



Producción de biogás a partir de estiércol de gallina, utilizando colectores solares

Production of biogas from chicken manure using solar collectors

Wildor Gosgot Angeles^{1*}, Jesús Rascón¹, Miguel Ángel Barrena Gurbillón¹, Carla María Ordinola Ramirez¹, Manuel Oliva¹, Yesica Montenegro Santillan¹

RESUMEN

La producción de biogás a partir de residuos biodegradables se presenta como una alternativa energética sostenible en comparación a los combustibles fósiles, causantes de las emisiones de gases de efecto invernadero. EL objetivo de la investigación fue evaluar la producción de biogás a partir de estiércol de gallina de la granja avícola de la UNRTM – A, durante 15 días a temperatura ambiente, midiendo parámetros de operación (temperatura, producción de biogás y calidad de biogás en CH₄, H₂S, CO, O₂, CO₂), precisando una alternativa de aprovechamiento adecuado de este residuo, para reducir problemas de contaminación ambiental adversos a su disposición final, produciendo una alternativa limpia, es así que la evaluación consistió en un sistema de digestión anaerobia a nivel de laboratorio, constituido de biodigestores de botellas PET de 1700 mL y gasómetros de botellas PET de 1700 mL calibrados cada 20 mL, ambas botellas conectadas a una manguera para medir el biogás por desplazamiento de agua. En el sistema se aplicó 02 tratamientos, alimentando los biodigestores con: T1 (estiércol de gallina y agua en proporción 1:2) y T2 (estiércol de gallina y biol en proporción 1:2, para acelerar el proceso de digestión anaeróbica debido a la presencia de bacterias Metanogénicas), 04 repeticiones por tratamiento y 02 colectores solares con aislante térmico. Los resultados demostraron que el T2, fue el más eficiente con una producción de biogás promedio de 751,45 mL/día, y un rango mayor de 1200 mL, a comparación del T1 el cual presentó una producción promedio de 209,6 mL/día, y un rango mayor de 400 mL, a temperatura promedio interna de 24 °C y temperatura externa de 22 °C para ambos tratamientos. En cuanto a calidad del biogás, para el componente CH₄, en ambos tratamientos fue muy bajo, empezando su producción para T2 a partir del día 7 y para el T1 a partir del día 11.

Palabras clave: energías renovables, metano, energía solar.

ABSTRACT

The production of biogas from biodegradable waste is presented as a sustainable energy alternative to fossil fuels, which cause greenhouse gas emissions. The objective of the research was to evaluate the production of biogas from chicken manure from the poultry farm of UNRTM - A, for 15 days at room temperature, measuring operating parameters (temperature, biogas production and biogas quality in CH₄, H₂S, CO, O₂, CO₂), specifying an alternative of adequate use of this waste. Thus, the evaluation consisted of an anaerobic digestion system at laboratory level, consisting of 1700 mL PET bottle biodigesters and 1700 mL PET bottle gasometers calibrated every 20 mL, both bottles connected to a hose to measure the biogas by water displacement. In the system 02 treatments were applied, feeding the biodigesters with: T1 (chicken manure and water in 1:2 ratio) and T2 (chicken manure and biol in 1:2 ratio, to accelerate the anaerobic digestion process due to the presence of Methanogenic bacteria), 04 replicates per treatment and 02 solar collectors with thermal insulation. The results showed that T2 was the most efficient with an average biogas production of 751.45 mL/day, and a range greater than 1200 mL, compared to T1 which presented an average production of 209.6 mL/day, and a range greater than 400 mL, at an average internal temperature of 24 °C and external temperature of 22 °C for both treatments. In terms of biogas quality, for the CH₄ component, in both treatments it was very low, starting its production for T2 from day 7 and for T1 from day 11.

Keywords: renewable energies, methane, solar energy.

¹Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Chachapoyas, Perú

* Autor de correspondencia. E-mail: wildor.gosgot@untrm.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

La mayor preocupación en el mundo es la influencia que tiene el calentamiento global y el cambio climático en los diversos sectores de la población, a causa del uso de los recursos naturales y la disposición inadecuado de residuos biodegradables generados, a partir de una actividad insostenible (Constantini *et al.*, 2018). La ganadería contribuye como una generadora en gran manera de las emisiones de gases de efecto invernadero, causantes de riesgos significativos para la salud pública y el medio ambiente (Pramanik *et al.*, 2019; Tayyab *et al.*, 2019). Por otra parte, los problemas energéticos y la disponibilidad limitada de combustibles fósiles especialmente en zonas rurales, se han convertido en un tema prioritario por atender, mediante alternativas de valorización energética (Llamas, 2019), donde se aprovechen de manera sostenible los residuos biodegradables, para la producción de biogás (Pramanik *et al.*, 2019; Sev *et al.*, 2019). Es así que la actual reforma energética conduce a sustituir la energía eléctrica por biogás, por ser una fuente de energía limpia y renovable (Martínez, 2015; Hagos *et al.*, 2017).

