

Producción de biogás a partir de procesos de digestión y codigestión anaerobia usando estiércol de cerdo y residuos vegetales

Artículo largo



Cindy Gámez-Ávila*^{ID}; Milena Lozano-Triana^{ID}; Carlos A. Cervera-González^{ID};
Javier A. Quintero-Jaramillo^{ID}

Grupo de investigación SENAGROTIC, Centro Agropecuario La Granja, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA),
Regional Tolima, Colombia

*cgameza@sena.edu.co

Resumen

En el presente trabajo se realizó un proceso de digestión anaerobia a diferentes sustratos, los cuales correspondieron a estiércol de cerdo, residuos vegetales y una codigestión con una mezcla de estiércol de cerdo y residuos vegetales a escala de laboratorio. Cada uno de estos sustratos fueron caracterizados con el fin de evaluar su potencial uso para la producción de biogás, además de determinar el porcentaje de sólidos totales, sólidos volátiles, contenido de humedad, pH, carbono orgánico y nitrógeno total. Seguido a la caracterización, se realizaron ensayos para cada sustrato usando un biorreactor con un volumen de operación de 1 litro, y por un periodo de 45 días se monitorió diariamente la producción. Los resultados mostraron una producción de biogás del estiércol de cerdo de 1080,17 ml, de residuos vegetales de 836,8 ml y de la mezcla de estiércol con residuos vegetales de 714,7 ml. Se pudo concluir que la codigestión anaerobia entre el estiércol de cerdo y los residuos vegetales es una alternativa para el aprovechamiento de estos residuos en la producción de biogás.

Palabras clave:

Biodigestión; Biogás;
Biol; Codigestión;
Metano.

Biogas production from anaerobic digestion and co-digestion processes using pig manure and vegetable waste

Abstract

In the present work, an anaerobic digestion process was carried out on different substrates, which corresponded to pig manure, vegetable residues and a codigestion with a mixture of pig manure and vegetable residues on a laboratory scale. Each of these substrates were characterized in order to evaluate their potential use for biogas production, determining the percentage of total solids, volatile solids, moisture content, pH, organic carbon and total nitrogen. Following the characterization, tests were carried out for each substrate using a bioreactor with an operating volume of 1 liter, and the biogas production was monitored daily for a period of 45 days. The results showed a biogas production from pig manure of 1080.17 ml, from vegetable residues of 836.8 ml and from the mixture of manure with vegetable residues of 714.7 ml. It was concluded that anaerobic codigestion between pig manure and plant residues is a suitable alternative for the use of these residues in biogas production.

Keywords:

Biodigestion; Biogas;
Biol; Codigestion;
Methane.

Forma de citar: Gámez Ávila, C., Lozano Triana, M., González Cervera, C. A., & Quintero Jaramillo, J. A. (2022). Producción de biogás a partir de procesos de digestión y codigestión anaerobia usando estiércol de cerdo y residuos vegetales. *RedBioLAC*, 6(1), 34-39.

Introducción

Los sistemas productivos del sector agrícola y pecuario generan residuos que son altamente contaminantes, entre ellos el estiércol de cerdo y los residuos orgánicos; estos poseen altos contenidos de materia orgánica y microorganismos. Un adecuado manejo de este tipo de residuos puede contribuir a la transformación de estos desechos en energías renovables y amigables con el medio ambiente. Los biodigestores son reactores empleados para la producción de biogás y biofertilizante por medio de un proceso anaerobio donde se emplean residuos agrícolas y pecuarios que permiten la obtención de energía limpia y de bajo costo a partir de una fuente renovable (Montenegro, 2020).

El biogás es el resultado de un proceso en el que los compuestos orgánicos se descomponen por acción de bacterias en condiciones anaerobias. El producto final es una mezcla de metano (60-70 %), dióxido de carbono (40-30 %), y otros gases como el sulfuro de hidrógeno, el amoníaco, el nitrógeno, el hidrógeno y diversos compuestos orgánicos (Magaña-Ramírez *et al.*, 2011). La transformación de los compuestos orgánicos en metano se desarrolla en cuatro fases, con distintos grupos de microorganismos. La primera fase se denomina hidrólisis, donde los polímeros orgánicos como las proteínas, los polisacáridos y las grasas, se hidrolizan a los monómeros correspondientes (azúcares, ácidos grasos de cadena larga, aminoácidos) por la acción de enzimas producidas por bacterias fermentativas (García *et al.*, 2021). En la segunda fase, denominada acidogénesis, los monómeros se convierten en ácidos grasos volátiles y alcoholes. Luego, en la tercera fase, llamada acetogénesis, los ácidos grasos volátiles se convierten en acetato e hidrógeno por la acción de bacterias acetogénicas estrictas productoras de hidrógeno. Por último, en la fase de metanogénesis se requiere de bacterias acetoclásticas metanogénicas para convertir el acetato en metano y dióxido de carbono. En la metanogénesis, aproximadamente el 70 % del metano es producido por metanógenos acetoclásticos (Cortés, 2019).

