

## Dimensionamiento de un biodigestor para el tratamiento de excretas de cerdos

### Dimensioning of a biodigester for the treatment of pig excreta

Yoan Manuel Ramos Botello<sup>1,\*</sup>, Jorge Alexander Bosch Cabrera<sup>1</sup>, René Misael Arias Hidalgo<sup>1</sup>, Amaury Santana Reyes<sup>1</sup>, David Ramón Gutiérrez Toledo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Granma. Carretera a Manzanillo, km 17 ½, Peralejo, Bayamo. Granma, Cuba.

<sup>2</sup>Fábrica de Conservas de Frutas y Vegetales de Yara. Granma, Cuba.

\* Autor de correspondencia: [yramosb@udg.co.cu](mailto:yramosb@udg.co.cu)

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



**Recibido:** 7 noviembre 2021 **Aceptado:** 28 noviembre 2021 **Publicado:** 10 de enero 2022

#### Resumen

La obtención de biogás en zonas rurales a partir de desechos orgánicos, tiene beneficios ambientales, económicos y sociales. La presente investigación se llevó a cabo en una comunidad rural de la provincia de Granma, Cuba. El objetivo fundamental de dicha investigación fue la obtención de las dimensiones básicas para la construcción de un biodigestor, a partir del potencial de biomasa producto de la cría porcina. Para un total de 100 cerdos, con un peso vivo de 50 kg se obtuvieron las dimensiones de un biodigestor de cúpula fija con tanque de compensación, que garantiza el procesamiento de 225 kg·día<sup>-1</sup> de excretas. A partir de la biomasa procesada se producirán alrededor de 17,1 m<sup>3</sup>·día<sup>-1</sup> de biogás, el cual será utilizado como sustituto de la corriente eléctrica y la leña en la cocción de alimentos. Además, se pueden obtener entre 0,6 y 0,63 m<sup>3</sup>·día<sup>-1</sup> de efluentes con un alto contenido de nutrientes en la nutrición de las plantas. A partir de la capacidad de procesamiento de biomasa del biodigestor se pudo estimar que el potencial de mitigación del calentamiento global es aproximadamente de 56,7 t de CO<sub>2</sub> equivalente por año, lo cual contribuye con la disminución de gases de efecto invernadero.

**Palabras clave:** biodigestor, biogás, medio ambiente, captura de CO<sub>2</sub>

#### Abstract

Obtaining biogas in rural areas from organic waste has environmental, economic and social benefits. This research was carried out in a rural community of the province of Granma, Cuba. The main scope of this research was to obtain the basic dimensions for the construction of a biodigester, from the biomass potential product of pig farming. For a total of 100 pigs, with a live weight of 50 kg, the dimensions of a fixed dome biodigester with a compensation store tank were obtained, which guarantees the processing of 225 kg·day<sup>-1</sup> of wastes. From the processed biomass, around 17.1 m<sup>3</sup>·day<sup>-1</sup> of biogas will be produced, which will be used as a substitute for electricity and firewood in cooking food. In addition, between 0.6 and 0.63 m<sup>3</sup>·day<sup>-1</sup> of effluents with a high content of nutrients in plant nutrition can be obtained. From the biomass processing capacity of the biodigester, it was possible to estimate that the global warming mitigation potential is approximately 56.7 t of CO<sub>2</sub> equivalent per year, which contributes to the reduction of greenhouse gases.

**Keywords:** biodigester, biogas, environment, CO<sub>2</sub> capture

## 1. Introducción

La producción porcina en Cuba se ha incrementado paulatinamente. En el 2019 se produjeron 180 mil toneladas de carne, cifra que debe aumentar en los años venideros. En 2017 el sector porcino abarcaba 135 granjas de producción y 4 681 campesinos vinculados mediante convenios de cría [1]. El aumento de la producción de cerdos sin lugar a dudas favorece el desarrollo económico del país, pero puede tener efectos negativos en términos ambientales, ya que muchas de estas granjas no cuentan con sistemas eficientes para el tratamiento de los residuales que se generan.

Producto de la de la cría de cerdos, se generan grandes volúmenes de desechos orgánicos, constituidos por la mezcla de excretas con residuos de comida y el agua de la limpieza. De manera general, la forma de eliminación de estos residuos es su dispersión sobre el suelo. Dichos residuos al no ser tratadas adecuadamente constituyen un serio problema, ya que contaminan los medios receptores (suelos, aire y aguas), afectando de forma importante el medio ambiente.

Una forma eficiente y sostenible para el procesamiento de estos residuos, es el tratamiento anaerobio de los mismos a partir de un biodigestor, como una alternativa viable para proporcionar energía limpia [2]. Estos permiten mediante la digestión anaerobia (DA), disminuir la carga contaminante, mejorar la capacidad fertilizante del material, eliminar los malos olores y obtener biogás [3]. Este último puede ser utilizado como cualquier otro combustible, para la cocción de alimentos, el alumbrado mediante lámparas adaptadas, como combustible para vehículos, etc. Diversos estudios [4-7] han demostrado que los biodigestores se encuentran entre las opciones más favorables para la producción de energía limpia, rentable y ambientalmente racional con múltiples beneficios para los hogares.

Para la construcción de biodigestores, una de las dificultades que se presenta es la determinación de sus parámetros constructivos. El cálculo de dichos parámetros resulta una tarea compleja y de ellos depende el correcto funcionamiento y eficiencia del biodigestor. El objetivo fundamental de esta investigación, es el dimensionamiento de un biodigestor para el procesamiento de los residuos producto de la cría de cerdos, en la comunidad Punta de Jagua, del municipio Bayamo. Las dimensiones de este deben garantizar el procesamiento de la biomasa disponible, producir el volumen de gas en función de la cantidad de residuos y a su vez, garantizar la presión del gas necesaria para su utilización.

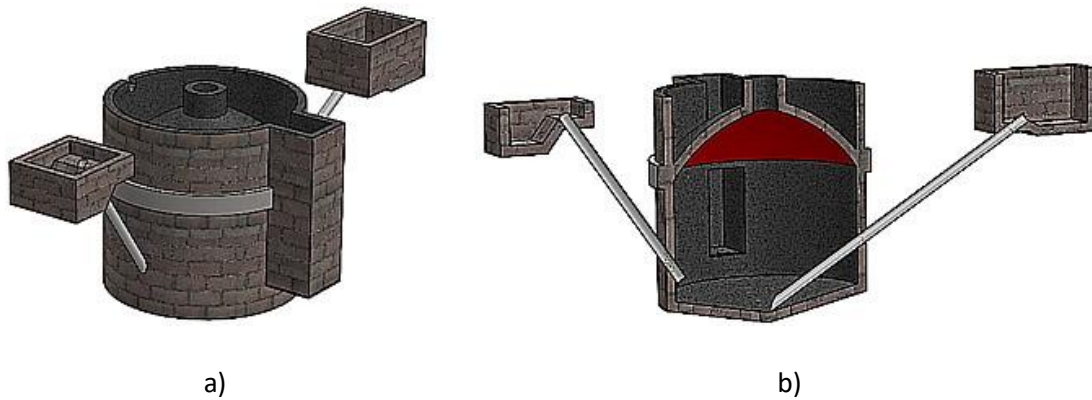
## 2. Materiales y Métodos

Para la selección del tipo de biodigestor se analizaron los aspectos constructivos y operacionales, así como las condiciones y necesidades requeridas. La temperatura media anual de la zona de instalación de dicho biodigestor fue de 28°C, por lo que la digestión de residuales se realizará en el rango mesofílico (entre 25 y 35°C) [8]. Se escogió un biodigestor de cúpula fija con un tanque de compensación, el cual es una variante del modelo chino, como se aprecia en la Figura 1. El mismo tiene como ventaja una elevada vida útil (entre 20 y 35 años), el tanque de compensación le permite mantener valores de presión del biogás relativamente constante y elevados y no posee partes móviles [9].

La metodología para el dimensionamiento fue seleccionada a partir de la posible carga orgánica disponible, lo cual permitirá el tratamiento anaerobio de toda la biomasa disponible. Al realizar el estudio, se tuvo en cuenta el total de cerdos y el peso de estos, lo cual representó un peso vivo total de 100 cerdos de 50 kg ( $P_V$ ). De acuerdo a lo antes planteado, la cantidad total de excretas ( $C_{TE}$ ) se determinó de acuerdo a la Ecuación 1.

$$C_{TE} = P_V \cdot E_H \cdot \frac{T_E}{24} \quad (1)$$

$$C_{TE} = 225 \text{ kg} \cdot \text{día}^{-1}$$



**Fig.1** Biodigestor de cúpula fija con tanque de compensación  
a) Modelo completo b) Vista seccionada

El porcentaje de excretas de cerdo de acuerdo al peso vivo del animal ( $E_H$ ) es de 2,25% [5,10]. El tiempo de estabulación de los animales ( $T_E$ ), el cual define el tiempo que los animales permanecen encerrados, está dado en h día<sup>-1</sup>. En el caso de los cerdos objeto de estudio, permanecen las 24 h del día encerrados, por lo que se aprovecha el 100% de las excretas.

Para formar la biomasa a digerir y garantizar un desarrollo adecuado de la anaerobiosis metanogénica, es necesario cierta masa de agua, la cual debe estar en correspondencia con el tipo de animal del cual provenga la excreta. La cantidad de agua utilizada según para el caso de las excretas de cerdo, debe ser en una proporción de 1:2 [11]. Dada esa proporción, se consideró que la mezcla posee una densidad ( $\rho$ ) de 1000 kg (m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>. Teniendo en cuenta este aspecto, la biomasa disponible diariamente ( $B_D$ ) es determinada de acuerdo a la Ecuación 2.

$$B_D = \frac{C_{TE} + (C_{TE} \cdot 2)}{\rho} \quad (2)$$

$$B_D = 0,70 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$$

De acuerdo al resultado obtenido, la biomasa disponible es de 0,70 m<sup>3</sup>·día<sup>-1</sup>. A partir de esta variable es posible determinar el volumen del biodigestor y la producción de biogás. El tiempo de retención hidráulica (TRH) es uno de los parámetros más importantes que afecta directamente el desempeño de la DA. La reducción dentro de los parámetros establecidos del TRH es eficaz en aumentar la producción de metano y por ende la eficiencia del biodigestor [12]. La fracción de materia orgánica degradada aumenta al aumentar el TRH; sin embargo la producción volumétrica de metano (producción por unidad de reactor) disminuye, una vez superado el óptimo. El TRH está directamente relacionado con la temperatura ambiente de cada zona, disminuyendo a medida que aumenta la temperatura [13]. En la Tabla 1 se muestran los TRH recomendados en función de la temperatura ambiente de la zona donde será construida la planta, los cuales pueden ser utilizados para el dimensionamiento del biodigestor. La temperatura en el lugar de instalación del biodigestor es superior a los 28°C, por lo que el TRH sería de 40 días según los valores de la Tabla 1.

**Tabla 1.** TRH en función de la temperatura [13]

Temperatura ambiente (°C)	TRH (días)
12 - 15	60
16 - 20	50
>20	40

El volumen del biodigestor donde se almacenará la biomasa y ocurrirá la digestión anaerobia ( $V_D$ ), depende de  $B_D$  y del TRH (Ecuación 3).

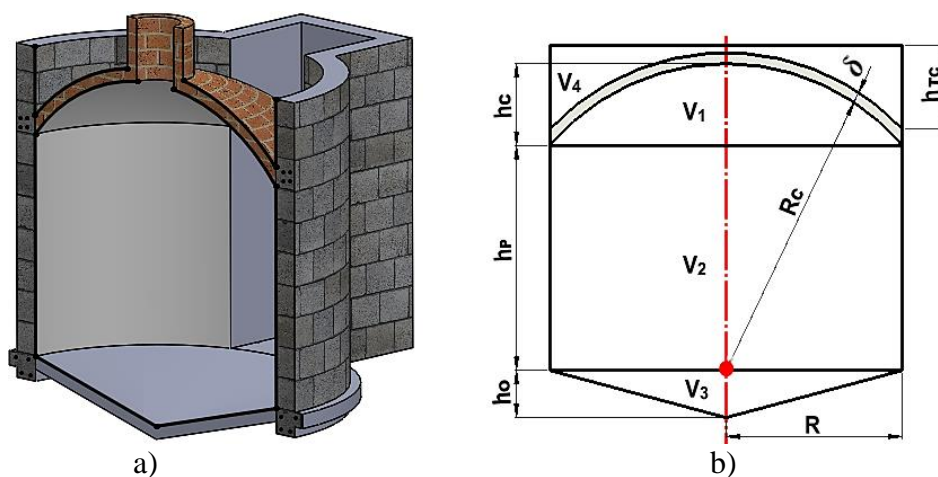
$$V_D = B_D \cdot TRH \quad (3)$$

$$V_D = 28 \text{ m}^3$$

Los sólidos volátiles ( $SV$ ) representan el 20% de la cantidad total de excretas frescas producidas cada día, por lo que la cantidad de  $SV$  que se genera diariamente ( $C_{SV}$ ) es de  $45 \text{ kg} \cdot \text{día}^{-1}$ . Teniendo este valor y sabiendo que el volumen de biogás producido por kilogramo de sólidos volátiles es de  $0,38 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$  [14], el volumen de biogás es de  $17,1 \text{ m}^3 \cdot \text{día}^{-1}$ .

#### *Cálculo de las dimensiones básicas del biodigestor*

En la Figura 2 se muestra la geometría básica del biodigestor objeto de estudio, así como los parámetros a calcular. La metodología de cálculo seguida es la propuesta por Guardado [11]. Como se puede observar, en la Figura 2, el volumen del biodigestor se divide en cuatro partes básicas: un cono, que se encuentra en la parte inferior y es donde se irán depositando por gravedad el lodo una vez concluido la digestión anaerobia; un cilindro, que conjuntamente con el cono conformarán el volumen que ocupe la biomasa y donde ocurrirá todo el proceso de biodigestión; la cúpula que no es más que una sección de esfera hueca donde se acumulará el biogás que será generado dentro de la unidad de digestión anaerobia. La suma de estos tres volúmenes tendrá que ser igual a  $V_D$ ; por último, el tanque de compensación que es donde se acumula el volumen de mezcla el cual es desalojado de la cámara cilíndrica por la presión ejercida por el biogás a medida que se va formando.

**Fig.2** Dimensiones básicas del biodigestor

a) Sección transversal del modelo en tres dimensiones b) Geometría básica

$h_C$ : altura de la cúpula (m).  $h_P$ : altura del cilindro (m).  $h_{CO}$ : altura del cono (m).  $h_{TC}$ : altura del tanque de compensación.  $R_C$ : radio de la cúpula (m).  $R$ : radio básico (m).  $V_1, V_2, V_3, V_4, V_B$ : volumen de la cúpula, cilindro, cono, tanque de compensación y biodigestor respectivamente (m).  $\delta$  espesor (m).

A partir del cálculo de  $V_B$  según la metodología establecida por [11], se determinan todos los parámetros geométricos a los cuales se hizo referencia en la Figura 2 y que a continuación se describen:

$$R = \sqrt[3]{\frac{V_B}{\pi \cdot 1,121}} \quad (4)$$

$$R = 1,99 \text{ m}$$

Para que exista relación entre las dimensiones de las diferentes partes que forman la geometría del biodigestor, se calcula el coeficiente de proporcionalidad ( $U$ ) según la Ecuación 5.

$$U = \frac{R}{4} \quad (5)$$

$$U = 0,49 \text{ m}$$

A partir del coeficiente antes mencionado, son calculados los parámetros geométricos que se muestran en la Figura 2. A continuación se plantean las ecuaciones correspondientes:

$$R_C = 5 \cdot U \quad (6)$$

$$h_C = 2 \cdot U \quad (7)$$

$$h_P = 3 \cdot U \quad (8)$$

$$h_{CO} = 0,15 \cdot 2R \quad (9)$$

$$V_1 = \frac{\pi \cdot h_C^2 \cdot (3 \cdot R_C - h_C)}{3} \quad (10)$$

$$V_2 = \pi \cdot R^2 \cdot h_P \quad (11)$$

$$V_3 = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot h_{CO}}{3} \quad (12)$$

Para el cálculo de las dimensiones del tanque de compensación se recomienda que el volumen de este sea igual al volumen donde se acumulará el biogás. Esto se debe a que el volumen de mezcla que pasa a dicho tanque es el que desaloja el biogás al formarse, el cual se acumula en la cúpula. Debido a que el radio del tanque de compensación es igual al de la cámara de digestión, la expresión para el cálculo de la altura queda tal como se muestra a continuación. A dicha altura se le añade un margen de seguridad de 0,2 m (Ecuación 13).

$$h_{TC} = \frac{V_1}{\pi \cdot R^2} + 0,2 \text{ m} \quad (13)$$

### 3. Resultados y Discusión

De acuerdo a los beneficios que se pueden obtener a partir de la producción de energía por medio de biodigestores, es de gran importancia aprender el diseño de éstos, así como su dimensionamiento, pues con ello se garantizan dimensiones adecuadas para el potencial energético existente, o bien se pudiera dimensionar en función de la demanda de biogás necesaria. Además, se pueden conocer los beneficios a obtener antes de su construcción.

En la presente investigación una vez calculados los parámetros básicos del biodigestor, es posible su construcción garantizando el procesamiento de toda la biomasa generada. En la Tabla 2 se muestran las dimensiones antes mencionadas.

**Tabla 2.** Parámetros básicos para la construcción del biodigestor

$R_C$ (m)	$h_C$ (m)	$h_P$ (m)	$h_{CO}$ (m)	$h_{TC}$ (m)	$V_1$ (m <sup>3</sup> )	$V_2$ (m <sup>3</sup> )	$V_3$ (m <sup>3</sup> )	$V_4$ (m <sup>3</sup> )
2,45	0,98	1,47	0,59	0,66	6,40	18,28	2,44	6,40

Resultan de gran importancia los materiales para la construcción del biodigestor. Por lo general se emplean ladrillos para la cúpula y bloques en las paredes verticales. La placa del fondo constituye la cimentación del biodigestor y es la que soporta todas las cargas de la estructura. El mortero de cemento siempre debe estar elaborado con una adición de cal, lo cual facilita el trabajo. Además, se logra una mejor impermeabilidad en la superficie en la que se aplica. En la investigación de Guardado [11], se detallan los pasos a seguir para una correcta fabricación de un biodigestor de cúpula fija.

La puesta en funcionamiento del biodigestor objeto de estudio, contribuye a preservar y mejorar la calidad del medio ambiente. Esto se debe a que alrededor de 225 kg·día<sup>-1</sup> de excretas de cerdo, las cuales son altamente contaminante, serán procesadas anaerobiamente y transformadas en biogás y biofertilizante. A partir del procesamiento de dichas excretas, se pueden obtener 18,9 m<sup>3</sup>·día<sup>-1</sup> de biogás, el cual será utilizado en la cocción de alimentos tanto para las personas como para los propios cerdos. Con esto mejoran las condiciones de vida de la mujer campesina, al tener otra opción además de la energía eléctrica, para la cocción de alimentos. También se elimina el uso de la leña, elemento que contribuye a reducir la tala de árboles con este fin.

No existe gran diferencia entre el tipo de cerdo utilizado para la ceba en Cuba, así como tampoco con el tipo de alimentación utilizada para dicha ceba. Por lo tanto, tampoco existirán diferencias significativas en la composición de la biomasa obtenida producto de la cría de cerdos, ni del biogás que se obtiene de esta. Un estudio publicado por Sosa et al. [1] expone que el poder calórico superior y el índice de Wobbe del biogás obtenido en diferentes tipos de biodigestores en las zonas rurales de las provincias de Pinar del Río, La Habana y Ciudad de La Habana, es de 20,77 MJ(m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup> y 20,02 MJ(m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup> respectivamente. Dichos valores se encuentran dentro de los parámetros internacionales, por lo que se puede inferir que la calidad del biogás que se obtendrá en el biodigestor objeto de estudio será adecuada para la cocción de alimentos.

Producto de la digestión anaerobia, además del biogás, también se obtienen dos componentes de alta calidad como biofertilizantes, uno líquido conocido como biol, el cual representa la mayor parte del efluente resultante y el componente sólido conocido como biosol. Estos son ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, componentes importantes en la nutrición de las plantas. Entre el 90 y el 95% del volumen de biomasa que ingresa al biodigestor, sale de este en forma de efluente, dependiendo de la eficiencia del biodigestor [10]. De acuerdo a lo antes planteado en la planta objeto de estudio, se pueden obtener entre un 0,6 y un 0,63 m<sup>3</sup>·día<sup>-1</sup> de efluente. En un biodigestor familiar de 3 m<sup>3</sup> de



capacidad, el potencial de mitigación del calentamiento global es aproximadamente de 9,7 t de CO<sub>2</sub> equivalente por año [15,16]. De acuerdo a este resultado, se puede inferir que para el biodigestor objeto de estudio, la mitigación del calentamiento global es de alrededor de 56,74 t de CO<sub>2</sub> equivalente por año.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se evidencia que el aprovechamiento de la biomasa (en este caso excretas de cerdos) como fuente de energía, ofrece beneficios ambientales tales como: contribuir a atenuar el cambio climático y el efecto invernadero, mantener el ciclo cerrado del carbono, reducir la lluvia ácida, prevenir la contaminación de las fuentes de agua y el suelo.

#### 4. Conclusiones

En función de la biomasa disponible, se obtuvieron las dimensiones fundamentales de un biodigestor de cúpula fija con tanque de compensación, con una capacidad de procesamiento de 225 kg día<sup>-1</sup> de excretas de cerdos. Como resultado de la digestión anaerobia, se pueden obtener 17,1 m<sup>3</sup>·día<sup>-1</sup> de biogás y entre un 0,6 y un 0,63 m<sup>3</sup>·día<sup>-1</sup> de biofertilizante, además de dejar de emitir al medio ambiente alrededor de 56,74 t de CO<sub>2</sub> equivalente por año.

#### Referencias

1. Sosa, R., Y.M., Díaz, T.C., Cruz, J.L., de la Fuente, P.L., Domínguez, I., Cabrera, R., Espinosa, N., *Programa de implementación de biodigestores como sistemas de tratamiento de aguas residuales y la obtención de energía, biogás y fertilizante orgánico en la producción porcina cubana*. Revista Computadorizada de Producción Porcina, 2017. **24**(1): p. 58-68.
2. Kapoor, R., Ghosh, P., Tyagi, B., Vijay, V.K., Vijay, V., Thakur, I.S., Kamyab, H., Nguyen, D.D., Kumar, A., *Advances in biogas valorization and utilization systems: A comprehensive review*. Journal of Cleaner Production, 2020. **273**: p. 123052. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123052>.
3. Borja, R., Rincón, B., *Biogas Production*, 2017. Elsevier. ISBN: 978-0-12-809633-8.
4. Wassie, Y., Adaramola, M., *Analyzing household biogas utilization and impact in rural Ethiopia: Lessons and policy implications for sub-Saharan Africa*. Scientific African, 2020. **9**: p. e00474. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00474>.
5. Roubík, H., Mazancová, J., *Suitability of small-scale biogas systems based on livestock manure for the rural areas of Sumatra*. Environmental Development, 2020. **33**: p. 100505. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100505>.
6. Bedi, A.S., Sparrow, R., Tasciotti, L., *The impact of a household biogas programme on energy use and expenditure in East Java*. Energy Economics, 2017. **68**: p. 66-76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.09.006>.
7. Laramee, J., Davis, J., *Economic and environmental impacts of domestic bio-digesters: Evidence from Arusha, Tanzania*. Energy for Sustainable Development, 2013. **17**(3): p. 296-304. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.02.001>.
8. Gulhane, M., Pandit, P., Khardenavis, A., Singh, D., Purohit, H., *Study of microbial community plasticity for anaerobic digestion of vegetable waste in Anaerobic Baffled Reactor*. Renewable Energy, 2017. **101**: p. 59-66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.08.021>.
9. Baredar, P., Khare, V., Nema, S., *Design and Optimization of Biogas Energy Systems*. 2020: Academic Press. ISBN: 978-0-12-822718-3.
10. Casanovas, G., Vecchia, F., Reymundo, F., Serafini, R., *Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores*, 2019. Buenos Aires: FAO. ISBN: 978-92-5-131559-0.
11. Guardado, J.A., *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*, 2007. La Habana: Cubasolar. ISBN: 959-7113-33-3.

12. Bi, S., Hong, X., Yang, H., Yu, X., Fang, S., Bai, Y., Liu, J., Gao, Y., Yan, L., Wang, W., Wang, Y., *Effect of hydraulic retention time on anaerobic co-digestion of cattle manure and food waste*. *Renewable Energy*, 2020. **150**: p. 213-220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.091>.
13. Rodríguez, Y., *Implantación de una tecnología sostenible de producción de biogás en la comunidad rural "El Caney de las Mercedes", en Cuba*. Tesis de Doctorado, 2007. Universidad Politécnica de Madrid.
14. Garfí, M., Martí-Herrero, J., Garwood, A., Ferrer, I., *Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016. **60**: p. 599-614. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.071>.
15. Rajendran, K., Aslanzadeh, S., Taherzadeh, M.J., *Household Biogas Digesters-A Review*. *Energies*, 2012. **5**(8): p. 2911-2942. DOI: <https://doi.org/10.3390/en5082911>.
16. Rahman, K.M., Melville, L., Fulford, D., Huq, S.I., *Green-house gas mitigation capacity of a small scale rural biogas plant calculations for Bangladesh through a general life cycle assessment*. *Waste Manag Res*, 2017. **35**(10): p. 1023-1033. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X17721341>.

### Conflicto de Intereses

No hay conflicto de intereses.

### Contribución de los autores

**Yoan Manuel Ramos Botello**. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7838-5981>

Participó en la conceptualización de la investigación, redacción, investigación, metodología, redacción y edición.

**Jorge Alexander Bosch Cabrera**. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9475-9936>

Participó en la conceptualización de la investigación, investigación, metodología.

**René Misael Arias Hidalgo**. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9661-1214>

Participó en la redacción, investigación, redacción y edición.

**Amaury Santana Reyes**. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0059-0990>

Participó en la supervisión, investigación, redacción y edición.

**David Ramón Gutiérrez Toledo**. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0906-1961>

Participó en la conceptualización de la investigación, redacción y edición.