Una de las tecnologías de valorización de residuos, es la utilización de biodigestores (Burg *et al.*, 2018), donde se obtiene biogás de la fermentación anaerobia de la biomasa por microorganismos (Bong *et al.*, 2018), descomponiendo macromoléculas para la producción de biogás (Corrales *et al.*, 2015). Sin embargo, estos microorganismos descomponedores de la biomasa requieren ciertas condiciones adecuadas para su buen desarrollo (Reyes, 2016). Algunas de estas condiciones, están enfocados en el sustrato manejado para biodigestar y las condiciones a la que está expuesta (Abbasi *et al.*, 2012), principalmente la temperatura, el pH, relación C/N y el tiempo de retención hidráulica (TRH) del sustrato dentro del biodigestor que juega un papel muy importante (Mussoline *et al.*, 2013; Kainthola *et al.*, 2019). Si dichos microorganismos, no se encuentran en óptimas condiciones, los resultados de la digestión anaeróbica serán expresado en bajos rendimientos y baja calidad del biogás (Kaint-

hola *et al.*, 2019). Al mismo tiempo, para tal efecto la velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura, es así que cuando aumenta la temperatura, menor será el tiempo de retención (Varnero, 2011; Reyes, 2019), debido a la activación alta de masas microbianas dentro del sistema (Al-Rubaye *et al.*, 2018).

Según Ortiz *et al.* (2015) y Pedraza *et al.* (2016), los microorganismos metanogénicos como son: *Methanobacterium* spp y *Methanococcus* spp, productores de metano (CH₄), mayor componente del biogás, entran en activación a temperaturas variables de 27 y 34 °C con producción mayor de biogás de 0,375 cm³ CH₄/día, durante 15 días y (Tankin *et al.*, 2015), determinaron que el rendimiento de un digestor anaerobio, es bajo cuando la temperatura se reduce, y el pH se establece en rangos inferiores de 6,5, con obtención de biogás por debajo de 100 mL/día, pero cuando las temperaturas suben, el biogás aumenta a niveles de 100 - 270 mL/día. En cuanto C/N de 0,5, con una concentración de carbono alrededor de 156 mg/L, ayuda a mantener la abundancia de microorganismos presentes en el biodigestor (Chini *et al.*, 2019).

Para superar estos desafíos existen diversas técnicas, una de ellas es la digestión de sustratos de fácil degradación, haciendo eficiente el rendimiento del proceso anaeróbico (Kainthola *et al.*, 2019). Así lo demuestran Cuba y Lescano (2007), quienes produjeron biogás a partir de estiércol de gallina mediante un biorreactor de acero inoxidable con capacidad 264,21 L, empleando como sustrato de alimentación 29,83 Kg de estiércol de gallina mezclado con 12,78 L de lodo activado y 88,34 L de agua, obteniendo una producción diaria máxima de 0,1928 Kg de biogás durante 26 días y una producción total de 6,92 Kg al final del proceso, concluyendo que el estiércol de gallina es un sustrato potencial para producir biogás.

Es por ello, que el objetivo de esta investigación es evaluar la producción de biogás partir de estiércol de gallina y biol, a nivel experimental, midiendo parámetros de operación como la temperatura, pH, radiación solar, TRH, producción de biogás y calidad de biogás

en CH_4 , H_2S , CO , O_2 , CO_2 y su interrelación entre ambas en relación al rendimiento de biogás.

II. MATERIALES Y MÉTODO

Ubicación

La investigación fue desarrollada en el Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas en la ciudad de Chachapoyas.