La producción de biogás puede verse afectada por factores de operación tales como el tiempo de retención hidráulico y el grado de contacto entre el sustrato de entrada y la población de bacterias, el pH, la temperatura, la naturaleza del sustrato, la carga orgánica, la demanda química orgánica (DQO) y la relación carbono/nitrógeno (Karim *et al.*, 2005). Son varios los residuos agrícolas y pecuarios que se pueden utilizar en procesos de biodigestión anaerobia para la producción de biogás, en especial el estiércol, que ocasiona un impacto ambiental negativo debido a que es un foco de contaminación del suelo y el agua, además, genera gases que contribuyen al efecto invernadero. El biogás, como fuente de energía renovable y limpia, es una tecnología de fácil implementación en el sector rural, lo que ha generado gran interés en los últimos años. La

transformación de estiércol y otros residuos vegetales por medio de la biodigestión no solo representa un beneficio en la reducción del impacto ambiental, sino también una fuente de producción de energía y biofertilizantes. (Esteves *et al.*, 2019; Molina Morejón *et al.*, 2020).

Metodología

Selección de Sustratos

Se seleccionaron tres tipos de sustratos de muestras recolectadas del Centro Agropecuario La Granja, ubicado en el municipio de El Espinal, en el departamento del Tolima. Estas se identificaron de la siguiente manera: Sustrato 1, estiércol de cerdo (E); Sustrato 2, residuos vegetales (RV); Sustrato 3, mezcla de estiércol de cerdo y residuos vegetales (E + RV), en una proporción 80:20 (Matuszewska *et al.*, 2016). Cada uno de estos sustratos fue utilizado para bioensayos a escala laboratorio para la obtención de biogás y de biofertilizante mediante co-digestión anaerobia.

Determinación de parámetros físicos y químicos

Para realizar la caracterización físico-química de los sustratos se midió el pH, la humedad, los sólidos totales (ST), los sólidos volátiles (SV), el carbono orgánico (CO) y el nitrógeno total (NT) (Codazzi, 2007). Con los dos últimos elementos se definió la relación carbono/nitrógeno (C/N), variable importante para la definición del potencial uso como productor de biogás (Liu *et al.*, 2016).

La caracterización de los sustratos se realizó en las instalaciones del laboratorio de Suelos del Centro Agropecuario La Granja Sena Regional Tolima, el Laboratorio de Físicoquímica del Centro Agroindustrial Sena Regional Quindío y el Laboratorio de Agrosavia del Centro de investigación Nataima. Las metodologías usadas fueron estandarizadas y se ajustaron al modelo de procedimientos internos de cada laboratorio y de cada metodología. Todas las mediciones de masa fueron realizadas en una balanza analítica de 4 cifras decimales Santorius BP22IS.

A las muestras de residuos vegetales se les realizó separación, molienda y homogenización. Posteriormente, se llevó a cabo la caracterización de cada uno de los sustratos en los laboratorios mencionados. Las mediciones de pH se realizaron directamente en cada uno de los sustratos con un multiparámetro Consort C5020 usando la metodología reportada por el Standard Methods (APHA, AWWA y WEF, 2017).

Para la medición de humedad y sólidos totales se realizó secado en Horno Memmert a una temperatura de 105 °C durante 24 horas. Pasado este tiempo se realizó el desecado y pesaje hasta obtener un peso constante. Una vez realizado este proceso, las muestras se llevaron a mufla a una temperatura de 550 °C durante dos horas. Con el peso medido al final de este proceso se determinaron los

sólidos volátiles (Codazzi, 2007). Para la determinación del carbono orgánico se usó el método de Walkley and Black reportado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC, 2004).

