

Determinación de la tecnología de biodigestión anaerobia adecuada para un sistema de producción avícola



Determination of Appropriate Anaerobia the Technology of Biodigestion for a System of Poultry Production

<https://cu-id.com/2177/v33n4e05>

Yanoy Morejón-Mesa*, Geisy Hernández-Cuello,
Darielis Vizcay-Villafranca, Yordan Oscar Amoros-Capdesuñer

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

RESUMEN: La presente investigación tiene como objetivo determinar la tecnología de biodigestión anaerobia adecuada a introducir en un sistema de producción avícola, para producir biogás y biofertilizantes, en la Granja Universitaria “El Guayabal”, perteneciente a la Universidad Agraria de la Habana, teniendo en cuenta la factibilidad económica, ambiental y energética. Para ello se determinan las especies animales existentes (gallinas Leghorn, pavos de pecho blanco y gallinas camperas) en el escenario, dado que estas especies 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 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 21 418,1 peso por concepto de selección de la tecnología; el volumen necesario de esta tecnología debe ser de 22 m³, siendo posible producir 11,6 kg/día de biofertilizantes, que representan un aporte económico diario de 145 peso/día (5.8 USD/día) constituyendo un valor agregado, unido a los beneficios energéticos y económicos a obtener. Por otro lado, con la introducción de la tecnología de biodigestión anaerobia seleccionada es posible generar energía eléctrica para luminarias, la calefacción y la extracción de aire húmedo, para lo que se requiere de la adquisición de un generador de biogás de 2 kW de potencia.

Palabras clave: energía renovable, factibilidad energética, impacto ambiental, biodigestor.

ABSTRACT: This research is aimed to determine the anaerobic bio-digestion technology suitable for a poultry production system, established at the “El Guayabal” University Farm, belonging to the Agrarian University of Havana considering economic, environmental and energy feasibility. To do this, the animal species existing (Leghorn chickens, white-breasted turkeys and free-range chickens) in the scenario are determined, given that these species will contribute sizing the organic waste to the biodigester, the number of animals is also determined, considering the herd movement, which would make it possible to determine the biomass generated daily for the purpose of establish the of the appropriate biodigester technology and know the behavior of the economic and energy parameters. Among the main results obtained, it was evident that the installation of a tubular polyethylene biodigester is more feasible than the installation of a fixed dome biodigester, meaning an economic saving of 21 418.1 peso due to technology selection; the necessary volume of this technology must be 22 m³, making it possible to produce 11.6 kg/day of biofertilizers, which represents a daily economic contribution of 145 peso/day (5.8 USD/day), constituting an added value, in addition to the energy and economic benefits to be obtained. Furthermore, with the introduction of the selected anaerobic bio-digestion technology it is possible to generate electrical energy for lighting, heating and the extraction of humid air, which requires the acquisition of a 2 kW biogas generator.

Keywords: renewable energy, anaerobic digestion, energy feasibility, environmental impact.

*Autor para correspondencia: Yanoy Morejón-Mesa, e-mail: ymorejon83@gmail.com o yymm@unah.edu.cu

Recibido: 14/02/2024

Aceptado: 05/09/2024

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses

CONTRIBUCIONES DE AUTORES: **Conceptualización:** Y. Morejón Mesa, G. Hernández Cuello; D. Vizcay Villafranca. **Conservación de datos:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca. **Análisis formal:** G. Hernández Cuello; Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca. **Investigación:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca, Y. Amoros Capdesuñer. **Metodología:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca. **Supervisión:** Y. Morejón Mesa, G. Hernández Cuello; D. Vizcay Villafranca. **Validación:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca, Y. Amoros Capdesuñer. **Redacción - borrador inicial:** Y. Morejón Mesa, D. Vizcay Villafranca, Y. Amoros Capdesuñer. **Redacción - revisión y edición:** Y. Morejón Mesa; G. Hernández Cuello; D. Vizcay Villafranca.

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

INTRODUCCION

La energía derivada de biomasa es aquella que surge a partir de los seres vivos o sus desechos, y representa un interesante potencial de aprovechamiento para su conversión en biocombustible, que puede mitigar el uso de combustibles fósiles no renovables como el petróleo.