Diseño experimental

Para la fase experimental se aplicó el Diseño Completamente al Azar (DCA), evaluando 02 tratamientos y 04 repeticiones por tratamiento, disponiendo biodigestores en colectores solares, durante 15 días, teniendo como variable respuesta el volumen de biogás producido dentro de los sistemas. Los tratamientos consistieron según mezcla de sustrato utilizado es así que para: (T1) se empleó estiércol de gallina + agua en proporción 1:2 v/v, mientras que para el (T2) se empleó estiércol de gallina + biol en proporción 1:2 v/v.

Diseño y construcción del sistema de producción de biogás

Colector solar

El sistema de producción de biogás, consistió en dos colectores solares a base de madera ishpingo (Figura 1S y 2S). Para la captación de la radiación solar se dio 30° de inclinación a cada colector. Al interior de los colectores se colocó como aislante térmico tecnopor y papel aluminio. Consecuente se dispusieron las botellas PVC de 1700 mL los cuales eran los biodigestores y la sonda del termo hidrómetro para medir la temperatura a diario (Figura 3S). Para finalizar el sistema se cubrió con una mica transparente donde irradiará el sol.

Sistema para captura de biogás

Para la captura y medición de biogás producido dentro del sistema, se trabajó por desplazamiento de líquidos, el cual consistió en una botella PVC de 1700 mL como gasómetro, graduado con una jeringa de 20 mL, con una manguera de benocliques en su interior y una manguera de salida en la parte superior de la botella el cual

tenía una llave para medir la composición de biogás producido. Las botellas estuvieron con contenido de agua, dispuestas de forma invertida en una bandeja con agua (Figura 4S).

Evaluación de los biodigestores

Preparación de la mezcla

La mezcla para alimentar los biodigestores, si hicieron dos mezclas, una con agua y otra con biol (Tabla S1 y Figura 5S).

Medida de pH y la temperatura del sustrato

En la investigación la medida de los parámetros de temperatura y alcalinidad (pH) del sustrato se midieron con un Multiparamétrico en el laboratorio de suelos y aguas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. Para ello se separó una muestra de 80 mL por tratamiento. Luego se procedió a llenar los biodigestores al 80% equivalente a 1360 mL con la mezcla preparada para ambos tratamientos (T1 y T2).

Medida de parámetros de operación dentro del sistema

La evaluación de los parámetros dentro del sistema fue en un periodo de 15 días, tiempo óptimo para evaluar la producción de metano (CH_4), mayor componente en el biogás, por el cual presenta valores energéticos produciendo combustión al encontrarse más del 50%. Los parámetros medidos fueron los indicados en la Tabla S2. Con respecto a la temperatura se midió a través de un termo hidrómetro todos los días en los horarios 8 am, 12 pm y 4 pm (Figura 6S). En cuanto a la producción y calidad del biogás se midió todos los días a las 4 pm.

Lectura del rendimiento de producción de biogás

Para el rendimiento de biogás, se midió por desplazamiento de líquido, conduciéndolo el biogás hacia una botella de plástico graduado con contenido de agua, que por presión será desplazado.

Lectura de la calidad del biogás

La calidad de biogás se midió con el equipo de medición de gases con los principales gases CH_4 , H_2S , CO , O_2 , CO_2 (Figura 7S).

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos por

tratamiento, fueron procesados en Excel, realizando un análisis de varianza (ANOVA) con nivel de confianza al 95% ($p < 0,05$), determinando las diferencias entre los tratamientos (T1 – T2), en relación a los parámetros de operación del sistema y el rendimiento de biogás producido en un periodo de 15 días.

III. RESULTADOS

Medida de pH y temperatura del sustrato

En un sistema de digestión anaerobia, a medida que las bacterias influyentes, se van activando para la formación del biogás, estas requieren ciertas condiciones adecuadas para su buen desarrollo, los cuales están enfocados en el sustrato para biodigestar y las condiciones a la que están expuestas y dentro de esta se encuentra la temperatura y el pH, que al no encontrarse en óptimas condiciones, los resultados de la digestión anaeróbica será expresado en bajos rendimientos, haciendo prolongado el TRH y baja calidad del biogás producido, con respecto al análisis de la temperatura y pH del sustrato utilizado en la investigación, estas se encontraron en rangos óptimos, iniciando con un pH neutro, para dar inicio al proceso de digestión del sustrato a biodigestar.

Medida de parámetro de operación

Temperatura

Dentro del registro de temperaturas durante los 15 días de evaluación, se obtuvo un rango de temperatura interna promedio de 24 °C y temperatura externa promedio de 22 °C (Figura 8S).

