

# Dimensionamiento y potencial energético de biodigestores instalados en sistemas productivos del Departamento de Cundinamarca, Colombia



<https://cu-id.com/2177/v31n4e01>

## Dimensioning and Energy Potential of Biodigesters Installed in Productive Systems in the Department of Cundinamarca, Colombia

✉ Yanoy Morejón Mesa<sup>I\*</sup>, ✉ Vilma Moreno Melo<sup>II</sup>, ✉ Andrés Mogollón Reina<sup>II</sup>

<sup>I</sup>Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

<sup>II</sup>Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede Fusagasugá, Cundinamarca, Sumapaz, Colombia.

**RESUMEN:** La presente investigación se orienta en la determinación del dimensionamiento y potencial energético de un sistema de biodigestores instalados en seis sistemas de producción ganadera, los cuales se localizan en las provincias Sumapaz y Ubaté, Departamento de Cundinamarca, Colombia. 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 energéticos. Entre los principales resultados obtenidos, se evidenció que en ninguno de los sistemas de producción se consideró la biomasa generada diariamente para el establecimiento de los biodigestores tubulares de polietileno sobre la base de su dimensionamiento, que los biodigestores instalados en los sistemas de producción: La Meseta y El Tibar, están sobredimensionados en 4,8 y 1,6 veces, respectivamente; aspecto que evidencia la necesidad de incrementar la biomasa diaria generada, lo cual es logvable con el aumento de animales en los rebaños; en cambio los biodigestores instalados en los sistemas de producción: Santa Bárbara, El Mirador, La Saucita y La Esperanza, evidencian un sub-dimensionamiento, con valores de inferioridad de: 2,9; 1,97; 1,49; 2,04 veces; estos resultados indican que, en estos escenarios, la cantidad de animales empleados para la producción de biomasa es superior a la requerida respecto al biodigestor instalado o que los biodigestores instalados no pueden aprovechar la biomasa generada diariamente.

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

**ABSTRACT:** This research is oriented towards determining the size and energy potential of a system of biodigesters installed in six livestock production systems, which are in the provinces of Sumapaz and Ubaté, in Cundinamarca Department, Colombia. Thus, the existing animal species in the scenario are determined, since they will contribute 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 with the purpose of establishing the sizing of the appropriate biodigester technology and to know the behavior of the energy parameters. Among the main results obtained, it was evidenced that the biomass generated daily was not considered for the dimensioning and establishment of the polyethylene tubular biodigesters. In addition, the biodigesters installed in the production systems at La Meseta and El Tibar are oversized by 4,8 and 1,6 times, respectively; aspect that evidences the need to increase the daily biomass generated, which is achievable by increasing of animals in the herd. The biodigesters installed in the production systems at Santa Bárbara, El Mirador, La Saucita and La Esperanza, demonstrate an under-sizing, with inferiority values of 2,9; 1,97; 1,49; 2,04 times. These results indicate that, in these scenarios, the total number of animals used for biomass production is greater than that required with respect to the installed biodigester or that the installed biodigesters cannot take advantage of the biomass generated daily.

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

\*Author for correspondence: Yanoy Morejón Mesa, e-mail: [yomorejon83@gmail.com](mailto:yomorejon83@gmail.com) o [yymm@unah.edu.cu](mailto:yymm@unah.edu.cu)

Recibido: 26/04/2022

Aceptado: 14/09/2022

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad 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 *et al.*, 2012).

La digestión anaerobia constituye una buena alternativa para tratar residuos con elevada materia orgánica biodegradable (Flotats *et al.*, 2001; Sosa, 2017). Por lo tanto, según plantea y cita Suárez *et al.* (2018) 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 según Rahayu *et al.* (2015); residuos agropecuarios, como purines, estiércol de acuerdo con Bansal *et al.* (2017); y residuos urbanos que comprenden tanto la fracción orgánica de los residuos sólidos según la Biogas Association Ottawa (2015) 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 biomasas 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 diferentes sistemas de producción localizados en el departamento de Cundinamarca, Colombia, se instalaron un conjunto de biodigestores con el objetivo de producir biogás y biofertilizantes, por lo cual el objetivo de la presente investigación se orientó en determinar el dimensionamiento y las potencialidades energéticas del uso de esta tecnología para cada sistema productivo estudiado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización de las áreas experimentales

La investigación se realizó en seis sistemas de producción ganaderos, cuatro de ellos perteneciente a productores privados y dos a la Universidad de Cundinamarca, de estos sistemas, cinco se localizan en la provincia Sumapaz y uno en la provincia Ubaté, en todos los escenarios se instalaron biodigestores con diferentes capacidades, con el objetivo de producir biogás y biofertilizantes.

La dieta del este ganado porcino estuvo compuesta por: Alimento concentrado en harina elaborado con materias primas como: Maíz americano, Torta de soya, Aceite de palma, Mogolla de trigo, Melaza, Carbonato de calcio y Núcleos (aminoácidos comerciales con vitaminas) y en el caso del ganado bovino su dieta se compuso básicamente de pastos y forrajes.

Los pastos más comunes y utilizados en Colombia según Cardona (2012) en el trópico bajo son el angleton, pangola y los pastos brachiarias dependiendo la fertilidad de los suelos y su acidez, mientras que para el trópico alto los más comunes son el kikuyo, raigrás, azul orchoro y el brasilero. Los pastos en trópico bajo son ricos en energía, por lo tanto, el suplemento que se le debe dar al animal debe ser rico en proteína, mientras que, en el trópico alto, los forrajes contienen más proteína para lo cual se necesita optar por productos con alto contenido energético.

Los pastos nativos en términos generales son de bajo valor nutritivo y no proporcionan la cantidad de nutrientes adecuados para mantener una producción sostenida en las explotaciones bovinas. En esta situación el ganadero para continuar produciendo de manera continua (leche) tendría que complementar las deficiencias de los forrajes con el uso de alimentos que proporcionen la proteína al ganado, como la pasta de soya, harinolina, harina de pescado o de alfalfa, los cuales son productos que tienen precios elevados en el mercado, pero que son indispensables para obtener buena producción de carne y/o leche, por lo que es necesario buscar otras fuentes alternativas que le permita mantener la producción a un costo razonable (Bonilla *et al.*, 2014).

La calidad y cantidad de los forrajes durante la época de verano en el trópico bajo y alto se reduce drásticamente provocando una disminución de la producción de leche, los ganaderos han decidido implementar estrategias utilizando suplementos, en el caso del trópico bajo se está optando por utilizar cultivos forrajeros como el ensilaje para reducir costos de producción de cultivos forrajeros y aumentar la

producción de leche en época seca en un 15%, repercutiendo en una mayor rentabilidad y competitividad de los sistemas doble propósito, según [Castro et al. \(2016\)](#). Mientras que en el trópico alto se está utilizando la avena forrajera dorada porque es ideal para los predios ubicados entre 2 200 y 3 000 metros sobre el nivel del mar, ofreciéndoles a los bovinos la energía que necesitan para soportar la temporada seca ([Villegas y Llanos, 2014](#)).

Otra forma manejada por los ganaderos para incrementar la productividad del hato ganadero está en utilizar el sistema de pastoreo por rotación de potreros, el cual se basa en alternar de forma adecuada el periodo de uso con el tiempo de descanso del potrero, permitiendo que el forraje de cada potrero tenga un periodo de recuperación y la resiembra natural aumentando la producción del forraje para facilitar el control de las malezas ([Ruiz, 2013](#)).

Respecto al comportamientos de las variables climáticas, en el caso de la provincia Sumapaz, el comportamiento de la temperatura y humedad varía en función de la época del año, obteniéndose los siguientes valores según la variabilidad del clima: en climas: cálido: 24 °C a 28 °C (9,21%), en clima templado: 18 °C a 23 °C (54%) frío: 12 °C a 18 °C (32,2%) y en el caso de la provincia Ubaté, la *temporada templada* dura 3,7 meses (*diciembre - abril*), y la temperatura máxima promedio diaria es más de 19 °C. El mes más cálido del año en Ubaté es *mayo*, con una temperatura máxima promedio de

18 °C y mínima de 10 °C. La *temporada fresca* dura 2,4 meses, (*junio- septiembre*), y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 18 °C. El mes más frío del año en Ubaté es *enero*, con una temperatura mínima promedio de 7 °C y máxima de 19 °C, la *humedad relativa oscila entre el 75...90% durante todo el año*.

### Metodología para el dimensionamiento e instalación de biodigestores tubulares de polietileno.

Para el cálculo de los parámetros de diseño de un biodigestor tubular de polietileno, 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](#):

$$Bm_d = Ca \times Ce \times Rp \times Rt, \text{ kg. dia}^{-1}$$

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

**TABLA 1.** Sistemas agropecuarios seleccionados para la investigación

Productor	Vereda	Sistema de Producción	Municipio	Provincia	Fin productivo
Alirio Herrera	Bermejál	La Meseta	Fusagasugá	Sumapaz	Bovinos leche
Álvaro Rodríguez	Jordán Bajo	Santa Bárbara	Fusagasugá	Sumapaz	Porcicultura
Avelino Godoy	Guayabal	El Mirador	Fusagasugá	Sumapaz	Porcicultura/ cultivos
Naiceline Castro	Tierra Negra	La Saucita	Fusagasugá	Sumapaz	Porcicultura
Universidad de Cundinamarca	Guavio Bajo	La Esperanza	Fusagasugá	Sumapaz	Porcicultura/ Bovinos leche
Universidad de Cundinamarca	Palogordo	El Tibar	Ubaté	Ubaté	Porcicultura

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

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

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

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

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).

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

donde:

N: proporción excreta-agua, L/ kg, se requiere conocer que la densidad del agua es: 1000 kg/m<sup>3</sup>.

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.

$$V_{biodig} = Vdm \cdot TRH, m^3$$

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

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

donde:

Y- rendimiento de biogás, m<sup>3</sup>. kg<sup>-1</sup>

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<sup>3</sup>/día.

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.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Dimensionamiento del biodigestor.

Para el correcto dimensionamiento del biodigestor 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 del tanque de compensación ( $Vtc$ ).

Los resultados obtenidos de cada uno de estos parámetros se representan en la [Tabla 2](#), estos valores se obtienen a partir del movimiento de rebaño concebido por el propietario de la finca durante el mes de abril de 2022.

### 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).

Para determinar el aporte energético de la población animal en cada sistema de producción, es necesario considerar que por cada 50 kg de cerdo se obtienen 2,25 kg de excreta, generándose 0,10 m<sup>3</sup> de biogás/día, y por cada 350 kg de ganado bovino (específicamente vacas lecheras) se obtienen 10 kg de excreta, generándose 0,36 m<sup>3</sup> de biogás/día, para la mezcla se establece una proporción de 1:1 de excreta-agua (para ambas especies) y con un tiempo de retención recomendable de 40 días ([Tabla 3](#)).

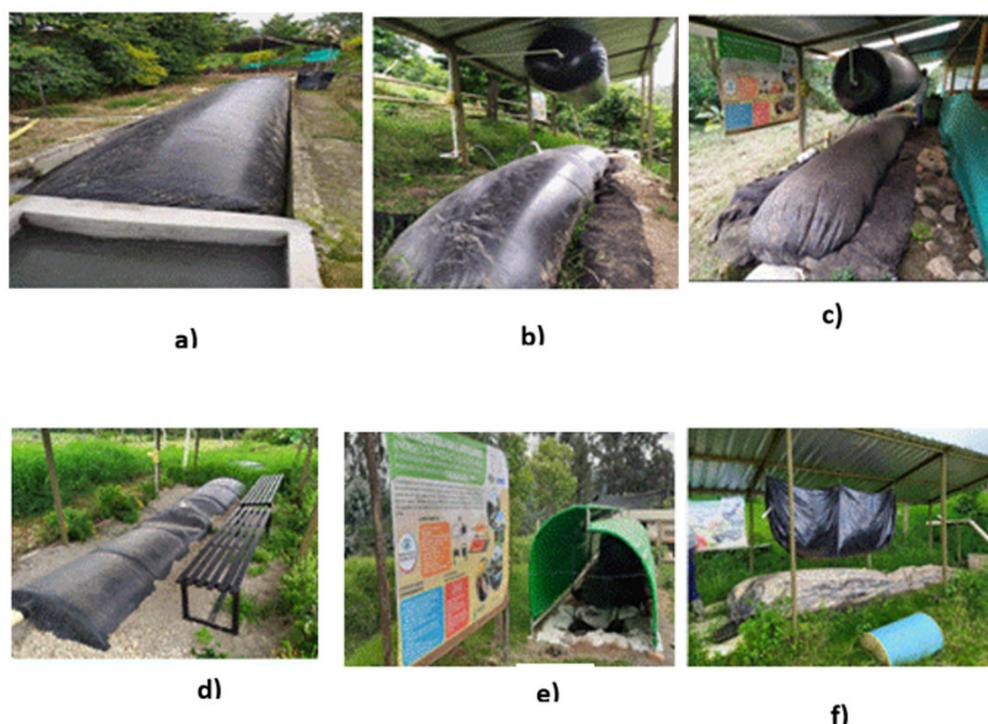
Sin embargo, en los sistemas de producción, fueron instalados biodigestores tubulares de polietileno, sin considerar la cantidad de animales existente y la cantidad de materia generada diariamente; este elemento limita considerablemente el aprovechamiento del potencial energético a obtener en cada uno de los escenarios ([Figura 1](#)).

Como se evidencia en la [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.

Resulta válido señalar que el correcto dimensionamiento de este tipo de tecnologías, propicia el aprovechamiento máximo de los desechos

**TABLA 3.** Aporte energético de la población animal en cada sistema de producción

Sistema de producción	Fuente de materia prima	Animal / día	Masa Promedio, kg	Bmd, kg/día	Y, m <sup>3</sup> /kg	G, m <sup>3</sup> /día
La Meseta	Bovinos	20	400	25,71	0,036	0,92
Santa Bárbara	Porcinos	992	99	4 360,84	0,044	191,87
El Mirador	Porcinos	73	75	246,37	0,044	10,84
La Saucita	Porcinos	50	83	186,75	0,044	8,21
La Esperanza	Porcinos/Bovinos	15/50	92/415	358,52	0,080	28,68
El Tibar	Porcinos	21	85	80,32	0,044	3,53



**FIGURA 1.** Biodigestores instalados en la Fincas seleccionadas: a) Santa Bárbara, b) El Mirador, c) La Saucita, d) La Esperanza, e) El Tibar, f) La Meseta.

**TABLA 4.** Potencial energético en función del biodigestor instalado en cada sistema de producción

Dimensionamiento de biodigestores instalados	Predios (Sistemas de producción seleccionados)					
	La Meseta	Santa Bárbara	El Mirador	La Saucita	La Esperanza	El Tibar
$V_{\text{biodig}}$ , m <sup>3</sup>	10	120	10	10	14	10
$V_{\text{tc}}$ , m <sup>3</sup>	3,3	39,2	3,3	3,3	4,6	3,3
$V_{\text{gas}}$ , m <sup>3</sup>	3,3	39,2	3,3	3,3	4,6	3,3
<b>Parámetros de energéticos</b>						
Y, m <sup>3</sup> /kg	0,036	0,044	0,044	0,044	0,080	0,044
G, m <sup>3</sup> /día	0,92	71,2	10,84	8,21	28,68	3,53
<b>Ahorro Energético Potencial</b>						
Energía eléctrica, kWh	1,6	128,6	19,5	14,7	51,6	6,3
Gas Natural, m <sup>3</sup>	0,5	42,7	6,5	4,9	17,2	2,1
Carbón vegetal, kg	0,3	21,4	3,2	2,5	8,6	1,0
Madera, kg	2,5	192,2	29,2	22,2	77,4	9,5
Gasolina, L	0,7	56,9	8,6	6,6	22,9	2,8
Alcohol combustible, L	1,1	85,4	12,9	9,8	34,4	4,2
Fuel oil, L	0,6	49,8	7,5	5,7	20	2,5

obtenidos en los escenarios productivos, este criterio se sustenta en las diferencias representadas en la tabla antes mencionada, evidenciándose que en las fincas: La Meseta, El Tibar y Santa Bárbara, no se aprovecha al máximo el volumen del biodigestor instalado, en el caso de las dos primeras fincas la cantidad de animales no cubre la potencialidad del biodigestor instalado y en el caso de la tercera el digestor instalado solo aprovecha aproximadamente el 35% del potencial energético a obtener. En la Unidad Agroambiental La Esperanza, se aprecia que el biodigestor instalado tampoco es capaz de asimilar la cantidad de biomasa

generada diariamente, por lo que se podría valorar disminuir la cantidad de excreta bovina suministrada o instalar un biodigestor de mayor capacidad.

En función de los resultados obtenidos y mostrados en la [Tabla 4](#), se realizó el diseño del biodigestor adecuado para cada sistema de producción, estos resultados se pueden apreciar en la [Tabla 5](#).