Los biodigestores son instalaciones en la que un determinado residuo orgánico se descompone por la acción de poblaciones de bacterias anaeróbicas, en ausencia de oxígeno y producen como resultado de ese proceso gases con alto porcentaje de metano y por ende una buena capacidad de generación de energía (Grundey, 1982; Priddle, 1998; Guardado, 2006; Santos *et al.*, 2011; Frankiewicz, 2015; Rahayu *et al.*, 2015; Suárez *et al.*, 2018).

La digestión anaerobia constituye una buena alternativa para tratar residuos con elevada materia orgánica biodegradable (Flotats *et al.*, 2001; Sosa, 2017).

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. 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).

El empleo de la biomasa, mediante un proceso de digestión anaerobia, también es una fuente de energía renovable utilizada en algunas granjas avícolas. La biomasa puede ser utilizada como combustible para calentar las instalaciones y proporcionar electricidad a través de la generación de energía térmica. Los residuos de la granja, como el estiércol y las sobras de alimento, pueden ser utilizados como biomasa para la generación de energía.

Además de proporcionar energía, la utilización de energías renovables en las granjas avícolas también tiene otros beneficios; por ejemplo, la utilización de energías renovables reduce la dependencia de los combustibles fósiles y contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. También puede ayudar a las granjas avícolas a reducir sus costos de energía a largo plazo y mejorar su sostenibilidad (Cadena Avícola, 2023).

A estos aspectos habría que agregar los elevados 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 posibiliten la producción de 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"

perteneciente a la Universidad Agraria de la Habana (UNAH), localizada en San José de las Lajas, de la provincia Mayabeque, Cuba, se realizó el estudio de la factibilidad, con el objetivo de determinar la tecnología de biodigestión anaerobia adecuada a introducir en un sistema de producción avícola, para producir biogás y biofertilizantes.

MATERIALES Y METODOS

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. El suelo existente en la misma, se clasifica como Ferralítico Rojo Típico según Hernández *et al.* (2015) en toda su extensión. Tiene un relieve llano, altura sobre el nivel del mar de 120 m e insolación anual de 1825 kWh/m². Las variables meteorológicas registradas en la Estación Meteorológica Tapaste, San José de las Lajas, durante el periodo enero-septiembre/2023, mostraron que las temperaturas máximas alcanzadas en la región superaron los 32 °C entre los meses de junio a septiembre y las más frías descendieron como promedio hasta 21,1 °C en enero. Las precipitaciones manifestaron incrementos a partir de junio, e indicaron los valores medios más elevados en mayo y agosto con 72 y 77 mm, respectivamente. La humedad relativa varió entre 47% (mínimo, en marzo) y 84% (máximo, en septiembre), mientras que la velocidad del viento alcanzó un valor máximo de 3,6 km/h durante el mes de agosto. El comportamiento de estas variables climáticas permite desarrollar satisfactoriamente producción avícola. Dentro de sus instalaciones se encuentra un sistema de producción avícola, el cual se conforma por tres áreas productivas, una de estas áreas se destina a la producción de huevos con el empleo gallinas ponedoras de la raza White Leghorn, esta área cuenta con una capacidad máxima de 2 872 animales; otra es el área destinada a la producción de pavos cuya capacidad varía en función de la época del año 1 500 animales (verano) y 3 000 animales (invierno) y finalmente el área destinada a las gallinas camperas destinadas también a la producción de huevos con una capacidad de 700 animales. En la [Tabla 1](#) se muestran los datos obtenidos en cuanto al movimiento de la masa animal en el sistema de producción avícola, durante el periodo de observación.

En este estudio solamente se considera el sistema tecnológico destinado a la producción de huevos con gallinas White Leghorn, dado que es el único de los sistemas establecidos en el escenario que brinda la posibilidad de obtener de manera directa las excretas, debido a que las otras especies se desarrollan y manejan en piso con camadas de zeolita y cabecilla de arroz lo que impide el uso de estas excretas en biodigestores.

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

- Cantidad de biomasa diaria generada (Bm_d);
- Volumen diario de material (mezcla estiércol y agua) (V_{dm});
- 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 (V_{tc}).

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).

En el sistema de producción avícola objeto de estudio, para su operatividad, se emplean un grupo de medios consumidores de energía, los que se relacionan en la [Tabla 2](#).

Metodología para el dimensionamiento e instalación de biodigestores anaerobios

Según [Guardado \(2007\)](#) y [Morejón et al. \(2022\)](#), 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 3](#)).