Para la determinación del NT se empleó la metodología del Ideam (Rodríguez, 2007). Se realizó la digestión durante dos horas. Posteriormente, se efectuó la destilación en el equipo para Nitrógeno Kjeldahl Büchy B-324. Una vez se separó la muestra, se llevó a cabo la titulación hasta punto estequiométrico con indicador buffer. La adición de reactivos y la titulación se realizaron con material volumétrico clase A.

Producción de biogás

El monitoreo de la producción de biogás se realizó por medio de un bioensayo a escala de laboratorio. Los ensayos para cada sustrato fueron realizados por triplicado usando un biorreactor con un volumen de operación de 1 litro, y se monitorearon a diario por un periodo de 45 días. La producción de biogás se estimó por medio del volumen desplazado de agua en una probeta de 50 ml.

Resultados y discusión

Caracterización de sustratos

Para evaluar la potencialidad de producción de biogás, se hizo la medición de la humedad, el porcentaje de sólidos totales (%ST), el porcentaje de sólidos volátiles (%SV), el pH, el contenido de carbono (%C), el contenido de nitrógeno (%N) y la relación C/N para los tres sustratos trabajados. En la [Tabla 1](#) se presentan los resultados de la caracterización de los sustratos nombrados.

Según la caracterización realizada, el % de humedad se encuentra en un rango adecuado para procesos de digestión anaerobia, ya que la cantidad de agua puede afectar el rendimiento del proceso por la fácil disolución de la materia orgánica degradable. De acuerdo con algunas investigaciones, las tasas más altas de producción de metano se producen entre un 60-80 % de humedad (Brahim, 2017). Las partículas sólidas presentes en la suspensión se pueden sedimentar y no degradarse completamente al estar muy diluido el material. Por el contrario, si es demasiado espesa sería difícil de agitar e impediría la salida de los gases en la parte superior del biodigestor. (Brahim, 2017).

El mayor porcentaje de sólidos totales se presentó en el sustrato formado por la mezcla de estiércol y residuos vegetales, con un valor de 16 %, seguido del estiércol, con un valor de 15,60 %. Ambos valores se encuentran entre

el 15 % y 49 % reportado como óptimo para procesos de biodigestión anaerobia según Soria Fregoso *et al.* (2001). El porcentaje más bajo de sólidos totales corresponde, a el sustrato de residuos vegetales, con un valor de 11,32 %. Este valor, puede considerarse como aceptable según lo reportado en el [Departamento de Calidad y Medio Ambiente \(2011\)](#), donde se estima que la digestión de residuos vegetales puede realizarse con valores inferiores al 15 % de ST. Lo anterior, debido a que altos contenidos de ST pueden generar sedimentación y costras en el biodigestor. Para los tres sustratos evaluados el %ST es superior, en comparación con los reportados, para residuos de ganado, vacas lecheras y cerdos, los cuales fueron de 8,5 %, 8,5 % y 6,0 %, respectivamente. Así mismo, los resultados encontrados son levemente inferiores al compararse con los residuos de ovejas/cabras y aves de corral, los cuales fueron de 30 % y 20 %, respectivamente, según lo reportado por [Scarlat *et al.* \(2018\)](#).

Por otra parte, Varnero (2011) menciona que valores inferiores a 8 para la relación C/N inhiben la actividad bacteriana. Las relaciones encontradas para el estiércol y la mezcla, en el presente trabajo de investigación, no presentarán problemas de inhibición de actividad bacteriana debido a que son superiores al valor reportado. Los resultados del porcentaje de sólidos volátiles indican que el sustrato con mayor proporción es el estiércol de cerdo, con un valor de 83,28 %, el cual se encuentra acorde con lo reportado por [Briseño Arciniega \(2017\)](#) y [Cabos *et al.* \(2019\)](#), con valores de 85 % y 79,7 %, respectivamente, para ensayos realizados en estiércol de cerdo y ganado. Para los demás sustratos, aunque se encuentran por debajo del estiércol, son valores prometedores, ya que los sólidos volátiles que contiene una mezcla orgánica en el proceso de biodigestión, teóricamente, se convierten en metano ([García Rodríguez y Gómez Franco, 2017](#)).

