

## PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A BASE DE ESTIÉRCOL DE CERDO EN LA REGIÓN DE TACNA

### BIOGAS PRODUCTION FROM PIG MANURE IN THE TACNA REGION

**Autores:** <sup>1</sup>Daniela Pierina Cosi Fuentes.

<sup>1</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-0133-0622>

<sup>1</sup>E-mail de contacto: [dcosif@unjbg.edu.pe](mailto:dcosif@unjbg.edu.pe)

Afiliación: <sup>1</sup>\*Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Artículo recibido: 31 de junio del 2025

Artículo revisado: 1 de julio del 2025

Artículo aprobado: 12 de julio del 2025

<sup>1</sup>Estudiante de la carrera profesional de Ingeniera Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

#### Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo elaborar biogás utilizando estiércol de cerdo como materia prima, con el fin de proporcionar una alternativa sostenible al gas licuado de petróleo en la región de Tacna. La investigación se desarrolló en una granja ubicada en el distrito de Gregorio Albarracín, donde se construyó un biodigestor casero de 19 litros. El procedimiento incluyó la instalación de válvulas, mangueras, conectores y un sistema de recolección del gas, operando bajo condiciones anaerobias a temperatura ambiente. Durante un periodo de 40 días, se monitorearon variables como el tiempo de fermentación, temperatura ambiental y presión interna. Como resultado, se logró generar un volumen total estimado de 620 litros de biogás, alcanzando su mayor producción a partir del día 20. Este gas fue aprovechado exitosamente en la cocción de alimentos mediante un quemador adaptado. Se concluye que el estiércol de cerdo es un recurso viable para la producción de biogás, contribuyendo así a la reducción de residuos orgánicos y a la mejora de las condiciones sanitarias y energéticas de las zonas rurales. El estudio también sugiere que esta tecnología, con bajo costo de implementación, puede ser replicada en otras regiones del país con similares condiciones.

**Palabras clave:** Biogás, Estiércol de cerdo, Digestión anaeróbica, Energía renovable, Sostenibilidad.

#### Abstract

The objective of this study was to produce biogas using pig manure as raw material,

aiming to offer a sustainable alternative to liquefied petroleum gas (LPG) in the Tacna region. The research was conducted on a farm located in the district of Gregorio Albarracín, where a 19-liter homemade biodigester was built. The system included valves, hoses, connectors, and a gas collection setup, operating under anaerobic conditions at room temperature. Over a 40-day period, variables such as fermentation time, ambient temperature, and internal pressure were monitored. As a result, an estimated total of 620 liters of biogas was produced, with peak output starting around day 20. The gas was successfully used to cook food using an adapted burner. It was concluded that pig manure is a viable resource for biogas production, contributing to the reduction of organic waste and improving sanitation and energy conditions in rural areas. The study also suggests that this low-cost technology can be replicated in other regions of the country with similar conditions.

**Keywords:** Biogas, Pig manure, Anaerobic digestion, Renewable energy, Sustainability.

#### Sumário

O presente estudo teve como objetivo produzir biogás utilizando esterco de porco como matéria-prima, com o intuito de oferecer uma alternativa sustentável ao gás liquefeito de petróleo (GLP) na região de Tacna. A pesquisa foi realizada em uma fazenda localizada no distrito de Gregorio Albarracín, onde foi construído um biodigestor caseiro de 19 litros. O sistema incluiu válvulas, mangueiras, conectores e um coletor de gás, operando em condições anaeróbicas à temperatura ambiente.

Durante um período de 40 dias, variáveis como tempo de fermentação, temperatura ambiente e pressão interna foram monitoradas. Como resultado, foi produzido um volume total estimado de 620 litros de biogás, com pico de produção a partir do 20º dia. O gás foi usado com sucesso na cocção de alimentos por meio de um queimador adaptado. Conclui-se que o esterco de porco é um recurso viável para a produção de biogás, contribuindo para a redução de resíduos orgânicos e para a melhoria das condições sanitárias e energéticas em áreas rurais. O estudo também sugere que essa tecnologia de baixo custo pode ser replicada em outras regiões do país com condições semelhantes.

**Palavras-chave: Biogás, Esterco de porco, Digestão anaeróbica, Energia renovável, Sustentabilidade.**

### **Introducción**

La producción de biogás a partir de estiércol de cerdo en la región de Tacna está influenciada en gran medida por las características del insumo, específicamente la cantidad y calidad del estiércol disponible. La cantidad de estiércol depende del tamaño, la densidad y la gestión de las unidades porcinas presentes en la zona, así como de la frecuencia con la que se realiza la recolección y disposición del material. Cuando existen un gran número de unidades porcinas y se recolecta de manera regular, se puede garantizar un flujo constante de materia prima que facilite la implementación de un proceso de producción de biogás de manera continua. En cuanto a la calidad del estiércol, este se ve afectado por factores como su contenido de materia orgánica, humedad, composición química y grado de fermentabilidad. Un estiércol con alto contenido de materia orgánica y condiciones de humedad adecuadas permite que los microorganismos en el digestor puedan llevar a cabo procesos de descomposición de manera eficiente, lo que

resulta en mayor producción de biogás y en una conversión efectiva de la materia prima. Además, la presencia de contaminantes o infecciones puede reducir la eficiencia del proceso, por lo que es importante contar con un control adecuado de la calidad del insumo. La identificación y selección de estiércol con buenas características es fundamental para optimizar la producción y garantizar la sostenibilidad del sistema a largo plazo, promoviendo mejores niveles de eficiencia y rentabilidad en la generación de energía renovable.

El diseño y las condiciones operativas del digestor también tienen un impacto importante en la eficiencia de la producción de biogás. La capacidad del sistema, que puede variar desde unidades pequeñas hasta plantas de mayor escala, debe estar alineada con la disponibilidad de estiércol y las necesidades de la comunidad o del productor. La elección del tipo de digestor, ya sea de tipo simple, de doble cámara o de tecnología avanzada, afecta tanto la eficiencia como la facilidad de operación y mantenimiento. Un diseño adecuado debe contemplar aspectos como la rigidez estructural, la resistencia a agentes externos y una adecuada aislación térmica para mantener las condiciones del proceso. Además, el control de temperatura, que puede mantenerse en niveles mesofílicos (alrededor de 35°C) o termofílicos (alrededor de 55°C), influye en la velocidad de digestión y en la eficiencia del proceso microbiológico. La regulación constante del pH, junto con un monitoreo preciso del tiempo de retención y la agitación del material, ayudan a mantener un ambiente óptimo para los microorganismos. Un sistema bien diseñado y controlado asegura una producción estable y predecible, permitiendo maximizar la generación de

biogás y minimizar los riesgos de fallos o paradas no planificadas.

Asimismo, aspectos económicos y logísticos juegan un papel esencial en la implementación y sostenibilidad del proyecto de biogás. La inversión inicial en la adquisición o construcción del digestor, junto con los costos recurrentes de mantenimiento, operación y recolección del estiércol, deben ser considerados de manera cuidadosa. La disponibilidad de recursos financieros, ya sea mediante fondos propios, créditos o apoyos gubernamentales, es clave para facilitar el acceso a esta tecnología, especialmente en regiones en desarrollo como Tacna. La capacitación del personal encargado de la operación y mantenimiento del sistema resulta vital para garantizar la eficiencia técnica y la durabilidad del equipo. Además, la logística en la recolección y transporte del estiércol, que puede implicar caminos rurales y mecanismos eficientes, afecta directamente los costos y la viabilidad económica del proyecto. La existencia de un mercado para los subproductos, como el digestato, que puede usarse como fertilizante, también representa una fuente adicional de ingresos o ahorro en insumos agrícolas. La planificación adecuada en estos aspectos ayuda a reducir costos, mejorar la rentabilidad y promover la adopción generalizada de dicha tecnología en la región.

En el contexto social y ambiental en la región de Tacna influye de manera determinante en la aceptación y éxito del proyecto de producción de biogás. La sensibilización y participación de la comunidad local son aspectos fundamentales para promover un proceso de implementación colaborativo y sostenible. La conciencia ambiental, que incluye conocimientos sobre la gestión correcta de los residuos y las ventajas del uso del biogás, ayuda a reducir resistencias

y favorece la adopción de esta fuente energética renovable. La formación técnica y el apoyo institucional también son necesarios para capacitar a los actores locales y garantizar buenas prácticas en la operación y mantenimiento de los sistemas. Desde una perspectiva ambiental, la gestión adecuada del estiércol contribuye a disminuir la contaminación del suelo, del agua y del aire, evitando problemas sanitarios y ambientales que puedan generarse por la acumulación y exposición de residuos mal gestionados. Además, la generación de biogás puede promover beneficios sociales, como la creación de empleo y el acceso a energía limpia en zonas rurales, mejorando la calidad de vida y fomentando el desarrollo sostenible.

