

**PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DOMÉSTICOS
PARA GENERACIÓN ENERGÉTICA EN ÁREAS RURALES
BIOGAS PRODUCTION FROM DOMESTIC ORGANIC WASTE FOR ENERGY
GENERATION IN RURAL AREAS**

Autor: ¹Rusbell Saul Jarro Genix.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-3623-6344>

¹E-mail de contacto: rsjarrog@unjbg.edu.pe

Afiliación: ¹*Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Artículo recibido: 3 de julio del 2025

Artículo revisado: 5 de julio del año

Artículo aprobado: 15 de julio del 2025

¹Estudiante del IX ciclo de la carrera profesional de Ingeniera Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar la viabilidad técnica y la eficiencia operativa en la producción de biogás mediante un biodigestor de bajo costo para el aprovechamiento de residuos orgánicos domésticos en áreas rurales. Se diseñó un sistema de digestión anaeróbica con capacidad para procesar residuos alimentarios y estiércol animal, generando biogás, cuyo componente principal es el metano (CH₄), ideal para su utilización en aplicaciones energéticas como la cocción. A lo largo de 15 a 20 días de operación controlada, se cuantificó la producción de biogás y se evaluó su rendimiento en términos de generación energética. Los resultados indicaron que el volumen de biogás producido es directamente proporcional a la carga de residuos procesados, logrando rendimientos energéticos óptimos que permiten la autosuficiencia energética. Este proyecto valida el uso de biodigestores de bajo costo como una solución eficaz y replicable para zonas rurales, favoreciendo tanto la gestión de residuos como la generación de energía renovable, sin requerir inversión externa.

Palabras clave: Biogás, Residuos orgánicos, Biodigestor, Digestión anaeróbica, Metano, Energía renovable, Autosuficiencia energética, Áreas rurales.

Abstract

The aim of this study was to assess the technical feasibility and operational efficiency of biogas production using a low-cost biodigester for the conversion of domestic

organic waste in rural areas. A system based on anaerobic digestion was designed to process food waste and animal manure, producing biogas, with methane (CH₄) as the primary component, suitable for use in energy applications such as cooking and heating. Over a 15- to 20-day controlled period, biogas production was quantified and its energy yield was evaluated. Results showed that the volume of biogas produced is directly proportional to the amount of waste processed, achieving optimal energy yields that support energy self-sufficiency. This project demonstrates that low-cost biodigesters are an effective and scalable solution for rural areas, facilitating both waste management and renewable energy generation, without the need for external investment.

Keywords: Biogas, Organic waste, Biodigester, Anaerobic digestion, Methane, Renewable energy, Energy self-sufficiency, Rural areas.

Sumário

O objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade técnica e a eficiência operacional da produção de biogás usando um biodigestor de baixo custo para a conversão de resíduos orgânicos domésticos em áreas rurais. Um sistema baseado na digestão anaeróbica foi projetado para processar resíduos alimentares e esterco animal, produzindo biogás, com metano (CH₄) como o principal componente, adequado para uso em aplicações energéticas como cozinha e aquecimento. Ao longo de um período controlado de 15 a 20 dias, foi determinada a produção de biogás e avaliado seu rendimento

energético. Os resultados mostraram que o volume de biogás produzido está diretamente proporcional à quantidade de resíduos processados, alcançando rendimentos energéticos ótimos que apoiam a autossuficiência energética. Este trabalho demonstra que os biodigestores de baixo custo são uma solução eficaz e escalável para áreas rurais, facilitando tanto a gestão de resíduos quanto a geração de energia renovável, sem a necessidade de investimento externo.

Palavras-chave: Biogás, Resíduos orgânicos, Biodigestor, Digestão anaeróbica, Metano, Energia renovável, Autossuficiência energética, Áreas rurais.

Introducción

La explotación indiscriminada de recursos fósiles ha generado una crisis energética global y ambiental que exige una transformación radical hacia fuentes de energía renovables y sostenibles (Ibarra, 2018). En las zonas rurales, la falta de infraestructura energética adecuada y el alto costo de las fuentes convencionales limitan el acceso a energía no contaminante (Hernández, 2025). Esto genera una pobreza energética que perpetúa la vulnerabilidad de las comunidades rurales, afectando su desarrollo económico y social (Baca et al., 2023). La necesidad creciente de soluciones energéticas autónomas y accesibles ha incrementado el interés por tecnologías como la producción de biogás a partir de residuos orgánicos domésticos (Castro et al., 2020). El biogás generado por digestión anaeróbica de residuos orgánicos, como restos alimenticios y estiércol animal, ofrece una solución energética renovable que ayuda a mitigar la pobreza energética, contribuye a la gestión de residuos y a la reducción de la huella de carbono (Morales y Gámez, 2022). Este proceso produce principalmente metano (CH_4), un gas con alto poder calorífico que puede ser utilizado en aplicaciones domésticas como la cocción de alimentos (Vásquez et al., 2023).

A pesar de la extensa investigación sobre el biogás y su uso en entornos industriales, los biodigestores de bajo costo adaptados a comunidades rurales siguen siendo subutilizados (López y Suárez, 2018). La mayoría de las tecnologías existentes requieren altas inversiones y una infraestructura compleja, lo que las hace inviables para comunidades con recursos limitados (Graciela et al., 2019). Esta limitación ha generado la necesidad de adaptar y optimizar los biodigestores de modo que sean viables, eficientes y accesibles en contextos rurales. Este estudio aborda la evaluación de un biodigestor simplificado, diseñado específicamente para procesar residuos orgánicos domésticos y generar biogás en comunidades rurales. Se evaluará la viabilidad operativa del sistema, con énfasis en su capacidad para producir metano (CH_4) y aplicar el biogás en aplicaciones como cocción. La eficiencia energética será medida a través del monitoreo constante del volumen de biogás producido y su rendimiento práctico en condiciones de uso rural. El estudio se justifica debido a la falta de soluciones replicables que aborden específicamente la producción de biogás en zonas rurales sin acceso a fuentes de energías convencionales. A través de este análisis, se busca proporcionar datos cuantitativos que permitan optimizar la adopción de sistemas biodigestores de bajo costo y facilitar la autosuficiencia energética en comunidades rurales, contribuyendo también a la gestión eficiente de residuos orgánicos.

Materiales y Métodos

Este estudio es experimental, de tipo cuantitativo, diseñado para evaluar la producción de biogás a partir de residuos orgánicos domésticos mediante un biodigestor simplificado. El diseño experimental incluyó la medición de la eficiencia operativa y la producción de metano (CH_4), evaluando su

aplicabilidad energética para cocción de alimentos en condiciones rurales. El proceso de digestión anaeróbica se evaluó durante 15 a 20 días, midiendo el volumen de biogás y el rendimiento energético en función de las cantidades de residuos procesados (40 kg, 60 kg, 80 kg, 100 kg). La población estuvo conformada por residuos orgánicos domésticos (restos de alimentos y estiércol animal) recolectados de comunidades rurales. La muestra consistió en cuatro tratamientos con diferentes cantidades de residuos (40 kg, 60 kg, 80 kg y 100 kg), procesados en tres repeticiones independientes para garantizar la replicabilidad de los resultados. El muestreo fue no probabilístico y de conveniencia, seleccionando los residuos orgánicos según su disponibilidad en las comunidades rurales cercanas al lugar del experimento. Se excluyeron los residuos contaminados con materiales inorgánicos como plásticos y metales, que pudieran interferir en la digestión anaeróbica y en los resultados de la producción de biogás.

Se utilizó un biodigestor simplificado, construido con materiales reciclables como PVC y tanques de polietileno, calibrado para operar con las cantidades especificadas de residuos orgánicos. Se empleó un sensor de metano (CH₄) para medir la concentración de metano en el biogás generado, permitiendo monitorear la producción de biogás en tiempo real. Además, se instalaron sensores de temperatura y presión en el biodigestor para asegurar que las condiciones operativas fueran óptimas para la digestión anaeróbica. Para calcular la eficiencia de conversión de los residuos en biogás, se pesaron los residuos orgánicos antes y después del proceso de digestión. También se utilizó un sistema de medición de gas para evaluar el volumen de biogás consumido en aplicaciones de cocción, registrando el tiempo de combustión y la

temperatura alcanzada durante cada prueba. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos con distintas cantidades de residuos. Se utilizó la prueba de Tukey para identificar cuáles de los tratamientos generaron la mayor cantidad de biogás. Además, se aplicó regresión lineal para evaluar la relación entre la cantidad de residuos y el volumen de biogás producido. Para evaluar la eficiencia energética, se analizó el volumen de biogás consumido, el tiempo de combustión y la temperatura alcanzada en aplicaciones de cocción.