Los valores de pH de cada uno de los sustratos evaluados son bajos, comparados con el rango reportado como óptimo (entre 6,8 y 7,2) por [Olaya y González \(2009\)](#). Lo anterior podría indicar una disminución en la producción de metano. Por su parte, [Briseño Arciniega \(2017\)](#) afirma que el valor óptimo de pH para la digestión anaerobia es 7, y menciona que en la práctica se evidencia que, al alejarse de este valor, la eficiencia del proceso disminuye debido a que las bacterias metanogénicas son muy sensibles a las variaciones del pH. Por su parte, [Brahim, \(2017\)](#) menciona que la tasa de crecimiento de las bacterias metanogénicas se reduce considerablemente por debajo de pH 6,6. Sin embargo, otros autores afirman que el rango de pH óptimo para los microorganismos fermentativos puede funcionar en un rango de pH entre 5,5 y 6,5 ([Brahim 2017](#)), por lo que esta variable se debe considerar en cada caso en particular.

Tabla 1 | Caracterización de sustratos.

Sustrato	%Humedad	%ST	%SV	pH	%C	%N	C/N
E	67,25	15,60	83,28	5,84	34,94	3,11	11,25
RV	86,65	11,32	66,10	4,74	36,56	1,01	36,11
E + RV	61,38	16,00	68,71	5,48	11,69	3,09	11,69

Ensayos de biodigestión

La producción de biogás para el sustrato de estiércol de cerdo comenzó el día 10, para los residuos vegetales y la mezcla de residuos vegetales con estiércol, el día 12. Así se puede observar en la [Figura 1](#).

Los valores de producción de biogás obtenidos guardan coherencia con la caracterización realizada a cada sustrato, donde el sustrato con estiércol de cerdo presentó los valores más altos de producción de biogás. Los resultados de producción de biogás para la mezcla de estiércol de cerdo y residuos vegetales obtenidos en esta investigación son inferiores según lo reportado por [Briseño Arciniega \(2017\)](#), quien menciona que la codigestión de estiércol con desechos agrícolas y agroindustriales da como resultado un incremento en la producción de biogás.

Los resultados obtenidos se pueden explicar, debido a que los residuos de alimentos son ricos en carbohidratos, proteínas y grasas, que suelen tener una alta proporción de materia orgánica biodegradable y una alta relación C/N. Esto

representa un problema al ser digeridos anaeróbicamente por presentar ausencia de los micronutrientes necesarios para el desarrollo de las bacterias. Como consecuencia, pueden surgir problemas de acidificación e inhibición ([Briseño Arciniega, 2017](#)).

Lo anterior es ratificado por [García Rodríguez & Gómez Franco \(2017\)](#) y [Valladares Carnero \(2017\)](#), quienes afirman que los residuos agrícolas son ricos en carbono con una relación superior a 30:1. Sin embargo, la producción de biogás es más lenta. Esto se reflejó en los resultados obtenidos para el sustrato de residuos vegetales cuya producción de biogás inició en el día 12, en comparación con el estiércol de cerdo, que inició al día 10. La baja producción de biogás obtenida en la co-digestión del sustrato E+RV puede obedecer a la baja relación SV/ST (4:2). Según [Montenegro Orozco et al. \(2017\)](#), una elevada relación de SV/ST garantiza la disponibilidad de materia biodegradable para la producción de metano.

La producción total de biogás al día 45, para cada uno de los sustratos, se presenta en la [Tabla 2](#).

