

---

---

**Original****Potencial energético de excretas animales en una cooperativa en el municipio Río Cauto****Energy potential of animal excreta in cooperative in the Río Cauto municipality****Est. Alberto Leandro Vázquez Brizuela, Universidad de Granma, Cuba <sup>(1)</sup>****MSc. Yoan Manuel Ramos Botello, Universidad de Granma, Cuba <sup>(2)</sup>**

(1) Estudiante de 5to. Año de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Granma, Bayamo, Cuba.

[vasquezb@estudiantes.udg.co.cu](mailto:vasquezb@estudiantes.udg.co.cu)

(2) Ingeniero Mecánico, Máster en Diseño Asistido por Computadora. Profesor Asistente. Profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Granma, Bayamo, Cuba. [yramosb@udg.co.cu](mailto:yramosb@udg.co.cu) / <https://orcid.org/0000-0001-7838-5981>

**Resumen**

La obtención de biogás en zonas rurales a partir de desechos orgánicos, tienen beneficios ambientales, económicos y sociales. La presente investigación se llevó a cabo en una cooperativa de la provincia de Granma, Cuba. El objetivo fundamental de dicha investigación es determinar el potencial energético producto de excretas animales, así como la obtención de las dimensiones básicas para la construcción de un biodigestor, a partir del tipo y cantidad de animales de dicha cooperativa. Para un total de 90 vacas, 300 ovejos y 14 caballos se obtuvieron las dimensiones de un biodigestor de cúpula fija con tanque de compensación, que garantiza el procesamiento de 956,6 kg día<sup>-1</sup> de excretas. A partir de la biomasa procesada se producirán alrededor de 38,85 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 2,57 y un 2,71 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 240,43 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; energía

### **Abstract**

Obtaining biogas in rural areas from organic waste has environmental, economic and social benefits. This research was carried out in a cooperative in the province of Granma, Cuba. The main objective of this research was to determine the energy potential product of animal excreta, as well as to obtain the basic dimensions for the construction of a biodigester, based on the type and quantity of animals in said cooperative. For a total of 90 cows, 300 sheep and 14 horses, the dimensions of a fixed dome biodigester with a compensation tank were obtained, which guarantees the processing of 956,6 kg día<sup>-1</sup> of excreta. From the processed biomass, around 38,85 m<sup>3</sup> día<sup>-1</sup> of biogas will be produced, which will be used as a substitute for electric current and firewood in cooking food. In addition, between 2,57 and 2,71 m<sup>3</sup> día<sup>-1</sup> of effluents with a high content of nutrients in plant nutrition can be obtained. Based on the biomass processing capacity of the biodigester, it could be estimated that the global warming mitigation potential is approximately 240,43 t of CO<sub>2</sub> equivalent per year, which contributes to the reduction of greenhouse gases.

**Keywords:** biodigester; biogas; environment; energy

### **Introducción**

Producto de la ganadería, 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 la dispersión de estos sobre el suelo. Dichos residuos, al no ser tratados adecuadamente, constituyen un serio problema, pues 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 (Kapoor et al., 2020). Estos permiten mediante la digestión anaerobia, disminuir la carga contaminante, mejorar la capacidad fertilizante del material, eliminar los malos olores y obtener biogás (Borja & Rincón, 2017). Este último puede ser utilizado como cualquier otro combustible, para la cocción de alimentos, el alumbrado mediante lámparas adaptadas, como combustible para vehículos, etc.

Estudios como los desarrollados por (Bedi, Sparrow, & Tasciotti, 2017; Laramée & Davis, 2013; Roubík & Mazancová, 2020; Wassie & Adaramola, 2020) 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 un biodigestor, una de las dificultades 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 excretas provenientes de animales, por parte de una cooperativa del municipio Río Cauto. 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.

### **Población y muestra**

En la entidad donde se desarrolla esta investigación, se tiene un total de 90 vacas, 300 ovejos y 14 caballos. Se pretende aprovechar todo el potencial energético de las excretas de dichos animales. 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, es de 28 °C, por lo que la digestión de residuales se realiza en el rango mesofílico (entre 25 y 35 °C) (Gulhane, Pandit, Khardenavis, Singh, & Purohit, 2017). Se escogió un biodigestor de cúpula fija con un tanque de compensación, el cual es una variante del modelo chino (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 y tienen (Baredar, Khare, & Nema, 2020).