Como se observa en la [Tabla 5](#), los biodigestores instalados en los sistemas de producción: La Meseta y El Tibar, están sobredimensionados en 4,8 y 1,6 veces, respectivamente; este elemento evidencia la necesidad de incrementar la biomasa diaria generada, lo cual es

**TABLA 5.** Potencial energético y dimensionamiento en función del biodigestor diseñado para cada sistema de producción

Dimensionamiento de biodigestores instalados	Predios (Sistemas de producción seleccionados)					
	La Meseta	Santa Bárbara	El Mirador	La Saucita	La Esperanza	El Tibar
$V_{biodig}$ , m <sup>3</sup>	2,05	348,8	19,7	14,9	28,6	6,4
$V_{tc}$ , m <sup>3</sup>	0,6	115,1	5,9	4,4	8,6	1,9
$V_{gas}$ , m <sup>3</sup>	0,6	115,1	5,9	4,4	8,6	1,9
<b>Parámetros de energéticos</b>						
Y, m <sup>3</sup> /kg	0,036	0,044	0,044	0,044	0,080	0,044
G, m <sup>3</sup> /día	0,92	191,8	10,84	8,21	28,68	3,53
<b>Ahorro Energético Potencial</b>						
Energía eléctrica, kWh	1,6	345,2	19,5	14,7	51,6	6,3
Gas Natural, m <sup>3</sup>	0,5	115	6,5	4,9	17,2	2,1
Carbón vegetal, kg	0,3	57,5	3,2	2,5	8,6	1,0
Madera, kg	2,5	517,8	29,2	22,2	77,4	9,5
Gasolina, L	0,7	153,4	8,6	6,6	22,9	2,8
Alcohol combustible, L	1,1	230,2	12,9	9,8	34,4	4,2
Aceite combustible, L	0,6	134,3	7,5	5,7	20	2,5

lograble con el aumento de animales en los rebaños, ya sean porcinos o bovinos. En cambio, en el caso de los biodigestores instalados en los sistemas de producción: Santa Bárbara, El Mirador, La Saucita y La Esperanza, se aprecia un sub-dimensionamiento, evidenciándose que los biodigestores instalados en estos sistemas de producción poseen dimensiones inferiores a las que potencialmente podrían instalarse, encontrándose valores de inferioridad de: 2,9; 1,97; 1,49; 2,04 veces; estos resultados indican que en estos escenarios, la cantidad de animales empleados para la producción de biomasa es superior a la requerida respecto al biodigestor instalado o que los biodigestores instalados no pueden aprovechar la biomasa generada diariamente de debido a su capacidad. En el caso específico de la finca Santa Bárbara, se evidencia que el volumen del biodigestor instalado está muy por debajo del que se debería instalar, a partir de la cantidad de animales existente y la cantidad de materia generada diariamente; este elemento limita considerablemente el potencial energético, solamente en ese caso específico el volumen diario de biogás se incrementa considerablemente y por ende se incrementaría el ahorro energético potencial.

### CONCLUSIONES

- Se evidencia que en ninguno de los sistemas de producción se consideró la biomasa generada diariamente para el establecimiento de los biodigestores tubulares de polietileno sobre la base de su dimensionamiento.
- Los biodigestores instalados en los sistemas de producción: La Meseta y El Tibar, están sobredimensionados en 4,8 y 1,6 veces, respectivamente; aspecto que evidencia la

necesidad de incrementar la biomasa diaria generada, lo cual es lograble con el aumento de animales en los rebaños.

- Los biodigestores instalados en los sistemas de producción: Santa Bárbara, El Mirador, La Saucita y La Esperanza, evidencian un sub-dimensionamiento, con valores de inferioridad de: 2,9; 1,97; 1,49; 2,04 veces, respectivamente; estos resultados indican que, en estos escenarios, la cantidad de animales empleados para la producción de biomasa es superior a la requerida respecto al biodigestor instalado o que los biodigestores instalados no pueden aprovechar la biomasa generada diariamente.
- El dimensionamiento adecuado de la tecnología de digestión anaerobia está estrechamente relacionado con la biomasa generada diariamente y por ende con la cantidad de animales existentes en el sistema de producción.
- La implementación de estas tecnologías alternativas contribuye al ahorro energético y a la conservación y preservación del medioambiente, lo cual se refleja en los valores de ahorro energético potencial obtenidos.