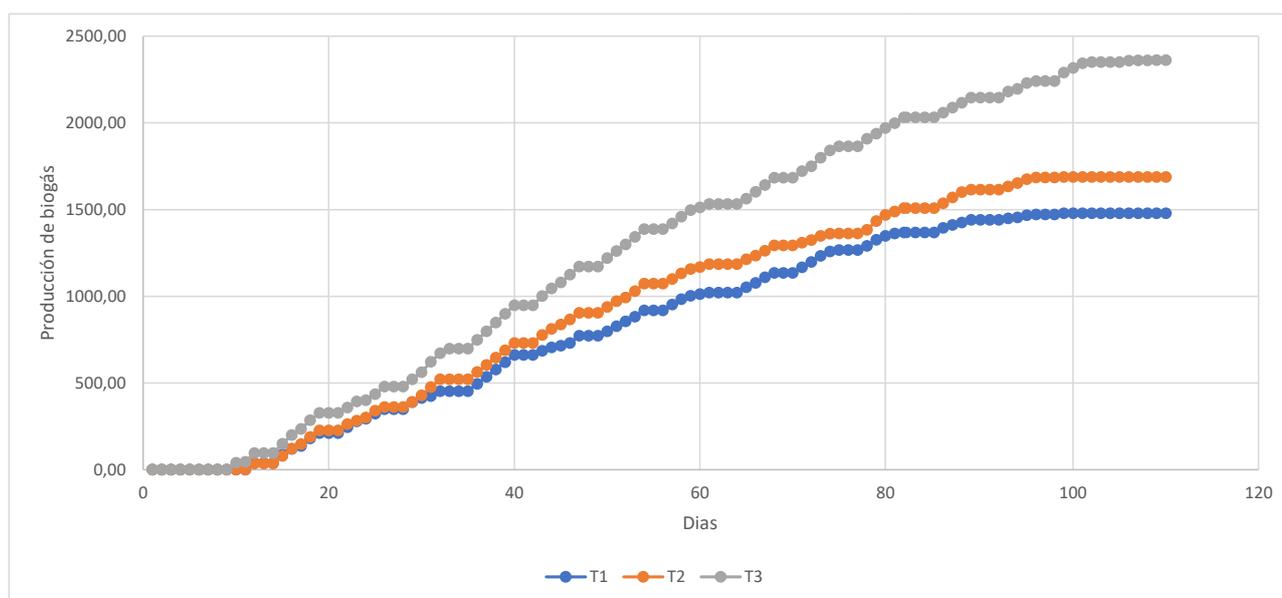
**Figura 1** | Producción de biogás.

Tabla 2 | Producción total de biogás.

Sustrato	Producción biogás (ml)
E	1080,17
RV	836,83
E + RV	714,67

Conclusiones

El sustrato con un potencial superior para la producción de biogás fue el de estiércol de cerdo, con una cantidad total de 1080,17 ml durante 45 días. En comparación con los demás sustratos este mostró la mayor cantidad de producción de biogás.

Respecto a los valores de SV, los tres sustratos empleados para biodigestión tienen potencial en la producción de biogás, ya que todos se encuentran por encima de 60 y esto aumenta su biodegradabilidad.

La codigestión es una alternativa para el aprovechamiento de residuos agrícolas y pecuarios para la producción de biogás debido a que produjo 714,67 ml durante 45 días.

Referencias

APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd ed. American Public Health Association, Washington, D. C.

Brahim, A. (2017). *Digestión y codigestión anaerobia de residuos agrícolas, ganaderos y lodos de depuradora*. [Tesis de doctorado, Universidad de Málaga].

Briseño Arciniega, L. A. (2017). *Producción de biogás a través de la codigestión de residuos sólidos y semisólidos hacia una planta centralizada de biogás para la generación de energía* [Tesis de grado, Centro de investigación y desarrollo tecnológico en electroquímica]. <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1021/186>

Cabos Sánchez, J., Bardales Vásquez, J., Betzabet, C., León Torres, C. A., & Gil Ramírez, L. A. (2019). Evaluación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del biol y biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana de policloruro de vinilo. *Arnaldoa*, 26(3), 1165-1176. <https://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26321>

Cortés Castillo, M. (2019). *Purificación biológica de biogás por microorganismos metanógenos hidrogenotróficos*. [Tesis de maestría, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.]. <http://hdl.handle.net/11627/4962>

Departamento de Calidad y Medio Ambiente, A. (2011). *Valorización energética: producción de biogás mediante co-digestión anaerobia de residuos/subproductos orgánicos agroindustriales*.

Esteves, E. M. M., Herrera, A. M. N., Esteves, V. P. P., & Morgado, C. R. V. (2019). Life cycle assessment of manure biogas production: A review. *Journal of Cleaner Production*, 219, 411–423. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.091>

García-Elías, O., Marín-Peña, O., Alvarado-Lassman, A., Vallejo-Cantú, N. A., & Rosas-Mendoza, E. S. (2020). Efecto de la hidrólisis en la digestión anaerobia en dos etapas de los residuos de frutas y verduras. *RINDERESU*, 5(2), 473-471.

