

## Valoración del estiércol de cerdo para producir biogás y biol mediante un biodigestor de polietileno

*Valuation of pig manure to produce biogas and biol through a polyethylene biodigester*

*Recibido:* 15-08-2023  
*Revisado:* 20-09-2023  
*Publicado:* 31-10-2023

Lobato Calderón, Godofredo Román <sup>a</sup>  
<sup>a</sup>Universidad Católica Sedes Sapientiae, Tarma – Perú

### RESUMEN

La finalidad del estudio fue evaluar el valor económico del biogás y biol producidos a partir de estiércol de cerdo mediante un biodigestor de polietileno. Para aprovechar el estiércol porcino, se diseñó un sistema integrado que incluía biol, jaula, biodigestor, porcinos y cocina a biogás. Se diseñó un biodigestor de polietileno. El biogás resultante se acumuló en un gasómetro de 0,15 m<sup>3</sup>. El costo económico del biogás se estableció en comparación con su capacidad para sustituir al gas licuado de petróleo (GLP) de domicilio. El biodigestor de 3 m<sup>3</sup> pudo reemplazar de manera parcial al GLP, generando biogás durante 50 minutos al día para la cocción y calentamiento de alimentos, suficiente para 3 personas de una familia. Esto permitió extender la duración del GLP en 10 días, generando un ahorro de S/. 400,00 anuales y S/ 800,00 en dos años. En cuanto al biol, se obtuvieron 25 litros al día, con un valor diario de S/ 1,50 en nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio. Su valor económico total alcanzó S/ 547,50 al año y S/1 095,00 en dos años. En conclusión, el valor económico total del biogás y biol fue de S/ 1 895,00. Después de restar los costos de instalación de S/ 700,00, se determinó un ahorro neto de S/ 1 195,00 durante la vida útil del biodigestor.

**Palabras clave:** *Valor económico, Combustible, Nutriente agrícola, Energía Renovable.*

### ABSTRACT

The purpose of the study was to evaluate the economic value of biogas and biol produced from swine manure using a polyethylene biodigester. To take advantage of the pig manure, an integrated system was designed that included biol, cage, biodigester, pigs and biogas stove. A polyethylene biodigester was designed. The resulting biogas was accumulated in a 0.15 m<sup>3</sup> gasometer. The economic cost of the biogas was established in comparison with its ability to replace home liquefied petroleum gas (LPG). The 3 m<sup>3</sup> biodigester was able to partially replace LPG, generating biogas for 50 minutes a day for cooking and heating food, enough for 3 people in a family. This allowed extending the duration of LPG by 10 days, generating savings of S/. 400.00 per year and S/ 800.00 in two years. As for the biol, 25 liters per day were obtained, with a daily value of S/. 1.50 in nutrients such as nitrogen, phosphorus and potassium. Its total economic value reached S/ 547.50 per year and S/1,095.00 in two years. In conclusion, the total economic value of the biogas and biol was S/ 1,895.00. After subtracting the installation costs of S/ 700.00, a net saving of S/ 1,195.00 was determined during the useful life of the biodigester.

**Keywords:** *Economic value, Fuel, Agricultural nutrient, Renewable Energy.*

## INTRODUCCION

El valor de la energía en nuestro contexto y su impacto en el bienestar humano son destacados por Guzowski et al. (2021). En el contexto actual, enfrentar las dificultades y utilizar las oportunidades depende en gran medida de la energía (Naciones Unidas, 2018). Sin embargo, la preocupación global por el lento progreso en soluciones no contaminantes para la cocina resalta sus efectos negativos en la salud y el medio ambiente (Naciones Unidas, 2020). Por esta razón, las energías renovables, como el biogás, emergen como alternativas con disponibilidad descentralizada que aprovechan los residuos orgánicos (Severiche y Acevedo, 2013). Estas fuentes de energía no solo contrarrestan la contaminación, sino que también contribuyen a abordar problemas sociales y fomentan el desarrollo de mecanismos productivos (Vásquez y Gamio, 2018). En el caso específico de Perú, el uso de energías renovables se presenta como una opción económica, viable, socialmente relevante y ambientalmente efectivos para hacer frente el desafío del desarrollo sostenible y superar la pobreza energética en áreas rurales (Escobar et al., 2016).

En Villa Rica (Oxapampa) después del cultivo de café, la porcicultura es una de las actividades económicas importante que presenta problemas como la contaminación a las sustancias de agua por excreta y orines de cerdo, así como la proliferación de vectores como las moscas por los malos olores el cual es un problema latente; por otro lado, la problemática política y social que vive el Perú hace que en la selva central el precio del balón de gas llega a costar hasta 70 soles. Las familias en situación de extrema pobreza confían en la leña como fuente principal para cocinar, lo que tiene consecuencias negativas para su salud.

De acuerdo con Gonzales y Steenlamd (2014), en Perú, aquellos que utilizan combustibles de biomasa enfrentan una exposición promedio de 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de partículas PM 2,5, lo que se estima provoca alrededor de 3,000 muertes anuales., ante esta problemática se formuló el problema de investigación **¿Cuál será el valor económico del estiércol de cerdo para generar biogás y biol a través un biodigestor de polietileno?**

El objetivo fue determinar el valor económico del biogás y biol obtenidos de estiércol de cerdo a través un biodigestor de polietileno; por ello se construyó un biodigestor de tipo tubular utilizando polietileno el cuál convierte este problema ambiental y económico en una solución que se integra para generar energía renovable, barata, amigable con el medio ambiente ya que reduce la transmisión de metano, controla los malos olores y los vectores.

El biodigestor construido tiene una capacidad de 3  $\text{m}^3$ , un gasómetro de capa-

cidad de 0,15 m<sup>3</sup> donde se guarda el biogás producido a una presión de 5 cm de agua. Este permite obtener metano (CH<sub>4</sub>) para cocinar y calentar alimentos para 10 días a razón de 50 minutos/día para una familia de 3 miembros y obtener 25 litros/día de biol. Ello permite dar valor a las excretas de estos animales, generando CH<sub>4</sub> para el empleo en casa y el biol para uso agrícola además de mitigar el impacto ambiental (Munive, 2019).

Aguilar y Botero (2007) manifiesta que el costo económico del biogás se determina considerando su potencial para reemplazar la fuente energía fósil. Además, el costo del efluente se realiza tomando en cuenta el valor comercial del nutriente obtenido al final del procesamiento de biodigestión, mientras que los beneficios de la ejecución del biodigestor están vinculados a su capacidad conceptual para disminuir las transmisiones de gases de efecto invernadero.

El Tiempo de Retención Hidráulica (TRC) es de 26 días tiempo en que la excreta de cerdo y agua se convierte en metano. Para poner operativo y evaluar la productividad del sistema se emplea pesas de 0,5 kg, 1 kg y 2 kg que permite regular la presión correcta hacia el sistema del biodigestor de polietileno. Se realiza las pruebas de hervir agua y cocción de alimentos para compararlas con el gas licuado de petróleo (GLP), una vez regulado el sistema se pasa a evaluar la valorización de la excreta de cerdo.

Como resultado se tiene que el valor económico del biogás y biol que se obtiene del estiércol a través de un biodigestor alcanza a S/ 1 895,00 en los dos años, restados de los costos de instalación que es S/ 700,00 esta permite un ahorro de S/ 1 195,00 durante los 02 años de vida útil del Biodigestor. El costo invertido retorna en 1 año y 2 meses. El biodigestor como sistema permite aprovechar las excretas de los porcinos para la producción de biogás y biol como abono foliar (Munive, 2019).

Graño y Moscovitz (2014) sostienen que el biodigestor de polietileno es una opción de bajo costo que permite producir energía y fertilizante. El rendimiento de biogás permite el autoabastecimiento de energía y biofertilizante.

Los datos que se obtiene en la valoración permiten proyectar el tamaño del diseño de los biodigestores de acuerdo a la cantidad de usuarios y excreta que se producen en cada finca.

Para satisfacer la necesidad mensual de la familia en estudio (3 personas) se necesita triplicar el volumen del biodigestor a 9 m<sup>3</sup>.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se implementó un biodigestor tubular de polietileno en Villa Rica, con el fin



de dar valor al estiércol de cerdo. El biodigestor, fabricado con plástico de polietileno transparente de tres capas, tenía una capacidad total de 3 m<sup>3</sup>, de los cuales 2.1 m<sup>3</sup> se asignaron para la mezcla de agua y estiércol porcino. El gasómetro, con una capacidad de 0.15 m<sup>3</sup>, almacenaba el biogás, y la válvula de seguridad estaba calibrada a 5 cm de agua.

Dos cerdos adultos alimentaron el sistema, generando diariamente 5.4 kg de estiércol y orina. Se evaluó como método de valorización del estiércol a través de la producción de biogás y biol. La valoración económica del biogás se centró en su capacidad para reemplazar otras fuentes de energía fósil, mientras que el valor del efluente se calculó considerando el valor comercial de los nutrientes obtenidos al final del proceso de biodigestión. (Munive, 2019).

El proceso de evaluación de la eficiencia del sistema, se emplearon pesas de 0.5 kg, 1 kg y 2 kg para estimar la presión del biodigestor de polietileno. El recojo de información de tiempo y temperatura se llevó a cabo con un cronómetro digital y termómetro especializado (-50 °C a 300 °C), con mediciones cada 2 minutos y una duración de 12 segundos para cada lectura, con el objetivo de uniformizar la recopilación de datos.

### Sistema de valoración de estiércol de cerdo

Con el objetivo de calcular el valor económico del estiércol generado por los porcinos, se desarrolló un sistema de evaluación que incluye la estructura de la jaula de los cerdos, los propios porcinos, el biodigestor de polietileno, la cocina alimentada con biogás y el biol, un subproducto derivado del proceso de digestión anaeróbica en el biodigestor.

- a. **Jaula de cerdos - cerdos:** La estructura de la jaula se elaboró utilizando ladrillos de hormigón, con una superficie total de 9 m<sup>2</sup>, suelo de concreto y techo de calamina. Está equipada con un comedero de cemento para suministrar alimento y un bebedero automático que permite a los cerdos acceder al agua según su voluntad. La dieta principal de los cerdos consistió en alimentos comerciales (preinicio, inicio, crecimiento y engorde), complementada ocasionalmente con sobra de alimentos de restaurantes.
- b. **Construcción del Biodigestor:** Se realizó la excavación de una zanja con dimensiones de 80 m ancho, 0.80 m de profundidad y 3.30 m de longitud para albergar el biodigestor de polietileno. Este se elaboró con mangas de polietileno, compuestas por tres capas de plástico, unidas a tubos de 4 pulgadas con longitudes de 1.5 m y 0.80 m, sellando herméticamente los extremos con cámaras de llantas. El biodigestor, situado a 20 m de la cocina, fue techado para protegerlo de la

radiación solar. Se utilizó el biogás generado para la cocción y calentamiento de alimentos. La provisión diaria al biodigestor se llevó a cabo a través de un conducto de 4 pulgadas conectado al desagüe de la jaula de cerdos, aprovechando el estiércol y orina en cada proceso de limpieza.

- c. **Cocina a biogás:** Se adaptó una cocina antigua de keroseno, equipada con una hornilla de GLP, para ser alimentada con biogás a baja presión. Contó con una válvula de ½ pulgada para regular el flujo de biogás al quemador, asegurando una llama estable con el característico color azul del biogás. El filtro de gas de ácido sulfhídrico se fabricó utilizando un balde de 20 litros que contenía clavos, alambres y hojalatas, reduciendo la presencia de azufre (S).
- d. **El Biol:** Se logró obtener alrededor de 25 litros de biol cada día en el distrito de Villa Rica, utilizado como un suplemento nutricional agrícola (abono foliar) para cultivos como café, maíz y otros. Este enfoque fomenta una producción sostenible sin implicar riesgos para la salud de los agricultores y consumidores, al valorizar los nutrientes (N, P, K) derivados del proceso de digestión anaeróbica del estiércol de cerdo y orina.

## Evaluación de la productividad y presión del biodigestor

Para lograr un rendimiento óptimo en la utilización del biogás para cocinar y calentar alimentos, es esencial sostener una presión no variable en el sistema. Esto implica compensar con pesas adicionales en el biodigestor de polietileno para garantizar la presión adecuada al consumir el biogás. La falta de pesas adicionales resulta en una disminución del flujo en el quemador y, por ende, una reducción en el rendimiento de la cocina. Por esta razón, se llevaron a cabo experimentos utilizando pesas de 0.5 kg, 1 kg y 2 kg.

En la determinación del peso correcto, se utilizó la ebullición de 1 litro de agua, a diferencia de la cocción de papas, cuya duración depende del tamaño y la variedad. Se compararon los resultados con el uso de GLP. Al utilizar 1 litro de agua, se observó que el GLP logró hervirla en 10 minutos a 95.6 °C. Se notó que a medida que aumenta la presión en el sistema de biogás, su eficacia asciende de manera significativa, teniendo una diferencia de 4 minutos diferente al GLP, que opera a una presión más elevada.

## Valoración del biogás

Para evaluar su costo económico en comparación con GLP, se consideró el costo promedio del combustible en el distrito de Villa Rica, que fue de S/ 50,00 con una duración aproximada de 15 días. El costo del biogás se estableció en función de su capacidad para sustituir al GLP de casa. Teniendo en cuenta un costo mensual de S/ 100,00 y un costo anual de S/ 1 200,00, el biodigestor de 3 m<sup>3</sup> logró un reemplazo



parcial al generar biogás por 50 minutos cada día de calentamiento y cocción de comidas para 3 miembros de una familia. Esto permitió extender la duración del GLP en 10 días, generando un ahorro de S/ 400,00 al año.

## **Valorización del biol**

Para analizar el valor económico del biol producido a través de la digestión anaeróbica, se llevaron a cabo cálculos fundamentados en los principales macronutrientes presentes en el biol del estiércol porcino, utilizando como referencia la investigación de Moreno (2019). Según este estudio, el biol porcino presenta las siguientes concentraciones específicas de macronutrientes: Nitrógeno total 4,592.00 mg/L, Fósforo total 2,931.57 mg/L y Potasio total 5,970.00 mg/L. Para establecer su costo económico, se recopilaron datos sobre los precios de los principales macronutrientes en diferentes tiendas de agrofertilizantes en Villa Rica, obteniéndose los siguientes valores: Fósforo (P) a S/ 5,70 por kg, Potasio (K) a S/ 4,20 por kg y Nitrógeno (N) a S/ 4,05 por kg. Considerando las concentraciones y la cantidad diaria de biol producido, se pudo calcular el valor económico de los nutrientes: Nitrógeno total (S/ 0,50), Fósforo total (S/ 0,40) y Potasio total (S/ 0,60). El biodigestor generó un valor total de S/ 1,50 por día en nutrientes N, P y K, lo que suma S/ 547,50 diarios durante un año y S/ 1,095.00 durante los dos años, que es la vida favorable del sistema. Por otro lado, es importante destacar que el biol abarca diferentes micronutrientes de valorización mediante análisis de laboratorio, contribuyendo al valor comercial del mismo. El uso del biol favorece la práctica de la agricultura orgánica, permitiendo que la familia genere sus nutrientes propios.

## **Radiación solar, Temperatura ambiental, Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)**

### **a. La radiación solar, temperatura ambiental**

Se evalúa por 18 meses al biodigestor y se evidenció que la temperatura ambiente y la radiación solar directa sobre el biodigestor tienen un impacto considerable en la generación de biogás. Se notó que las horas de mayor producción de biogás se concentraban principalmente entre las 12:00 p.m. y las 3:00 p.m., momento en el cual la presión interna mueve el biol y supera los 5 cm de presión de agua. En los días sin sol, se observó una limitación en la producción de biogás.

### **b. El Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)**

De acuerdo a Barrena et al. (2019) la temporización de retención hidráulica TRH calculado para el distrito de Villa Rica fue de 24 días (teóricamente); en el seguimiento y evaluación del biodigestor se determinó 26 días (datos de campo) donde la primera carga de estiércol de cerdo y agua generaron biogás en el biodigestor de polietileno, confirmándose con la prueba de combustión al

obtener una llama azul, de manera estable.

## RESULTADOS

El valor económico del biogás y biol obtenidos de estiércol de porcino a través de un biodigestor de polietileno alcanzó a S/ 1 895,00 en los dos años, restados los costos de instalación que fue de S/ 700,00 se obtuvo un ahorro de S/ 1 195,00 durante los 02 años de vida útil del biodigestor. Recuperando el financiamiento en 1 año y 2 meses.

El valor económico del biogás alcanzó un ahorro promedio de S/ 400,00 al año y S/ 800,00 en los dos años. Éste se trabajó en relación con el gas licuado de petróleo (GLP) de 20 kg que tuvo un costo promedio de S/ 50,00 en el distrito de Villa Rica con una duración de 10 **días** con un costo promedio mensual de S/.100,00 y anual de S/ 1 200,00. El biogás obtenido en el biodigestor de 3 m<sup>3</sup> reemplazo parcialmente en 10 días el consumo mensual de GLP, teniendo un ahorro promedio de S/ 400,00 al año y S/ 800,00 en los dos años.

Se determinó el valor económico del biol el cual alcanzó a S/ 547,50 al año y S/ 1 095,00 en los dos años. Obteniéndose 25 litros de biol al día. Con un valor de S/ 1,50 por día de los nutrientes Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K).

El período de retención hidráulica (TRH) en el campo se estableció en 26 días, y se consideró una vida útil del biodigestor de polietileno de 2 años (Barrena et al., 2019).

La producción de biogás se vio significativamente afectada por la temperatura ambiente y la radiación solar sobre el biodigestor. El horario pico de implementación de biogás se registraron predominantemente entre las 12:00 p.m. y las 3:00 p.m., durante las cuales la presión interna desplazó el biol y superó los 5 cm de presión de agua.

Según Pérez (2017), la contaminación de sustancias de agua debido a excretas y orines de cerdo, así como los malos olores y la reproducción de vectores como las moscas, tienen consecuencias negativas en los recursos hídricos y la salud porcícola. Por lo tanto, el biodigestor se presenta como una solución para mitigar la contaminación y otorgar costo al estiércol porcino, según señalan Álvarez y Celis (2020).

## REFERENCIAS

Aguilar, F. X., & Botero Botero, R. (2007). *Estimación de los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo*. Costa Rica: Universidad EARTH. Obtenido de <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/50000030.pdf>.



- Álvarez Salas, L. M., & Celis Celis, M. (2020). *Biodigestores como alternativa para el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en zonas rurales*. Antioquia: Tecnológico de Antioquia, Institución Universitaria. Obtenido de <https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/1446/Informe%20Biodigestores.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Barrena Gurbillón, M. Á., Maicelo Quintana, J. L., Gamarra Torres, O. A., Oliva Cruz, S. M., Leiva Espinoza, S. T., Taramona Ruíz, L. A., & Ordinola Ramírez, C. M. (2019). *Biogás: producción y aplicaciones*. Chachapoyas: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Obtenido de <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1841>.
- Escobar, R., Gamio, P., Moreno, A. I., Castro, A., Cordero, V., & Vásquez, U. (2016). *Energización rural mediante el uso de energías renovables para fomentar un desarrollo integral y sostenible: Propuestas para alcanzar el acceso universal a la energía en el Perú*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Gonzales, G. F., & Steenlamd, K (2014). *La salud ambiental en el Perú*. Lima Rev. Perú Med Exp Salud Pública; 31(2): 298-9. Obtenido de [https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource\\_ssm\\_path=/media/assets/rpmesp/v31n2/a38v31n2.pdf](https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/rpmesp/v31n2/a38v31n2.pdf).
- Graíño, P., & Moscovitz, A. (2014). *Generación y distribución de energía renovable a partir de biogás*. Buenos Aires: Universidad Argentina de la Empresa.
- Guzowski, C., Ibañez Martin, M. M., & Florencia Zabaloy, M. (2021). *Pobreza energética: conceptualización y su vínculo con la exclusión. Breve revisión para América Latina*. São Paulo: Revista Ambiente.
- Hummel Miñano, A. R. (2014). *Implementación parcial de buenas prácticas pecuarias en la producción de cerdos e implementación de un sistema piloto de biodigestión en el parque porcino de Ventanilla*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Moreno Ayala, L. A. (2019). *Calidad de abonos orgánicos a partir del estiércol porcino y su efecto en el rendimiento del maíz chala*. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Munive, D. (2019). *Tenencia responsable de la cría de cerdos en la comunidad vecina de la IE "San Martín de Porres"*. Bogotá: Los libertadores fundación universitaria.
- Naciones Unidas. (2018). *La agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible una oportunidad para América Latina*. Santiago: LC/G.2681-P/Rev.3. Obtenido de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf).

Naciones Unidas. (2020). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas. Obtenido de [https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/TheSustainable-Development-Goals-Report2020\\_Spanish.pdf](https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/TheSustainable-Development-Goals-Report2020_Spanish.pdf).

Pérez Hettinga, R. A. (2017). *Estudio del impacto ambiental en una granja porcícola en el municipio Tibirita Cundinamarca*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

Severiche Sierra, C. A., & Acevedo Barrios, R. L. (2013). *Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustible de segunda generación*. Colombia: Universidad Tecnológica de Bolívar. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5038455>.

Vásquez Baca, U., & Gamio Aita, P. (2018). *Transición energética con energías renovables para la seguridad energética en el Perú: una propuesta de política pública resiliente al clima*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. doi:<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/20184/20216>.