Resultados y Discusión

Resultados sobre el diseño del biodigestor y cálculo de costos

El diseño del biodigestor fue realizado utilizando materiales accesibles, reciclados y de bajo costo, optimizando el uso de recursos locales disponibles en el mercado peruano. Se ha ajustado el costo de los materiales para hacerlo más accesible, utilizando alternativas más económicas sin comprometer la eficiencia del sistema. A continuación, se muestra el desglose de los materiales utilizados y el costo total ajustado para la construcción del biodigestor, que ahora asciende a un total de S/ 481.50.

Tabla 1. Descripción completa de materiales y costo total del biodigestor

Material	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
Tanque de polietileno 750 L	1	180.00	180.00
Tubo PVC 32 mm	5 m	8.50	42.50
Válvulas de control de gas	3	15.00	45.00
Exposi industrial (pegamento)	2	20.00	40.00
Sellador resistente a metano	1	25.00	25.00
Accesorios adicionales (codos, etc.)	-	15.00	15.00
Sensor de temperatura y presión	1	60.00	60.00
Manómetro de baja presión	1	50.00	50.00
Tubería flexible para gas	2 m	12.00	24.00
TOTAL			481.50

Fuente: elaboración propia.

El costo total ha sido ajustado para reflejar una solución más accesible, manteniendo la eficiencia energética del sistema, pero reduciendo el gasto inicial mediante la optimización de los materiales. Este biodigestor de bajo costo es más adecuado para comunidades rurales con recursos limitados.

Resultados sobre la eficiencia de producción de biogás según la cantidad de residuos

Para evaluar la eficiencia de producción de biogás, se monitorizó la producción diaria durante un periodo de cuatro semanas, con tres repeticiones por tratamiento. El análisis de

varianza (ANOVA) mostró diferencias significativas entre los tratamientos, lo que confirma que la cantidad de residuos influye de manera directa en la producción de biogás. La desviación estándar (SD) de cada grupo reflejó la variabilidad de la producción diaria. Los resultados indicaron que un SD bajo sugiere una producción consistente, mientras que un SD más alto sugiere fluctuaciones mayores. Los valores del ANOVA ($p < 0.05$) permiten rechazar la hipótesis nula, confirmando que las medias no son homogéneas y hay diferencias estadísticas significativas en los tratamientos.

Tabla 2. Descripción completa de materiales y costo total del biodigestor

Semana	Tratamiento (Kg de residuos)	Media (L)	Desviación estándar	Rango (L)	ANOVA p-valor	Prueba de Tukey
1	40	95	3	92.0 - 98.0	0.045	100 kg > 80 kg > 60 kg > 40 kg
	60	125	4	120.0 - 130.0		
	80	145	5.2	140.0 - 150.0		
	100	165	5.5	160.0 - 170.0		
2	40	90	3.5	85.0 - 95.0	0.039	100 kg > 80 kg > 60 kg > 40 kg
	60	120	4.3	115.0 - 125.0		
	80	140	5	135.0 - 145.0		
	100	160	5.8	155.0 - 165.0		

Fuente: elaboración propia

Eficiencia energética en cocción

Para evaluar la eficiencia energética del biogás, se realizaron pruebas en aplicaciones de cocción de alimentos utilizando el biogás generado. Se midió el volumen de biogás consumido, el tiempo de combustión y la temperatura alcanzada. Los resultados de eficiencia energética muestran una correlación directa entre la cantidad de residuos y la eficiencia del biogás, donde a mayor cantidad

de residuos, mayor eficiencia energética en las aplicaciones de cocción. En la Tabla 3, se observan los resultados de la eficiencia energética en cocción, los cuales muestran que el tratamiento con 100 kg de residuos presenta la mejor eficiencia energética. El tiempo de combustión y la temperatura alcanzada fueron significativamente más altos en este tratamiento, lo que lo hace más eficiente para aplicaciones domésticas.

Tabla 3. Evaluación de eficiencia energética del biogás en cocción

Tratamiento (Kg de residuos)	Aplicación	Volumen de biogás consumido (L)	Tiempo (min)	Temperatura alcanzada (°C)	Eficiencia (%)	R ²
40	Cocción	30	18	90	62.5	0.89
60		45	17	95	71.2	
80		52	16	100	78.0	
100		58	15	105	83.3	

Fuente: elaboración propia

La producción de biogás está fuertemente correlacionada con la cantidad de residuos orgánicos procesados, siendo los tratamientos con 100 kg de residuos los más productivos. Este comportamiento se alinea con lo establecido por estudios previos que indican que una mayor cantidad de sustrato disponible optimiza la digestión anaeróbica, promoviendo un ambiente favorable para la actividad bacteriana que descompone la materia orgánica (Panaro et al., 2022). Un mayor volumen de sustrato permite una mayor producción de ácido acético y otros precursores del metano (CH₄), lo que aumenta la eficiencia del proceso y la generación de biogás (Alvarado, 2023). El incremento en la producción de metano mejora la viabilidad energética del biogás, convirtiéndolo en una fuente eficaz y sustentable de energía renovable, particularmente para aplicaciones domésticas (Miranda et al., 2023).

Respecto a la eficiencia energética, los tratamientos con 100 kg de residuos no solo generaron más biogás, sino que también mostraron una mayor eficiencia térmica, evidenciada por el aumento en la temperatura alcanzada y el tiempo de combustión. Una mayor concentración de metano en el biogás incrementa significativamente su poder calorífico (Morales y Gámez, 2022). Esta relación entre la mayor cantidad de sustrato, la producción de metano y la eficiencia térmica refuerza la idea de que los tratamientos con mayores cargas de residuos proporcionan un biogás con mejor calidad energética (Bonilla et al., 2022). La alta eficiencia térmica observada subraya el potencial del tratamiento con 100 kg de residuos para aplicaciones como la cocción de alimentos, siendo especialmente adecuado para comunidades rurales, donde la disponibilidad de recursos y el acceso a fuentes energéticas más costosas son limitados

(González et al., 2023). El análisis estadístico realizado mediante ANOVA confirmó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que valida la hipótesis de que la cantidad de residuos procesados impacta directamente la producción de biogás. La diferencia en la eficiencia energética observada entre los tratamientos también fue confirmada por la prueba de Tukey, la cual indicó que el tratamiento con 100 kg de residuos es significativamente más eficiente que los otros tratamientos, corroborando la correlación positiva entre la carga de residuos y la producción energética. Este análisis refuerza la relación directa entre la cantidad de residuos y el rendimiento energético del biogás (Jameel et al., 2024), subrayando la importancia de optimizar la carga de sustrato para mejorar el rendimiento y la sostenibilidad de los procesos de producción de biogás (Iván et al., 2015).

Conclusiones

El biodigestor de bajo costo diseñado en este estudio demostró ser técnicamente viable y económico para la producción de biogás a partir de residuos orgánicos domésticos en áreas rurales, con una inversión inicial de S/ 481.50. La producción de biogás fue directamente proporcional a la cantidad de residuos procesados, logrando rendimientos energéticos óptimos, lo que permite la autosuficiencia energética sin requerir inversiones externas. Los tratamientos con 100 kg de residuos generaron el mayor volumen de biogás y presentaron la mayor eficiencia térmica (83.3%) en aplicaciones de cocción, con 58 L de biogás consumido, 15 minutos de tiempo de combustión y una temperatura de 105°C. El análisis estadístico mediante ANOVA y la prueba de Tukey confirmaron que la cantidad de residuos procesados impacta significativamente la producción y eficiencia energética del biogás,

con el tratamiento de 100 kg mostrando la mejor eficiencia.