García Rodríguez, A. M., & Gómez Franco, J. D. (2017). *Diseño y construcción de un biodigestor para la producción de biogás a partir de heces caninas*. [Tesis de grado, Fundación Universidad de América]. <http://hdl.handle.net/20.500.11839/667>

González, L. E. (2015). *Evaluación de un sistema de codigestión anaerobia de residuos agropecuarios* [Tesis de maestría, Universidad Veracruzana]. <https://cdigital.uv.mx/handle/123456789/42104>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2004). *Norma Técnica Colombiana [NTC] 5167: Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo*. *Icontec Internacional*, (571), 1–10.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2007). *Métodos analíticos del laboratorio de suelos* (2a. ed.). Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.

Karim, K., Hoffmann, R., Klasson, K. T., & Al-Dahhan, M. H. (2005). Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mode of mixing. *Water Research*, 39(15), 3597–3606. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.06.019>

Liu, C., Li, H., Zhang, Y., & Liu, C. (2016). Improve biogas production from low-organic-content sludge through high-solids anaerobic co-digestion with food waste. *Bioresource Technology*, 219, 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.130>

López Dávila, E., Jiménez Hernández, J., Romero Romero, O., & Dewulf, J. (2012). Aplicación de la tecnología de digestión anaerobia para tratar residuos sólidos agroindustriales utilizando inóculo de estiércol porcino, en condiciones mesofílicas. *Tecnología Química*, XXXII(3): 323-329.

- Magaña-Ramírez, J. L., Rubio-Núñez, R., & Jiménez-Islas, H. (2011). Anaerobic treatment of lactic waste and goat manure. *Ingeniería e Investigación*, 31, 93–98.
- Matuszewska, A., Owczuk, M., Zamojska Jaroszewicz, A., Jakubiak Lasocka, J., Lasocki, J., & Orliński, P. (2016). Evaluation of the biological methane potential of various feedstock for the production of biogas to supply agricultural tractors. *Energy Conversion and Management*, 125, 309–319. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.072>
- Mojica, C., Vidal, E., Rueda, B., & Acosta, D. (2016). Estudio de las características físico-químicas de residuos orgánicos para su uso potencial en la producción de biogás. *Revista de Energía Química y Física*, 3(6), 15–22.
- Molina Morejón, V. M., Molina Romeo, V. P., Espinoza Arellano, J. D. J., & García Hernández, J. (2020). Diseño de una antorcha con serpentín para el calentamiento de agua en establos lecheros de la Comarca Lagunera, México. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 8(46), 11-31.
- Montenegro Díaz, R. (2020). Producción de biogás y bioabonos a partir de estiércol de bovino en biodigestor tubular en Naranjos, Bagua, Amazonas. [Tesis de grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza]
- Montenegro Orozco, K. T., Rojas Carpio, A. S., Cabeza Rojas, I., & Hernández Pardo, M. A. (2017). Potencial de biogás de los residuos agroindustriales generados en el departamento de Cundinamarca. *Revista Ion*, 29(2), 23–36. <https://doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016002>
- Olaya, Y., & González, L. (2009). Fundamentos para el diseño de biodigestores. *Facultad de Ingeniería*, 51. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Rivas Solano, O., Faith Vargas, M., & Guillén Watson, R. (2010). Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. *Tecnología en marcha*, 23(1), 39–46.
- Rodríguez, C. H. (2007). Nitrogeno total en agua por el metodo semi-micro Kjeldahl – electrodo de amoniaco. www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/r%C3%B3geno+Total+en+agua+M%C3%A9todo+Kjeldahl+Electrodo+de+Amoniaco.pdf/6eac7192-9d88-41cf-b4f0-7b5332467901
- Scarlat, N., Fahl, F., Dallemand, J. F., Monforti, F., & Motola, V. (2018). A spatial analysis of biogas potential from manure in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 915–930. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.035>
- Soria Fregoso, M. J., Ferrera-Cerrato, R., Etchevers Barra, J., Alcántar González, G., Trinidad Santos, J., Borges Gómez, L., & Pereyda Pérez, G. (2001). Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra*, 19(4), 353–362.
- Valladares Carnero, F. (2017). Modelamiento del proceso de digestión anaeróbica de estiércol vacuno y cáscara de cacao. [Tesis de grado, Universidad de Piura]. <https://hdl.handle.net/11042/3069>
- Varnero, M. T. (2011). Manual de biogas Proyecto CHI/00/G32. Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf