia en las Tabla 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 medio ambiente.

Para tener un estimado del costo del proceso constructivo y de instalación del sistema de biodigestión propuesto a instalar (sin considerar la mano de obra), en la Tabla 5, se relacionan los materiales requeridos para la construcción e instalación de la tecnología.

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

Tabla 2. Dimensionamiento del biodigestor artesanal propuesto

Fuente de materia prima	Animal/día	Masa Promedio, kg	Bmd, kg/día	Vdm, m^3/día	V_{biodig}, m^3	V_{cg}, m^3	V_{cf}, m^3	V_{tc}, m^3
Estiércol de ganado bovino	50	350	125	0,25	12	4	12	4

Tabla 3. Aporte energético de la población animal

Fuente de materia prima	Animal/día	Masa Promedio, kg	Bmd, kg/día	Y, m^3/kg	G, m^3/día
Vacas	50	350	125	0,036	4,5

Tabla 4. Aporte energético del biogás a obtener con la instalación de la tecnología propuesta

Parámetros de dimensionamiento	Biodigestor Propuesto
V_{biodig}, m^3	12
V_{cf}, m^3	12
$V_{tc,}$ m^3	4,0
$V_{cg,}$ m^3	4,0
Parámetros de energéticos	**Biodigestor Propuesto**
Y, m^3/kg	0,036
G, m^3/día	4,5
Ahorro Energético Potencial	**Biodigestor Propuesto**
Energia eléctrica, kWh	8,4
Gas Natural, m^3	2,7
Carbón vegetal, kg	1,35
Madera, kg	12,15
Gasolina, L	3,6
Alcohol combustible, L	5,4
Aceite combustible, L	3,15

Tabla 5. Listado de materiales para la construcción e instalación del biodigestor de 12 m^3 propuesto a instalar

Materiales	UM	Cantidad
Cemento P-350	Bolsas	24
Arena	m^3	5
Gravilla (38 mm)	m^3	5
Bloque 15 cm	u	100
Tubería 110 mm (4 pulg)	m	100
Tubería 14 mm (1/2 pulg)	m	120
Tanque PVC (2 m^3)	u	6
Bolsa de Polietileno (5 m^3)	u	1
Válvulas de Cierre	u	8
Excavación	m^3	24
Accesorios: Uniones, codos, limpiador y pegamento PVC, bridas plásticas		

CONCLUSIONES

- Se realiza el dimensionamiento de un biodigestor artesanal para el comedor de los trabajadores de la CPA "Humberto Hernández", considerándose para ello la cantidad de animales (ganado bovino) requeridos en función del volumen de la cámara de fermentación.
- Se evidencia que con la instalación de la tecnología propuesta se contribuye al ahorro energético y a la conservación y preservación del medioambiente.
- Se evidencia que los materiales requeridos para la construcción de la instalación se encuentran localmente disponibles, aspecto que no limita la ejecución de la obra ingenieril.

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.

BIOGAS ASSOCIATION: *Municipal guide to biogas. Ottawa, Canada*, *[en línea]*, Biogas Association, Ottawa, Canada, 2016, *Disponible en:* https://biogasassociation.ca/resources/municipalguide_tobiogas.

CORTEZ, M.A.; SERRANO, C.W.: "Diseño de biodigestor casero para producción de biogás y fertilizante", *Revista Multidisciplinaria de Investigación-REMI*: 65-71, 2023, ISSN: 3006-7715.

FLOTATS, X.: "Digestión anaerobia de purines de cerdo y codigestión con residuos de la industria alimentaria", *Porci; Monografías de actualidad*: 65, 2001.

FRANKIEWICZ, T.: *People's Republic of China Urban Municipal Waste and Wastewater Program. Proceeding of "Technology, Process and Evaluation Best Practices for Utilizing Organic and «Kitchen» Waste from the Municipal Solid Waste Stream" Workshop.*, *[en línea]*, Inst. Workshop. Global Methane Initiative. Ningbo, China, Ningbo, China, 16 p., 2015, *Disponible en:* http://communitybysesign.co.uk/.

GRUNDEY, K.: *Tratamiento de los residuos agrícolas y ganaderos*, Ed. Ediciones GEA Barcelona, Barcelona, España, 278-280 p., 1982, ISBN: 84-7287-025-1.

GUARDADO, C.J.A.: *Manual del Biogás*, Editorial CUBASOLAR, 2006.

GUARDADO, C.J.A.: *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*, Ed. Editorial CUBASOLAR, 2007.

HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J.M.; BOSCH, D.; SPECK, N.C.: "La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015", *Cultivos tropicales*, 40(1), 2019, ISSN: 0258-5936.

PARRA, D.L.; BOTEROO, M.A.; BOTERO, 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.

RAHAYU, A.S.; KARSIWULAN, D.; YUWONO, H.; TRISNAWA, I.; MULYASARI, S.; RAHARDJO, S.: *Handbook Pome-to-Biogas*, vol. Handbook Pome-to-Biogas. Project development in Indonesia. Jakarta: Winrock International, Indonesia. Jakarta, 2015.

SANTOS, A.I.; MEDINA, M.N.; MACHADO, M.Y.; MARTIN, S.T.: "La educación agropecuaria en la escuela cubana actual", 2011.

SOSA, R.: "Indicadores ambientales de la producción porcina y ganadera", En: *En: VII Seminario Internacional de Porcicultura Tropical, VII Seminario Internacional de Porcicultura Tropical, Instituto de Investigaciones Porcinas, La Habana, Cuba*, 2017.

SUÁREZ, J.; SOSA, R.; MARTÍNEZ, Y.; RIVERA, A.L.; FIGUEREDO, T.; CEPERO, L.: "Evaluación del potencial de producción del biogás en Cuba", *Pastos y Forrajes*, 41(2): 1, 2018, 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, DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.061.2012.