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:

TABLA 1. Movimiento del sistema avícola en el periodo de investigación en la Granja “El Guayabal”

Mov. de Rebaño	Existencia Inicial	Existencia Final	Animales/día	Masa Promedio, kg
Gallinas ponedoras Leghorn White	2872	2872	2872	1,40
Pavos blancos de pecho ancho	3000	1500	2250	6,50
Gallinas camperas	700	700	700	2.20

TABLA 2. Medios consumidores de energía instalados en el sistema de producción avícola.

Portadores energéticos (Cantidad)	Potencia, kW	Tiempo de Operación, h	Energía consumida/día, kWh/día
Sistema de producción de gallinas White Leghorn			
Tubos LED 20W (10)	0.20	14	2.80
Tubos LED 40W (18)	0.72	14	10.08
Sistema de producción de pavos de pecho ancho			
Tubos LED 20W (79)	1.58	14	22.12
Extractor I (1)	0.01	24	0.24
Extractor II (1)	0.02	24	0.48
Calentador I (1)	0.01	24	0.24
Calentador II (1)	0.03	24	0.72
Calentador III (1)	0.06	24	1.44
Calentador IV (1)	0.03	24	0.72
Calentador V (1)	0.15	24	3.60
Sistema de producción de gallinas camperas			
Tubos LED 40W (10)	0.40	14	5.60

TABLA 3. Datos de entrada y salida requeridos para el diseño de un biodigestor anaerobio

Parámetros	Unidad
Datos de entrada	
Cantidad de biomasa diaria generada (Bm_d)	kg día ⁻¹
Proporción excreta-agua (N)	kg L ⁻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) (V_{dm})	kg día ⁻¹
Volumen del biodigestor, (V_{biodig})	m ³
Volumen diario de biogás producido (G)	m ³ día ⁻¹
Volumen de contención del biogás (V_2)	m ³
Volumen del tanque de compensación (V_{tc})	m ³

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

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

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

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).

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

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

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.

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

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

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

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

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

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

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 (V_{tc}) 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 1](#)), 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).

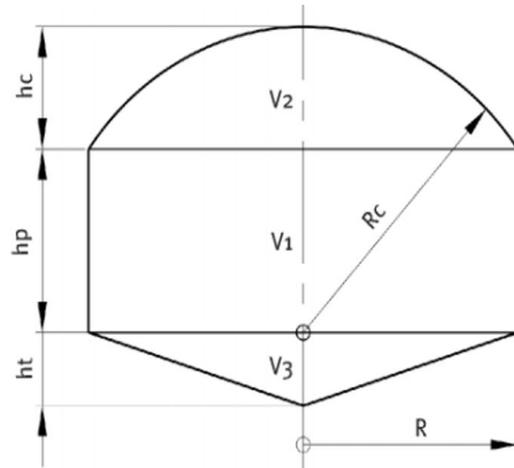


FIGURA 1. Principales partes en las que se divide un biodigestor de cúpula fija. Fuente: ([Guardado \(2007\)](#)).

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:

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

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

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

RESULTADOS Y DISCUSION

Valoración técnico-económica de la introducción de un biodigestor en las condiciones del sistema de producción avícola de la Granja Universitaria “El Guayabal”

Para la determinación de la tecnología de biodigestor adecuada a instalar en las condiciones del sistema de producción avícola, 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 de materiales en el mercado.

Antes de proceder a las determinaciones antes mencionadas, se debe conocer el movimiento de rebaño en el sistema productivo que propicia obtener de forma directa el excremento, el cual se refleja en la [Tabla 4](#).

Los resultados obtenidos de cada uno de estos parámetros de dimensionamiento se representan en la [Tabla 5](#), estos valores se obtienen a partir del movimiento del lote de aves, concebido por la dirección de la granja durante el periodo enero-septiembre/2023, representados en la tabla anterior.

Tomándose en consideración los fundamentos establecidos por [Morejón et al. \(2022\)](#), que por cada 1,4 kg de ave, se obtienen 0,18 kg de excreta, generándose 0,11 m³ biogás/día, con una proporción

de 1:1-8 de excreta-agua (tomándose una proporción de 1:1) y con un tiempo de retención recomendable de 30 días, entonces es posible determinar el dimensionamiento del biodigestor de cúpula fija para esa especie y cantidad de animales.

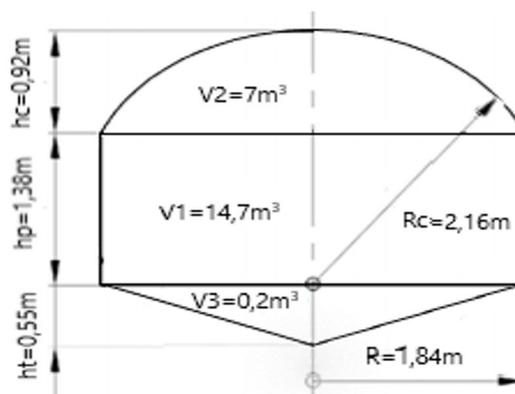


FIGURA 2. Principales dimensiones del biodigestor de cúpula fija propuesto.

A partir de los valores obtenidos en el dimensionamiento del biodigestor de cúpula fija, se propone que este biodigestor posea un volumen de 22 m³, 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 6](#)).

Como se representa en la [Tabla 6](#), el rendimiento de biogás a obtener según la especie es de 0,61 m³/kg y para esa cantidad de animales estabulados es posible obtener un volumen diario de biogás de 220,76 m³/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 obra), en la [Tabla 7](#), se relacionan los materiales requeridos para la construcción e instalación de la tecnología.

TABLA 4. Movimiento de rebaño en el sistema productivo de Gallinas ponedoras Leghorn White durante el periodo de investigación.

Mov. de Rebaño	Existencia Inicial	Existencia Final	Animales/día	Masa Promedio, kg
Gallinas ponedoras Leghorn White	2872	2872	2872	1,40

TABLA 5. Dimensionamiento del biodigestor de cúpula fija

Fuente de materia prima	Animal / día	Masa Promedio, kg	Bm, kg/día	Vdm, m ³ /día	V ^{biodig} , m ³	V ₁ , m ³	V ₂ , m ³	V ₃ , m ³	V _{ct} , m ³	V _{tc} , m ³
Gallinas ponedoras Leghorn White	2 872	1,4	361,872	0,70	22	14,70	7	0,20	7,00	7,00

TABLA 6. 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
Gallinas ponedoras Leghorn White	2 872	1,40	361,90	0,61	220,76

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 8](#), 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 22 m³, estas se reflejan en la [Figura 3](#).

Como se puede apreciar en las [Tablas 7 y 8](#), 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 9](#), se resumen estos valores tanto de diseño, como energéticos.

TABLA 7. Listado de materiales para la construcción e instalación del biodigestor de cúpula fija de 22 m³ propuesto a instalar y costo

Materiales	UM	Cantidad	Precio unitario**, peso/u	Costo, peso*
Cemento	Bolsas	99	183	18117
Arena	m ³	6,60	160	1056
Gravilla (38 mm)	m ³	7,70	200	1540
Bloque 15 cm	u	528	10	5280
Ladrillos macizos	u	715	8	5720
Acero 3/8	kg	178,20	10	1782
Acero ¼	kg	26,40	12.50	330
Puntillas	kg	3,30	50	165
Alambre de amarrar cabillas	kg	5,50	25	137.50
Madera para encofrar	m ³	0,33	120	39.6
Excavación	m ³	41,80	25	1045
Relleno	m ³	19,80	20	396
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	300
Total				37 458.10

*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

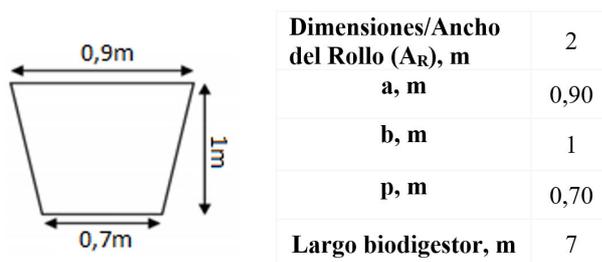


FIGURA 3. Principales dimensiones de la zanja y el biodigestor de tubular de polietileno propuesto.