El aumento de la demanda energética en zonas rurales de países en desarrollo ha impulsado la búsqueda de fuentes alternativas que sean sostenibles, económicas y accesibles. En este contexto, el biogás producido a partir de residuos orgánicos, como el estiércol de animales, se presenta como una solución viable tanto para la mitigación de impactos ambientales como para el mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones rurales (FAO, 2013). El estiércol de cerdo es una fuente rica en materia orgánica y microorganismos que, bajo condiciones anaerobias, puede ser transformado en metano (CH<sub>4</sub>) mediante un proceso de digestión que ocurre naturalmente. Este proceso, además de generar energía, permite la reducción de gases de efecto invernadero y la mejora de las condiciones sanitarias en las granjas (Molina et al., 1999). En la región de Tacna, la producción porcina se ha intensificado en distritos como Gregorio Albarracín, Calana, Pocollay y Alto de la Alianza, generando gran cantidad de residuos mal gestionados, que representan un problema de salud pública y

contaminación ambiental. Ante esta problemática, se plantea el aprovechamiento del estiércol porcino mediante tecnología de bajo costo para producir biogás como sustituto del gas licuado de petróleo (GLP), reduciendo la dependencia de combustibles fósiles. A pesar de existir investigaciones previas a nivel nacional (Delgado, 2017; Cueva, 2012), aún se observa un limitado conocimiento práctico sobre la implementación de biodigestores a escala doméstica en regiones como Tacna. Por ello, el presente estudio busca evaluar la viabilidad técnica y ambiental de la producción de biogás en condiciones reales de una granja local, utilizando estiércol porcino como sustrato base.

### **Materiales y Métodos**

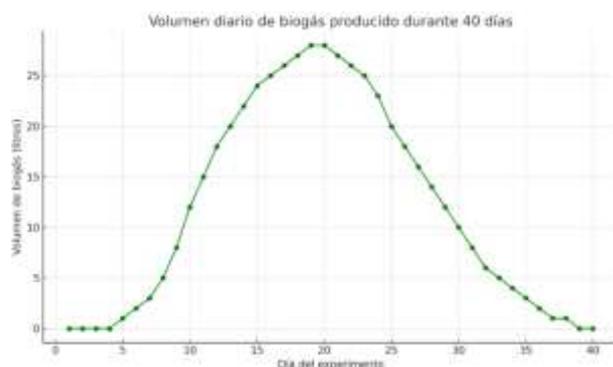
La investigación fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño experimental. Se realizó un estudio exploratorio-descriptivo para evaluar el proceso de producción de biogás y sus resultados en condiciones controladas. El experimento se llevó a cabo en la Asociación San Antonio, distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, en la ciudad de Tacna, Perú, durante los meses de abril y mayo de 2025. Se utilizó una muestra puntual de estiércol fresco de porcino, recolectado diariamente de una granja con un promedio de 20 cerdos en etapa de engorde. Se emplearon aproximadamente 15 kg de estiércol mezclado con agua en proporción 1:1 (estiércol:agua) para alimentar el biodigestor. Se construyó un biodigestor casero tipo batch (fermentación discontinua), siguiendo las siguientes etapas:

- Acondicionamiento del bidón con orificios para entrada de carga, salida de gas y descarga de efluente.
- Ensamblaje del sistema de tuberías y válvulas, sellado con silicona.

- Carga inicial con mezcla de estiércol y agua.
- Fermentación anaerobia a temperatura ambiente (~22°C a ~25°C).
- Registro diario de presión, temperatura, tiempo y volumen de gas recolectado.
- Prueba funcional de biogás con un quemador doméstico.

### **Resultados y Discusión**

Durante los 40 días de observación, se obtuvo una producción total de 620 litros de biogás, con una producción promedio diaria de 15,5 litros. La producción inició de forma perceptible a partir del día 8, alcanzando su pico entre los días 20 y 28 con un máximo diario de 28 litros (ver Figura 1).



**Figura 1.** Volumen diario de biogás producido

Los resultados coinciden con estudios similares realizados por Cueva (2012), quien observó un volumen acumulado de 644,668 cm<sup>3</sup> (644,6 L) a los 58 días en un sistema semicontinuo con residuos similares. A pesar del menor volumen total en el presente estudio, el tiempo de retención fue menor y el tamaño del biodigestor también más reducido, lo que valida la eficiencia relativa del sistema. En cuanto al uso del biogás, se probó su aplicación en un quemador artesanal, logrando mantener una llama estable durante 12 minutos por cada carga de 20 litros de gas, demostrando su capacidad calorífica media. La calidad del gas fue comprobada por el bajo

contenido de humedad y ausencia de olores residuales al momento de la combustión. En términos ambientales, se redujo la acumulación de estiércol en la zona experimental, disminuyendo la proliferación de moscas y malos olores, lo cual fue reportado por los operarios de la granja. Esto coincide con estudios de FAO (2011) sobre los beneficios sanitarios del manejo anaerobio de residuos ganaderos.

### **Conclusiones**

Los resultados obtenidos demuestran de manera clara que la producción de biogás a partir del estiércol de cerdo mediante la construcción de un biodigestor casero de bajo costo es una opción viable y factible para las comunidades rurales y pequeños productores en la región de Tacna. La experiencia de 40 días de fermentación evidenció que, en condiciones controladas con materiales accesibles y sin la necesidad de tecnologías sofisticadas, es posible obtener un volumen total estimado de aproximadamente 620 litros de biogás. Esta cantidad de energía es suficiente para cubrir necesidades básicas en el hogar, como la cocción de alimentos y otras actividades domésticas sencillas, contribuyendo a disminuir la dependencia de combustibles tradicionales como leña o gas licuado. La producción alcanzó su punto máximo entre los días 20 y 28 del experimento, momento en el cual la actividad microbiológica en el sistema se encontraba en su etapa de mayor eficiencia. Esto coincide con el comportamiento esperado en procesos anaeróbicos, donde las tasas de producción de biogás tienden a estabilizarse y alcanzar valores máximos en ese período. La adaptación del sistema y el control de las condiciones del proceso hicieron posible mantener un rendimiento constante durante la fase más productiva, confirmando la eficacia de

métodos sencillos y económicos para desarrollar tecnología apropiada en contextos rurales.

Otro hallazgo relevante es que el sistema mostró un correcto funcionamiento bajo las condiciones climáticas particulares de la región de Tacna, caracterizadas por temperaturas moderadas y cambios estacionales que no afectaron significativamente la producción de biogás. Esto indica que no fue necesario implementar sistemas de calentamiento externo ni modificar las condiciones ambientales para mantener el proceso activo, lo cual es un aspecto favorable desde la perspectiva de costo y sostenibilidad. La sencillez de la tecnología permite que productores con conocimientos básicos puedan construir y operar estos biodigestores de forma autónoma, fomentando la autogestión y la apropiación del recurso en el medio rural. Además, la utilización del estiércol como materia prima convierte un residuo orgánico en un recurso valioso, mejorando las condiciones sanitarias en las granjas, pues reduce la acumulación de estiércol en los corrales y previene la proliferación de vectores de enfermedades transmisibles, como moscas y roedores. La disminución de malos olores y la reducción de riesgos para la salud pública también tienen efectos positivos en la comunidad, promoviendo un ambiente más limpio y saludable en las áreas rurales donde se implementa esta tecnología.

Asimismo, la adopción del sistema tiene un impacto ambiental positivo, ya que fomenta el aprovechamiento integral de los residuos orgánicos, disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la descomposición natural del estiércol y contribuye a la reducción de contaminantes en el entorno. La generación de biogás también se

presenta como una alternativa ecológica para suplir parcialmente las necesidades energéticas de las comunidades rurales, en un momento en que la disponibilidad y el costo del gas licuado de petróleo o electricidad pueden ser limitados o elevados. La articulación de las ventajas técnicas, económicas y sociales de la tecnología refuerza su potencial replicabilidad en otras zonas del país, particularmente en aquellas con condiciones similares en cuanto a recursos y necesidades. Es importante señalar que, más allá de los beneficios inmediatos, la difusión y fortalecimiento de esta práctica pueden promover un cambio hacia un modelo más sostenible y autosuficiente en las áreas rurales, apoyado por políticas y programas de incentivos.