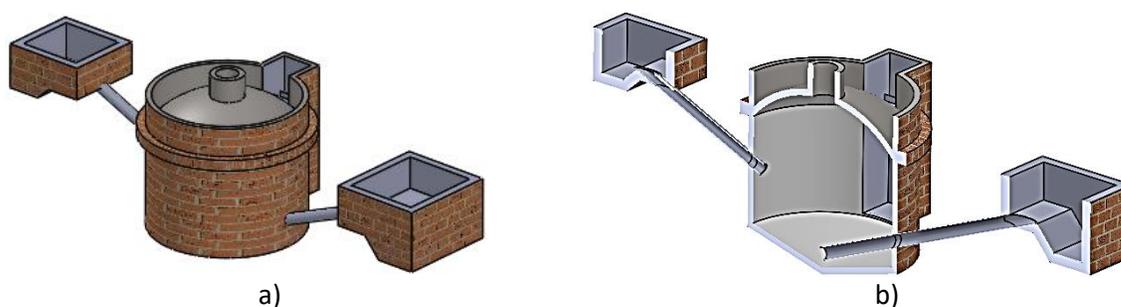


Figura 1. Biodigestor de cúpula fija con tanque de compensación. a) Modelo completo. b) Vista seccionada.

Algunos índices de consumo a partir de las biomásas más utilizadas y disponibles en Cuba para la producción de biogás se exponen en la tabla 1.

Tabla 1. Índices para determinar la producción de biogás a partir del peso y características de la biomasa (Guardado, 2007).

Procedencia de la excreta	Excreta húmeda diaria (kg/animal)	Biogás m <sup>3</sup> /día	Proporción Excreta - agua
Vaca	10	0,36	1:1
Cerdo (50 kg)	2,25	0,101	1:1 - 3
Pollo	0,18	0,108	1:1 - 8
Caballo	10	0,30	1:1 - 3
Carnero	2	0,10	1:1 - 3

Persona adulta	0,40	0,025	1:1
----------------	------	-------	-----

Para determinar la posible carga orgánica disponible teniendo en cuenta la cantidad y tipo de animales, se tuvieron en cuenta los parámetros de la tabla 1. La cantidad total de excretas ( $C_{TE}$ ) se determinó de acuerdo con la ecuación 1.

(1)

$$C_{TE} = C_V \cdot E_V \cdot \frac{T_E}{24} + C_O \cdot E_O \cdot \frac{T_E}{24} + C_C \cdot E_C \cdot \frac{T_E}{24}$$

$$C_{TE} = 956,6 \text{ kg día}^{-1}$$

Donde  $C_V$ ,  $C_O$ ,  $C_C$  son las cantidades de vaca, ovejos y caballos respectivamente, mientras que  $E_V$ ,  $E_O$ ,  $E_C$  son la cantidad de excretas húmedas de vaca, ovejos y caballos respectivamente (kg/animal).

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 animales objeto de estudio, permanecen encerrados desde las 5 de la tarde hasta las 7 de la mañana, para un total de 14 h.

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 (Guardado, 2007) para el caso de las excretas de cerdo, debe ser en una proporción de 1:2. Dado 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 con la siguiente ecuación.

(2)

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

$$B_D = 2,86 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$$

De acuerdo con el resultado obtenido en la ecuación anterior, la biomasa disponible es de  $2,86 \text{ m}^3$  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 digestión anaerobia. La reducción dentro de los parámetros establecidos del *TRH* es eficaz para aumentar la producción de metano, y por ende, la eficiencia del biodigestor (Bi et al., 2020). Esta variable está directamente relacionada con la temperatura ambiente y el tipo de excreta animal a procesar, ya que se usan diferentes proporciones entre las cantidades de excretas y agua.

En condiciones óptimas del proceso de digestión anaerobia, a una temperatura de 30 °C el *TRH* debería ser de 20 días. La temperatura ambiente en el lugar de instalación del biodigestor es variable y difícil de controlar, por lo que para el cálculo, el *TRH* deberá ser afectado por un factor de corrección (Al-Rubaye et al., 2018; Flores, Huesca, Sánchez, & Ramírez, 2018). En el lugar donde se instala el biodigestor, la temperatura media anual es de 28 °C, por lo que el *TRH* se verá afectado por un coeficiente de 1,3 (Guardado, 2007). De acuerdo con este aspecto, el cálculo de esta variable quedaría tal como se muestra en la ecuación 3.

(3)

$$TRH = 20 \text{ día} \cdot 1,3$$

$$TRH = 26 \text{ día}$$

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).

El volumen del biodigestor donde se almacenará la biomasa y ocurrirá la digestión anaerobia ( $V_D$ ), depende de  $B_D$  y del *TRH* (ecuación 4).

(4)

$$V_D = B_D \cdot TRH$$

$$V_D = 74,36 \text{ m}^3$$

De acuerdo con los parámetros de la tabla 1 y a la cantidad y tipos de animales, se determina mediante la ecuación 5 la producción de biogás ( $P_B$ ).

(5)

$$P_B = C_V \cdot \frac{T_E}{24} \cdot B_V + C_O \cdot \frac{T_E}{24} \cdot B_O + C_C \cdot \frac{T_E}{24} \cdot B_C$$

$$P_B = 38,85 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$$

Donde  $B_V$ ,  $B_O$  y  $B_C$  es el biogás que se produce a partir de las excretas de vaca, ovejos y caballos respectivamente ( $\text{m}^3 \text{ día}^{-1}$ ).

Hasta la fecha, una cantidad importante de biogás se está desaprovechando, pues se libera al medio ambiente.

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, 2007).

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 concluida la digestión anaerobia. Un cilindro, quien conjuntamente con el cono conformarán el volumen que ocupe la biomasa y donde ocurrirá todo el proceso de biodigestión.

La cúpula, que es una sección de esfera hueca donde se acumulará el biogás que será generado dentro de la unidad de digestión anaerobia. 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.

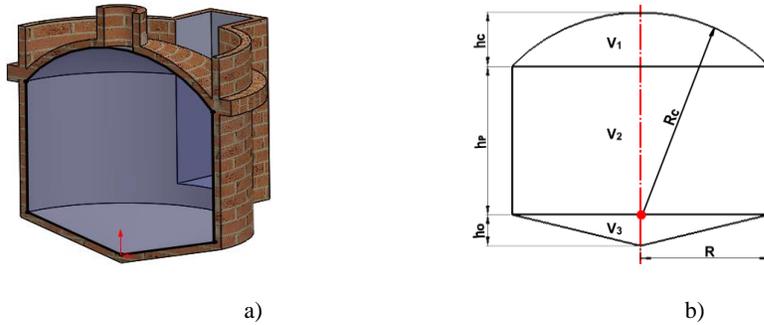


Figura 2. Dimensiones básicas del biodigestor. a) Sección transversal del modelo en tres dimensiones. b) Geometría básica.  $h_c$ : altura de la cúpula (m).  $h_p$ : altura del cilindro (m).  $h_{co}$ : altura del cono (m).  $h_{tc}$ : altura del tanque de compensación.  $R_c$ : radio de la cúpula (m).  $R$ : 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).

Para el cálculo de los principales parámetros geométricos del biodigestor, se parte de igualar el volumen de este con el volumen de la biomasa, tal como se muestra en la ecuación 6.

(6)

$$V_B = V_1 + V_2 + V_3 = V_D$$

$$V_B = 74,36 \text{ m}^3$$

A partir del cálculo de  $V_B$  según la metodología establecida por (Guardado, 2007), se determinan todos los parámetros geométricos a los cuales se hizo referencia en la figura 2 y que a continuación se describen.

(7)

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

$$R = 2,76 \text{ m}$$

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 8.

(8)

$$U = \frac{R}{4}$$

$$U = 0,69 \text{ m}$$

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.

(9)

$$R_C = 5 \cdot U$$

(10)

$$h_C = 2 \cdot U$$

(11)

$$h_P = 3 \cdot U$$

(12)

$$h_{CO} = 0,15 \cdot 2R$$

(13)

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

(14)

$$V_2 = \pi \cdot R^2 \cdot h_P$$

(15)

$$V_3 = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot h_{CO}}{3}$$

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.

### **Análisis de los resultados**

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)	$V_1$ (m <sup>3</sup> )	$V_2$ (m <sup>3</sup> )	$V_3$ (m <sup>3</sup> )
3,45	1,38	2,07	0,82	17,88	49,53	6,54

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 956,6 kg día<sup>-1</sup> de excretas, las cuales son altamente contaminantes, serán procesadas anaerobiamente y transformadas en biogás y biofertilizante. A partir del procesamiento de dichas excretas, se pueden obtener 38,85 m<sup>3</sup> día<sup>-1</sup> de biogás, el cual será utilizado en la coción de alimento tanto para las personas como para los animales. Con esto mejoran las condiciones de vida de la mujer campesina, al tener otra opción además de la energía eléctrica para la coción de alimento. 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 animales utilizado para la ceba en el país, 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 estos animales, ni del biogás que se obtiene de esta. Un estudio publicado por (Sosa et al., 2017) 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 biofertilizante, 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 (Casanovas, Vecchia, Reymundo, & Serafini, 2019).

De acuerdo con lo antes planteado en la planta objeto de estudio, se pueden obtener entre un 2,57 y un 2,71 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 (Rahman, Melville, Fulford, & Huq, 2017; Rajendran, Aslanzadeh, & Taherzadeh, 2012). De acuerdo con este resultado, se puede inferir que para el biodigestor objeto de estudio, la mitigación del calentamiento global es de alrededor de 240,43 t de CO<sub>2</sub> equivalente por año.

### **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 956,6 kg día<sup>-1</sup> de excreta.

Como resultado de la digestión anaerobia, se pueden obtener 38,85 m<sup>3</sup> día<sup>-1</sup> de biogás y entre un 2,54 y un 2,71 m<sup>3</sup> día<sup>-1</sup> de biofertilizante, además de dejar de emitir al medio ambiente alrededor de 240,43 t de CO<sub>2</sub> equivalente por año.

### **Referencias bibliográficas**

- Al-Rubaye, H., Smith, J. D., Shivashankaraiah, M. M., Yu, J., Karambelkar, S., & Ghorbanian, M. (2018). The impact of hydraulic retention time and operating temperature on biofuel production and process wastewater treatment. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 129, 171-180. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cep.2018.04.036>
- Baredar, P., Khare, V., & Nema, S. (2020). Chapter 3 - Biogas digester plant. In *Design and Optimization of Biogas Energy Systems* (pp. 79-155): Academic Press.
- Bedi, A. S., Sparrow, R., & Tasciotti, L. (2017). The impact of a household biogas programme on energy use and expenditure in East Java. *Energy Economics*, 68, 66-76. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.09.006>
- Bi, S., Hong, X., Yang, H., Yu, X., Fang, S., Bai, Y., . . . Wang, Y. (2020). Effect of hydraulic retention time on anaerobic co-digestion of cattle manure and food waste. *Renewable Energy*, 150, 213-220. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.091>
- Borja, R., & Rincón, B. (2017). *Biogas Production*: Elsevier.
- Casanovas, G., Vecchia, F., Reymundo, F., & Serafini, R. (2019). *Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores*. Buenos Aires: FAO.
- Flores, O., Huesca, E., Sanchez, M., & Ramírez, J. (2018). Dimensionamiento, instalación y puesta en marcha de un biodigestor de la Empresa Grupo AIPIR en la granja de San Juan Ixtenco Tlaxcala. *Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología*, 2(3), 15-26.
- Guardado, J. A. (2007). *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*. Habana: Cubasolar.

- Gulhane, M., Pandit, P., Khardenavis, A., Singh, D., & Purohit, H. (2017). Study of microbial community plasticity for anaerobic digestion of vegetable waste in Anaerobic Baffled Reactor. *Renewable Energy*, *101*, 59-66. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.08.021>
- Kapoor, R., Ghosh, P., Tyagi, B., Vijay, V. K., Vijay, V., Thakur, I. S., . . . Kumar, A. (2020). Advances in biogas valorization and utilization systems: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, *273*, 123052. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123052>
- Laramee, J., & Davis, J. (2013). Economic and environmental impacts of domestic bio-digesters: Evidence from Arusha, Tanzania. *Energy for Sustainable Development*, *17*(3), 296-304. doi:<https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.02.001>
- Rahman, K. M., Melville, L., Fulford, D., & Huq, S. I. (2017). Green-house gas mitigation capacity of a small scale rural biogas plant calculations for Bangladesh through a general life cycle assessment. *Waste Manag Res*, *35*(10), 1023-1033. doi:<https://doi.org/10.1177/0734242X17721341>
- Rajendran, K., Aslanzadeh, S., & Taherzadeh, M. J. (2012). Household Biogas Digesters—A Review. *Energies*, *5*(8), 2911-2942. doi:<https://doi.org/10.3390/en5082911>
- Roubík, H., & Mazancová, J. (2020). Suitability of small-scale biogas systems based on livestock manure for the rural areas of Sumatra. *Environmental Development*, *33*, 100505. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100505>
- Sosa, R., Díaz, Y. M., Cruz, T. C., de la Fuente, J. L., Dominguez, P. L., Cabrera, I., . . . Espinosa, N. (2017). 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*, 24(1), 58-68.

Wassie, Y., & Adaramola, M. (2020). Analysing household biogas utilization and impact in rural Ethiopia: Lessons and policy implications for sub-Saharan Africa. *Scientific African*, 9, e00474. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00474>