TABLA 8. Lista de costos de la instalación del biodigestor tubular de polietileno

Materiales	UM	Cantidad	Precio unitario, peso/u	Costo, peso
Módulo de polietileno	m ³	22	6 250 (por cada 10 m ³)	13 750
Excavación	m ³	5,60	25	140
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
Total				16 040

TABLA 9. 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 ³	22,00	22,00
V_{cf} , m ³	7,00	-
V_{tc} , m ³	7,00	7,00
V_{gas} , m ³	7,00	7,00
Ancho del rollo (polietileno), m	-	2,00
Largo del rollo (polietileno), m	-	7,00
Base superior zanja, m	-	0,90
Base inferior zanja, m	-	0,70
Altura de la Zanja, m	-	1,00
Parámetros de energéticos		
Y, m ³ /kg		0,61
G, m ³ /día		220,76
Ahorro Energético Potencial a partir del Potencial energético de 1 m³ de metano (CH₄)		
Energía eléctrica, kWh		397,36
Gas Natural, m ³		132,45
Carbón vegetal, kg		66,22
Madera, kg		596,05
Gasolina, L		176,60
Alcohol combustible, L		264,91
Aceite combustible, L		154,53
Producción de biofertilizantes kg/día		11,60

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 costo de 37 458.10 peso y si se analiza este en función del ahorro energético a obtenerse, por ejemplo, por concepto de gasolina con una producción equivalente diaria de 176,60 L, a partir del precio de este combustible que equivale a 25 peso, diariamente se tendría un ahorro de 4 415.20 peso, por tanto en un año (considerándose 365 días) este ahorro equivaldría a 1 611 548 peso, lo que evidencia que en tan solo 8,5 días de funcionamiento se recupera la inversión por concepto de materiales requeridos para la construcción y se obtiene una ganancia de 1 574 018.80 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 397,36 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 37 170 peso, lo que significa un ahorro anual equivalente a 446 400 peso, evidenciándose que

en tan solo aproximadamente un mes y medio de funcionamiento se recupera la inversión por concepto de materiales requeridos para la construcción, de modo que se tendrían 19,8 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 asciende a un costo de 16 040 peso y si se analiza este en función del ahorro energético a obtenerse, solo por concepto de gasolina con una producción equivalente diaria de 176,60 L, a partir del precio de este combustible que equivale a 25 peso, diariamente se tendría un ahorro de 4 415.20 peso, por tanto en un año (considerándose 365 días) este ahorro equivaldría a 1 611 548 peso, lo que evidencia que en tan solo 4 días de funcionamiento se recupera la inversión por concepto de materiales requeridos para la construcción y se obtiene una ganancia de 1 595 508 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 397,36 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 37 200 peso, lo que significa un ahorro anual equivalente a 446 400 peso, evidenciándose que en tan solo dos semanas de funcionamiento se recupera la inversión por concepto de materiales requeridos para la construcción, de modo que se tendrían aproximadamente 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 9](#), la instalación de biodigestores en unidades avícolas 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 el sistema avícola 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:

- Generar energía eléctrica para el suministro y accionamiento de: luminarias, calefacción y extracción de aire húmedo, para lo que se requiere de la adquisición de un generador de biogás de 2 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 11,6 kg/día de biofertilizantes, que representan un aporte económico diario de 145 peso/día (5.8 USD/día), a partir del precio de los biofertilizantes en el mercado internacional que alcanza un valor de 500 USD/t (12 500 peso/t).

CONCLUSIONES

- Para cubrir la demanda energética del sistema de producción avícola establecido en la Granja “El Guayabal” se propone la instalación de un biodigestor tubular de polietileno debido a sus bajos costos de instalación.
- Con la instalación de un biodigestor tubular de polietileno de 22 m³ es posible producir 11.60 kg/día de biofertilizantes, que representan un aporte económico diario de 145 peso/día (5.80 USD/día), que constituyen un valor agregado.

- Con la introducción de la tecnología de biodigestión anaerobia propuesta es posible generar energía eléctrica para el suministro y accionamiento de: luminarias, calefacción y extracción de aire húmedo.
- La inversión total de la tecnología propuesta se recupera en un periodo máximo de 14 días sin considerar la adquisición del generador de biogás de 2 kW de potencia y si se considera la adquisición de este equipo, el periodo de recuperación de la inversión ascendería a 32 días.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CADENA AVÍCOLA: Implementación de energías renovables en granjas avícolas: una solución sostenible y económica. Cadena Avícola y Porcina, [en línea], Cadena Avícola, 2023, Disponible en: <https://cadenaavicola.com/implementacion-de-energias-renovables-en-granjas-avicolas-una-solucion-sostenible-y-economica/>.
- FLOTATS, X.; CAMPOS, E.; PALATSI, J.; BONMATÍ, X.: “Digestión anaerobia de purines de cerdo y codigestión con residuos de la industria alimentaria”, Porci; Monografías de actualidad, 65: 51-65, 2001.
- FRANKIEWICZ, T.: People’s Republic of China Urban Municipal Waste and Wastewater Program, [en línea], Inst. Technology, Process and Evaluation Best Practices for Utilizing Organic and “Kitchen” Waste from the Municipal Solid Waste Stream” Workshop. Global Methane Initiative, Ningbo, China, 16 p., 2015, Disponible en: <http://communitybydesign.co.uk/2015>.
- GRUNDEY, K.: El tratamiento de los residuos agrícolas y ganaderos, Ed. Ediciones GEA Barcelona, Ediciones GEA ed., Barcelona, España, 278-280 p., 1982.
- GUARDADO, C.J.A.: Manual del Biogás, Ed. Editorial Cubasolar, La Habana, Cuba, 2006.
- GUARDADO, C.J.A.: Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas, Ed. Editorial Cubasolar, La Habana, Cuba, 2007.
- HERNÁNDEZ, J.; PÉREZ, J.; BOSCH, I.; CASTRO, S.: Clasificación de los suelos de Cuba 2015, Ed. Ediciones INCA, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, 93 p., 2015, ISBN: 978-959-7023-77-7.
- MOREJÓN, M.Y.; TORRICO, A.J.C.; MORENO, M.V.; ABRIL, H.D.A.: Fundamentos para la introducción de las fuentes de energía renovables en sistemas agropecuarios. Caso de estudio: Introducción de biodigestores en fincas pertenecientes al departamento Cundinamarca, Colombia, Depósito Legal: 4-1-4299-2022, Publicado en: La Paz-Bolivia, por el Instituto Agrario Bolivia, con el sello editorial CienciAgro, 2022, ISBN: 978-9917-9928-0-6.

- PARRA, D.; BOTERO, M.; BOTERO, J.: “Biomasa residual pecuaria: revisión sobre la digestión anaerobia como método de producción de energía y otros subproductos”, Revista UIS Ingeniería, 18(1): 149-160, 2019.
- PRIDDLE, R.: “Energía y Desarrollo Sostenible”, En: Conferencia Nacional Italiana sobre la Energía y el Medio Ambiente, noviembre de 1998, Italia, 1998.
- RAHAYU, A.S.; KARSIWULAN, D.; YUWON, H.; TRISNAWA, I.; MULYASAR, S.; RAHARDJO, S.: Handbook Pome-to-Biogas. Project development in Indonesia. Jakarta, Ed. Winrock International, Jakarta, Indonesia, 2015.
- SANTOS, A.I.; MEDINA, M.N.; MACHADO, M.Y.; MARTÍN, S.T.M.: La Educación Agropecuaria en la Escuela cubana actual, Ed. Editorial “Félix Valera Morales, Centro de Estudio de la Educación Ambiental. Villa Clara, Cuba, 2011.
- SOSA, R.: “Indicadores ambientales de la producción porcina y ganadera”, En: VII Seminario Internacional de Porcicultura Tropical. La Habana: Instituto de Investigaciones Porcinas 2017, La Habana, Cuba, 2017.
- SUÁREZ, J.; SOSA, R.; MARTINEZ, Y.; CURBELO, A.; FIGUEREDO, T.; CEPERO, L.: “Evaluación del potencial de producción del biogás en Cuba”, Pastos y Forrajes, 41(2): 85-92, 2018, ISSN: 0864-0394, versión On-line ISSN 2078-8452.
- ZHENG, Y.H.; WEI, J.G.; LI, F.S.F.; JIANG, G.M.; LUCAS, M.; WU, M.; NING, T.Y.: “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, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.061.201>.

Yanoy Morejón-Mesa, Dr.C., Profesor Titular. Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Agraria de la Habana, Cuba.

Geisy Hernández-Cuello, MSc., Investigadora Auxiliar. Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Agraria de la Habana, Cuba. e-mail: geisyh@unah.edu.cu.

Darielis Vizcay-Villafranca, MSc. Profesora Asistente, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Agraria de la Habana, Cuba. e-mail: darielisv@unah.edu.cu.

Yordan Oscar Amoros-Capdesuñer, Ingeniero, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Agraria de la Habana, Cuba, e-mail: yordanoscar@unah.edu.cu.

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.