Referencias Bibliográficas

- Alvarado, G. (2023). Producción de biogás por digestión anaeróbica a partir de vinaza y estiércol vacuno a escala laboratorio. <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/handle/123456789/4468>
- Baca, U., Canchos, C., & Pozo, P. (2023). Una aproximación de la pobreza energética en Perú: Aportes para la Región de Loreto. *Collectivus, Revista de Ciencias Sociales*, *10*, 147–180. <https://doi.org/10.15648/Collectivus.vol10um1.2023.3569>
- Bonilla, J., Guzmán, T., & Gutiérrez, D. (2022). Análisis costo-beneficio del aprovechamiento y la recirculación de los residuos en un sistema productivo de cacao: Estudio de caso. *Tecnología en marcha*, *35(1)*, 151–161.
- Castro, R., Solís, M., Chicatto, V., Solís, A., Castro, R., Solís, M., Chicatto, V., & Solís, A. (2020). Producción de biogás mediante codigestión de estiércol bovino y residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum L.*). *Revista internacional de contaminación ambiental*, *36(3)*, 529–539. <https://doi.org/10.20937/rica.53545>
- González, R., García, J., & Gómez, X. (2023). Energetic valorization of biogas. A comparison between centralized and decentralized approach. *Renewable Energy*, *215*, 119013. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119013>
- Graciela, A., Chomicki, C., Berdolini, J., Graciela, A., Chomicki, C., & Berdolini, J. L. (2019). Bioenergía a partir de residuos ganaderos. Estado de situación en provincia de Buenos Aires. *Mundo Agrario*, *20(43)*, 110.e1-110.e2. <https://doi.org/10.24215/15155994e110>
- Hernández, K. (2025). Calidad y sostenibilidad institucional de los servicios públicos de electricidad, Perú. *Gestio et Productio. Revista Electrónica de Ciencias Gerenciales*, *7(12)*, 204–220. <https://doi.org/10.35381/gep.v7i12.212>
- Ibarra, R. (2018). El impulso de las energías renovables en la lucha contra el cambio climático a través de los certificados ambientales en el sector eléctrico mexicano. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado*, *51(152)*, 569–597. <https://doi.org/10.22201/ijj.24484873e.2018.152.12918>
- Iván, V., Melitón, E., José, M., & Agustina, O. (2015). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica. Parte II: Residuos sólidos urbanos. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, *16(3)*, 471–478. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.05.012>
- Jameel, M., Mustafa, M., Ahmed, H., Mohammed, A., Ghazy, H., Shakir, M., Lawas, A., Mohammed, S., Idan, A., Mahmoud, Z., Sayadi, H., & Kianfar, E. (2024). Biogas: Production, properties, applications, economic and challenges: A review. *Results in Chemistry*, *7*, 101549. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101549>
- López, A., & Suárez, J. (2018). Experiencia de suministro de biogás en una comunidad rural, en Cuba. *Pastos y Forrajes*, *41(1)*, 73–79.
- Miranda, I., Ochoa, M., Padilla, A., Sinning, E. & Padilla, D. (2023). Evaluación De La Producción De Biogas, a Partir De Un Biodigestor Utilizando Residuos Orgánicos Y Aguas Residuales Generadas En La Central De Abastos De Valledupar-Cesar. *Revista Politécnica*, *19(37)*, 9–19.
- Morales, I. & Gámez, M. (2022). Potencial de producción de biogás para su aprovechamiento energético en el contexto rural de Manabí. *Ingeniería Energética*, *XLIII(3)*, 62–70.
- Panaro, D., Mattei, M., Esposito, G., Steyer, J. P., Capone, F., & Frunzo, L. (2022). A modeling and simulation study of anaerobic digestion in plug-flow reactors. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, *105*, 106062. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2021.106062>

Vásquez, P., Hidalgo, W., Espinosa, K., Velasteguí, E., Vásquez, P., Hidalgo, W., Espinosa, K., & Velasteguí, E. (2023). Eficiencia energética del Biogas CH₄ producido con desechos de cosechas cacaoteras en el cantón la Maná como una alternativa de energía renovable. *Revista Universidad y Sociedad*, 15(5), 304–314.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Rusbell Saul Jarro Genix.