### 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.
- BIOGAS ASSOCIATION OTTAWA: *Biogas Association Ottawa Municipal guide to biogas, [en línea]*, Inst. Biogas Association Ottawa, Institucional, Ottawa, Canada, 2015, Disponible en: <https://biogasassociation.ca/>

- [resources/municipal\\_guide\\_to\\_biogas](#), [Consulta: 4 de junio de 2016].
- BONILLA, J.A.; BUSTAMANTE, G.J.J.; VIDAL, D.M.L.: *Manual de producción de Ganado lechero en el estado de Nayarit*, Ed. Centro Nacional de Investigación Regional Pacífico, primera ed., México, Publicación Especial No. 1., 2014, ISBN: 978-607-37-0387-1.
- CARDONA, M.J.: *Módulo Pastos y especies forrajeras: Pastos y especies forrajes como sustento alimenticio más abundante y barato para bovinos.*, Ed. Fedegan, 2012, ISBN: 978-958-8498-42-3.
- CASTRO, R.E.; SIERRA, A.A.M.; MOJICA, R.E.; CARULLA, F.J.; LASCANO, A.C.: “Uso múltiple de leguminosas como abono verde, en rotación con maíz, y heno, para producción de leche”, *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(1): 17-29, 2016, ISSN: 0122-8706.
- FLOTATS, R.X.; CAMPOS, P.E.; PALATSI, C.J.; BONMATÍ, B.A.: “Digestión anaerobia de purines de cerdo y codigestión con residuos de la industria alimentaria”, *Porci; Monografías de actualidad*, 65: 51-65, 2001, ISSN: 1130-8451.
- FRANKIEWICZ, T.: “People’s Republic of China Urban Municipal Waste and Wastewater Program”, [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, p. 16, 2015, Disponible en: <http://communitybydesign.co.uk/>.
- PARRA, O.D.L.; BOTERO, L.M.A.; BOTERO, L.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, DOI: [10.18273/revuin.V18No.2-2019013](https://doi.org/10.18273/revuin.V18No.2-2019013).
- 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.
- RUIZ, E.: *Guía Técnica: Manejo de pastos y rotación de Potreros*, [en línea], Ed. Agrobanco, Perú, Agrobanco. Perú. 2013, Disponible en: <http://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/034-c-pasturas.pdf>.
- SANTOS, A.I.; MEDINA, M.N.; MARTÍN, S.T.; MACHADO, M.Y.: *La Educación Agropecuaria en la Escuela Cubana Actual*, Ed. Editorial “Félix Valera Morales”, Centro de Estudio de la Educación Ambiental ed., Santa Clara, Villa Clara, Cuba, Centro de Estudio de la Educación Ambienta, 2012.
- SOSA, R.: “Indicadores ambientales de la producción porcina y ganadera”, En: *VII Seminario Internacional de Porcicultura Tropical, VII Seminario Internacional de Porcicultura Tropical*, Instituto de Investigaciones Porcinas, La Habana, Cuba, 2017.
- SUÁREZ, H.J.; SOSA, C.R.; MARTÍNEZ, L.Y.; CURBELO, A.A.; FIGUEREDO, R.T.; CEPERO, L.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.
- VILLEGAS, P.; LLANOS, C.: *Cultivar avena para ensilas, opción para predios lecheros especializados*, [en línea], Contextoganadero, 2014, Disponible en: <http://www.contextoganadero.com/reportaje/cultivar-avena-para-ensilar-opcionpara-pr-edios-lecheros-especializados>.
- ZHENG, Y.H.; WEI, J.G.L.; FENG, S.F.; LI, 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>.

Yanoy Morejón Mesa, Profesor Titular. Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Agraria de La Habana, Cuba. Correo: [ymorejon83@gmail.com](mailto:ymorejon83@gmail.com) o [ymm@unah.edu.cu](mailto:ymm@unah.edu.cu).

Vilma Moreno Melo, Profesora, Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede Fusagasugá, Cundinamarca, Sumapaz Colombia, e-mail: [vilma@ucundinamarca.edu.co](mailto:vilma@ucundinamarca.edu.co).

Andrés Mogollón Reina, Profesor, Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede Fusagasugá, Cundinamarca, Sumapaz Colombia, e-mail: [amogollon@ucundinamarca.edu.co](mailto:amogollon@ucundinamarca.edu.co).

**AUTHOR CONTRIBUTIONS:** Conceptualization: Y. Morejón, V. Moreno. **Data curation:** Y. Morejón, V. Moreno. **Formal Analysis:** Y. Morejón, V. Moreno, A. Mogollón. **Investigation:** Y. Morejón, V. Moreno, A. Mogollón. **Methodology:** Y. Morejón. **Project administration:** V. Moreno, A. Mogollón. **Validation:** Y. Morejón, V. Moreno, A. Mogollón. **Visualization:** Y. Morejón, V. Moreno, A. Mogollón. **Writing - original draft:** Y. Morejón, V. Moreno. **Writing - review & editing:** Y. Morejón, V. Moreno, A. Mogollón.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

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.