En conclusión, el diseño de un biodigestor casero de bajo costo ha demostrado ser una estrategia efectiva para transformar residuos orgánicos en una fuente de energía renovable accesible y segura. La experiencia confirma que, con recursos limitados, es posible implementar soluciones tecnológicas que generan beneficios económicos, ambientales y sociales significativos, mejorando la calidad de vida de las comunidades rurales en Tacna y en otras regiones similares. La información recogida no solo valida la viabilidad técnica de la propuesta, sino que también resalta su potencial de escalabilidad y adaptación a diferentes contextos, ampliando las oportunidades para el desarrollo sostenible y la gestión responsable de residuos en zonas rurales del país. Este modelo de biogás puede constituirse en una estrategia clave para promover la energía limpia, reducir la vulnerabilidad a los shocks del mercado energético y fortalecer la resiliencia de las comunidades frente a los desafíos ambientales y económicos actuales.

### **Referencias Bibliográficas**

- Álvarez, R., & Lidén, G. (2008). Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. *Renewable Energy*, 33(4), 726-734.  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.05.001>
- Angelidaki, I., Treu, L., Tsapekos, P., Luo, G., Campanaro, S., Wenzel, H., & G. Kougias, P. (2018). *Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975018300119>
- Bae, I., Park, S., Shin, J., Triolo, J. M., & Shin, S. G. (2025). Country-Specific Modeling of Methane Production and Emission Reduction Utilizing Pig Manure. *Energies*, 18(1), Article 1.  
<https://doi.org/10.3390/en18010095>
- Barreda, J., Ancco, M., Núñez, A., Aguirre, C. E., Tejada, K., Pacheco, G., Barreda, J., Ancco, M., Núñez, A., Aguirre, C., Tejada, K., & Pacheco, G. (2022). Co-Digestión de Tres Tipos de Estiércol (Vaca, Cuy y Cerdo) para Obtener Biogás en el Sur del Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(3), 174-181.  
<https://doi.org/10.18271/ria.2022.457>
- Cueva, B. L. (2012). *Obtención de biogás de estiércol porcino y restos vegetales, por fermentación semicontinua*.  
<https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/3311>
- De Paula, I., Pereira, A., Pereira, P., Pereira, D. N., De Alencar, T., & Carraro, A. (2024). *Integrated Assessment of Methane Production from the Co-Digestion of Swine Wastewater and Other Organic Wastes*.  
<https://www.mdpi.com/2071-1050/16/14/5938>
- FAO. (2011). *Manual de biogás*. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Hilgert, J., Herrmann, C., Petersen, S., Dragoni, F., Amon, T., Belik, V., Ammon, C., & Amon, B. (2023). Assessment of the biochemical methane potential of in-house

- and outdoor stored pig and dairy cow manure by evaluating chemical composition and storage conditions. *Waste Management*, 168, 14-24. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.05.031>
- Li, P., Wang, J., Peng, H., Li, Q., Wang, M., Yan, W., Boboua, S. Y. B., Li, W., Sun, Y., Zheng, G., & Zhang, H. (2022). The effect of heat pre-treatment on the anaerobic digestion of high-solid pig manure under high organic loading level. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.972361>
- Martínez, M. (2015). Producción potencial de biogás empleando excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato. *Nova Scientia*, 7(15), 96-115.
- Molina, K., Caicedo, L., & Duque, C. (1999). Tratamiento de las excretas de cerdo mediante un reactor anaeróbico SCFBR a nivel de banco. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 2(1), 7-15.
- Samayoa, S. (2012). Guía implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas. Honduras: SNV.
- Tian, P., Gong, B., Bi, K., Liu, Y., Ma, J., Wang, X., Ouyang, Z., & Cui, X. (2023). Anaerobic Co-Digestion of Pig Manure and Rice Straw: Optimization of Process Parameters for Enhancing Biogas Production and System Stability. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph20010804>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Daniela Pierina Cosi Fuentes.