Tras aplicar el ANOVA, para la temperatura al interior de los colectores solares, se ve que no hay diferencias significativas entre los tratamientos ($F = 0,0711$, Valor crítico $F = 4,1959$).

Producción de biogás

El tratamiento T2, durante el periodo de evaluación, se obtuvo la mayor producción de biogás con un rango mayor de 1200 mL el cual dentro de la investigación se considera como el sistema más eficiente, a comparación del tratamiento T1 en el cual se obtuvo valores máximos de 400 mL de biogás (Figura 9S).

Tras aplicar el ANOVA, para la producción de biogás,

se ve que hay diferencias significativas entre los tratamientos ($F = 34,3625$, Valor crítico $F = 4,1959$).

Composición del biogás producido (calidad)

La composición del biogás para el T2, presentó mayor proporción con referencia a los componentes del biogás como es CH_4 (ppm), CO_2 (%V), H_2O (ppm), CO (ppm) y con referencia al oxígeno (O_2), es un dato establecido por el equipo, de valor 20.9 en %V. Además, en cuanto al componente CH_4 , en ambos tratamientos fue muy bajo, empezando su producción para T2 a partir del día 7 y para el T1 a partir del día 11 (Figura 10S).

IV. DISCUSIONES

Según Redondo (2015), los microorganismos que se desarrollan dentro de un sistema de digestión anaerobia, necesitan sustratos con pH neutros, es así que recomienda para: los fermentativos se necesita un pH entre los rangos de 7.2 - 7.4, para los *Acetogénicos* entre 7.0 - 7.2 y para los *Metanogénicos* un rango de pH que va entre los 6.5 - 7.5, en este contexto en la investigación se obtuvo un pH del sustrato a biodigestar entre los valores de 6.7 y 6.9, lo que se puede considerar que el pH del sustrato se encontró en las condiciones adecuadas para dar inicio al desarrollo de los microorganismos puesto que es neutro.

Los microorganismos fermentadores de un biodigestor, requieren temperaturas no menores a los 35 °C, al depender de esta su actividad y producción de gas (Corrales *et al.*, 2015). Es así que la velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura, puesto que cuando aumenta la temperatura menor será el tiempo de retención (Reyes, 2019), debido a la activación alta de masas microbianas dentro del sistema (Al-Rubaye *et al.*, 2018). Aunado a esto en la investigación se obtuvo registros de temperaturas desde 17 °C hasta 41 °C, ideales para producir biogás, lo que a su vez corrobora según Ortiz *et al.*, (2015) y Pedraza *et al.*, (2016), quienes dan a conocer que los microorganismos metanogénicos como son: *Methanobacterium* spp y *Methanococcus* spp, productores de metano (CH_4), mayor componente del biogás, entran en activación a temperaturas variables de 27 y 34 °C.

Tankin *et al.*, (2015), determinaron que el rendimiento de un digestor anaerobio, es bajo cuando la temperatura se reduce, y el pH se establece en rangos inferiores de 6.5, con obtención de biogás por debajo de 100 mL/día, pero cuando las temperaturas suben, el biogás aumenta a niveles de 100 - 270 mL/día, es así que Cuba y Lescano (2007), produjeron biogás a partir de 29,83 Kg de estiércol de gallina con 12,78 L de lodo activado y 88,34 L de agua, de los cuales obtuvieron una producción diaria máxima de 0,1928 Kg de biogás durante 26 días y una producción total de 6,92 Kg. En la investigación en la cual se trabajó con estiércol de gallina en mezclas de agua y biol, constituido en dos tratamientos (T1 y T2), el tratamiento 2, fue el más eficiente con una producción de biogás promedio de 751.45 mL/día, y un rango mayor de 1200 mL, a comparación del T1 el cual presentó una producción promedio de 209.6 mL/día, y un rango mayor de 400 mL, a temperatura promedio interna de 24 °C y temperatura externa de 22 °C para ambos tratamientos y con respecto a la calidad del biogás producido, para el componente CH₄, en ambos tratamientos fue muy bajo, empezando su producción para T2 a partir del día 7 y para el T1 a partir del día 11, a esto al final del proceso, concluimos que el estiércol de gallina es un sustrato potencial para producir biogás.

V. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Todos los autores participaron en la conceptualización, metodología, investigación, redacción del manuscrito inicial, revisión bibliográfica, y en la revisión y aprobación del manuscrito final.

VI. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbasi, T., S. M. Tauseef, y S. A. Abbasi. 2012. "Anaerobic digestion for global warming control and energy generation—An overview". *Renewable and Sustainable Energy Review*

16 (5): 3228-3242.

- Al-Rubaye, H., J. Smith, M. Shivashankaraiah, J. Yu, S. Karambelkar, y M. Ghorbanian. 2018. "El impacto del tiempo de retención hidráulica y la temperatura de operación en la producción de biocombustibles y el proceso de tratamiento de aguas residuales". *Ingeniería Química e Intensificación del Proceso de Procesamiento* 129: 171-180.
- Bong, C.P.C., L. Y. Lim, C. T. Lee, J. J. Klemeš, C. S. Ho, y W. S. Ho. 2018. "The characterisation and treatment of food waste for improvement of biogas production during anaerobic digestion – A review". *Journal of Cleaner Production* 172: 1545-1558.
- Burg, V., G. Bowman, M. Haubensak, U. Baier, y O. Thees. 2018. "Valorization of an untapped resource: energy and greenhouse gas emissions benefits of converting manure to biogas through anaerobic digestion". *Resources, Conservation and Recycling* 136: 53-62.
- Chini, A., A. C. Bolsan, C. E. Hollas, F. G. Antes, G. Fongaro, H. Treichel, y A. Kunz. 2019. "Evaluation of deammonification reactor performance and microorganisms community during treatment of digestate from swine sludge CSTR biodigester". *Journal of environmental management* 246: 19-26.
- Corrales, L. C., D. M. Romero, J. A. Macías, y A. M. Vargas. 2015. "Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta". *Nova* 13 (24): 55-82.
- Cuba, W. A. y N. A. Lescano. 2007. *Obtención de biogás a partir de estiércol de gallinas procedente de la granja avícola Lescano-Chicama utilizando un biorreactor anaerobio de lecho fijo*. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo (Perú).
- Hagos, K., J. Zong, D. Li, C. Liu, y X. Lu. 2017. "Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspec-

- tives". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 76: 1485-1496.
- Kainthola, J., S. Kalamdhad, y V. Goud. 2019. A review on enhanced biogas production from anaerobic digestion of lignocellulosic biomass by different enhancement techniques. *Process Biochemistry* 84: 81-90.
- Llamas, M. 2015. *Estudio del efecto del rango de temperatura sobre la producción de biohidrógeno por digestión anaerobia a partir de residuos orgánicos*. Tesis de Grado. Universidad de Cádiz. Cádiz (España).
- Martínez, M. 2015. "Producción potencial de biogás empleando excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato". *Nova scientia* 7 (15): 96-115.
- Mussoline, W., G. Esposito, A. Giordano, y P. Lens. 2013. "The Anaerobic Digestion of Rice Straw: A Review". *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 43 (9): 895-915.
- Ortiz, J. L., J. A. Rodríguez, Á. M. Cajiao, y J. I. Maldonado. 2015. "Caracterización fenotípica de metanogénicas aisladas de un sistema di-fafs operado con lixiviado, agua residual y estiércol porcino". *Limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria* 13 (2): 108-122.
- Pedraza, A. C., J. A. Chona, J. I. Maldonado, y J. L. Carrillo. 2016. Estudio cinético de bacterias metanogénicas a diferentes temperaturas. *Bistua revista de la facultad de ciencias básicas* 14 (1): 38-46.
- Pramanik, S. K., F. Suja, S. Zain, y B. Pramanik. 2019. "The anaerobic digestion process of biogas production from food waste: Prospects and constraints". *Bioresource Technology Reports* 8: 100310.
- Reyes, E. A. (2016). "Producción de biogás a partir de biomasa". *Revista Científica de FAREM-Esteli* 17: 11-22.
- Tankin, A., J. Martin, J. Castano, R. Ciotola, J. Rosenblum, y M. Bisesi. 2015. "Impact of organic loading rates on the performance of variable temperature biodigesters". *Ecological Engineering* 78: 87-94.
- Tayyab, A., Z. Ahmad, T. Mahmood, A. Khalid, S. Qadeer, S. Mahmood, y M. Anjum. 2019. "Anaerobic co-digestion of catering food waste utilizing Parthenium hysterophorus as co-substrate for biogas production". *Biomass and Bioenergy* 124: 74-82.
- Varnero, M. T. 2011. *Manual de biogás*. Santiago de Chile (Chile): FAO.