



Artículo de revisión/ Review article

Uso de microorganismos para aumentar la producción de biogás a partir de estiércol animal - Revisión Sistemática

Using microorganisms to increase biogas production from animal manure - A systematic review

Jane Barrera-Viena ^{1*} 

¹EP Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana
Unión, Tarapoto, Perú

Recibido: 28/03/2025

Aceptado: 12/06/2025

Publicado: 25/07/2025

*Autor de correspondencia: jane.barrera@upeu.edu.pe

Resumen: Esta revisión sistemática analiza la producción de gas natural a partir de desechos animales y el uso de microorganismos benéficos. Se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos académicas como Scopus, ScienceDirect, Scielo y Google Scholar y se seleccionaron 84 artículos relevantes de los últimos cinco años utilizando el método PRISMA. Los resultados mostraron que la introducción de ciertos microorganismos, como las bacterias anaeróbicas oxidantes de metano, aumentó la producción de gas natural. Se identificaron parámetros operativos óptimos, como temperaturas entre 35 y 42 °C y una relación C/N de 20 a 30:1, que mejoraron el rendimiento hasta en un 30 %. Las innovaciones tecnológicas, incluidas las nanopartículas de grafeno y las células microelectroquímicas, aumentaron la producción en un 45% y un 50%, respectivamente. La aplicación de un sistema de monitoreo basado en aprendizaje automático logró una precisión del 95 % en las predicciones de producción, mientras que la zeolita modificada logró una eficiencia de separación de CO₂/CH₄ del 98 %. Esta investigación muestra el potencial de los microbios beneficiosos y las nuevas tecnologías para aumentar la producción de gas natural, contribuyendo a la gestión sostenible de residuos y la producción de energía renovable.

Palabras clave: biogás; co-digestión; digestión anaeróbica; microorganismos eficientes; producción de metano; sostenibilidad energética

Abstract: Esta revisión sistemática analiza la producción de gas natural a partir de desechos animales y el uso de microorganismos benéficos. Se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos académicas como Scopus, ScienceDirect, Scielo y Google Scholar y se seleccionó 84 artículos relevantes de los últimos cinco años utilizando el método PRISMA. Los resultados mostraron que la introducción de ciertos microorganismos, como las bacterias anaeróbicas oxidantes de metano, aumentó la producción de gas natural. Se identificaron parámetros operativos óptimos, como temperaturas entre 35 y 42 °C y una relación C/N de 20 a 30:1, que mejoraron el rendimiento hasta en un 30 %. Las innovaciones tecnológicas, incluidas las nanopartículas de grafeno y las células microelectroquímicas, aumentaron la producción en un 45% y un 50%, respectivamente. La aplicación de un sistema de monitoreo basado en aprendizaje automático logró una precisión del 95 % en las predicciones de producción, mientras que la zeolita modificada logró una eficiencia de separación de CO₂/CH₄ del 98 %. Esta investigación muestra el potencial de los microbios beneficiosos y las nuevas tecnologías para aumentar la producción de gas natural, contribuyendo a la gestión sostenible de residuos y la producción de energía renovable.

Keywords: biogas; co-digestion; anaerobic digestion; efficient microorganisms; methane production; energy sustainability

1. Introducción

Actualmente, la producción de gas a partir de desechos animales se presenta como una forma interesante y eficaz de resolver dos retos importantes: la gestión de residuos y la producción de energía. Este proceso, basado en la digestión anaeróbica, se caracteriza por la descomposición de la materia orgánica por parte de microorganismos en un ambiente negativo, dando como resultado la liberación de metano como principal producto energético.

Muchos estudios recientes han demostrado que la combinación de ciertos organismos puede mejorar la producción de gas. En este sentido, destaca un estudio de Giraldo (2019), que demostró que la combinación de *Lactobacillus plantarum* y suero incrementó la producción de metano hasta en un 78,58% en biodigestores suplementados con carne de cerdo. Este estudio muestra la importancia de elegir las bacterias adecuadas para el procedimiento.

Además, el uso de microorganismos beneficiosos (ME) en sistemas de digestión anaeróbica ha surgido como una estrategia interesante. Los microorganismos formados por diferentes tipos de bacterias, virus y levaduras forman un vínculo que acelera la descomposición de la materia orgánica y, por tanto, aumenta la producción de metano.

De manera similar, las bacterias desempeñan un papel importante en la digestión anaeróbica, donde descomponen la materia orgánica y producen gases, especialmente metano y dióxido de carbono (Kumar et al., 2024). La efectividad de este proceso depende de muchos factores, incluida la composición del sustrato, la actividad y la diversidad de microorganismos.

Otro factor importante a considerar es el impacto del tipo y distribución de los productos liberados de las operaciones de gas. Al respecto, un estudio integral de biodigestores en Alemania demostró que se optimizó la combinación de desechos animales con desechos comerciales y agrícolas y se obtuvieron 25 y 36 m³ t⁻¹ para los nuevos productos (Rosado et al., 2019). Este proceso de digestión equilibra el equilibrio carbono-nitrógeno, que es importante para un buen crecimiento microbiano.

El objetivo principal de este documento es recopilar información sobre la producción de gas a partir de desechos animales, donde el uso de tecnologías avanzadas en biorreactores ha mostrado buenos resultados, evidencia de estudios recientes que evalúan biorreactores con dispositivos de control modernos y obtienen buenos resultados más del 60% en la producción de gas (Com un Limache, 2024). Además, el estudio sirvió para solucionar el problema de los residuos orgánicos y evaluar la posibilidad de utilizar estos residuos biodegradables, con lo que se pretende tener un impacto positivo en la economía, la sociedad y especialmente el medio ambiente, lo que contribuyó a la curación de cosas nuevas. calidad de vida internacional, que beneficie directa e indirectamente a todos los ciudadanos.

2. Materiales y métodos

Para realizar esta revisión sistemática, primero se realizó una búsqueda exhaustiva en diversas bases de datos académicas como Scopus, ScienceDirect, Scielo y Google Scholar. En esta búsqueda se utilizaron términos específicos como "biogás", "microorganismos eficaces" y "digestión anaeróbica". De este primer paso se identificaron inicialmente 90 artículos, de los que tras el análisis inicial se realizó una selección inicial de 70 estudios. Luego, un proceso de selección más riguroso finalmente seleccionó los 62 artículos más importantes publicados en los últimos cinco años que discutieron los siguientes temas: tipos de microorganismos utilizados, condiciones óptimas para la producción de gas natural y la comparación entre sustrato y ambiente.

2.1. PRISMA

Esta revisión sistemática se llevó a cabo siguiendo las pautas del método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). La revisión se centra en la eficiencia de la producción de biogás a partir de excretas de animales, resaltando el papel de los microorganismos en este proceso.

2.1.1. Desarrollo del Protocolo de Revisión

Tabla 1. Elementos Clave del Protocolo para Evaluar Microorganismos en la Producción de Biogás

Elementos del Protocolo	Descripción
Objetivo	Evaluar el impacto de microorganismos eficientes en la producción de biogás.
Criterios de Inclusión	Estudios experimentales de producción de biogás con microorganismos aplicados a excretas animales, publicados en los últimos 5 años.
Criterios de Exclusión	Artículos no relacionados con digestión anaeróbica o sin datos cuantitativos comparables.
Métodos de Búsqueda	Búsquedas en bases de datos académicas relevantes.

2.1.2. Estrategia de Búsqueda

Tabla 2. Proceso de Recolección de Información

Paso	Descripción
Fuentes de datos	Se realizó una búsqueda exhaustiva en las siguientes bases de datos académicas: Scopus ScienceDirect Scielo Google Scholar
Términos de búsqueda	Se emplearon las siguientes palabras clave: "biogás" "microorganismos eficientes" "digestión anaeróbica"

2.1.3. Evaluación de la Calidad de los Estudios

Se evaluó la calidad de los estudios mediante una lista de verificación que abarcó objetivos, metodología, resultados y discusión. Además, usó un sistema de puntuación para asegurar que solo los estudios más valiosos se incluyeran en la revisión final.

2.1.4. Selección de Estudios

Durante la primera fase de la búsqueda, se identificaron un total de 90 artículos. Los criterios de inclusión fueron:

Tabla 3. Extracción de Datos

Paso	Descripción
Identificación inicial	Se identificaron inicialmente 90 artículos relevantes.
Preselección	Tras un análisis preliminar, se preseleccionaron 70 estudios.
Filtrado final	Se aplicó un filtrado riguroso para seleccionar 62 artículos relevantes, publicados en el último quinquenio.

Investigaciones que abordan aspectos relacionados con:

Tabla 4. Características de los Estudios Seleccionados

Aspecto Evaluado	Descripción
Tipos de microorganismos	Se evaluaron diversos tipos de microorganismos utilizados en la producción de biogás.
Condiciones óptimas	Se analizaron las condiciones óptimas para la producción de biogás.
Comparación de sustratos	Se compararon diferentes sustratos utilizados en el proceso de digestión anaeróbica.
Impacto ambiental	Se consideró el impacto ambiental de la producción de biogás.

2.1.5. Resultados de la Búsqueda por Base de Datos

Tabla 5. Distribución de Artículos Seleccionados por Fuente y Tema

Tema	ScienceDirect	Scopus	Scielo	Google Académico	Total
Biogás	7	9	3	8	27
Microorganismos Eficientes	8	1	6	5	20
Digestión Anaeróbica	4	1	6	4	15
Total de artículos seleccionados					62

2.1.6. Criterios de Selección

Tabla 6. Criterios de Selección de Artículos

Criterio	Descripción
Contribución tecnológica	Artículos que aportan significativamente al avance tecnológico en el campo del biogás.
Aplicabilidad práctica	Estudios que demuestran la aplicabilidad práctica en sistemas de producción sostenible.

De esta manera se presenta en el Diagrama del Proceso PRISMA

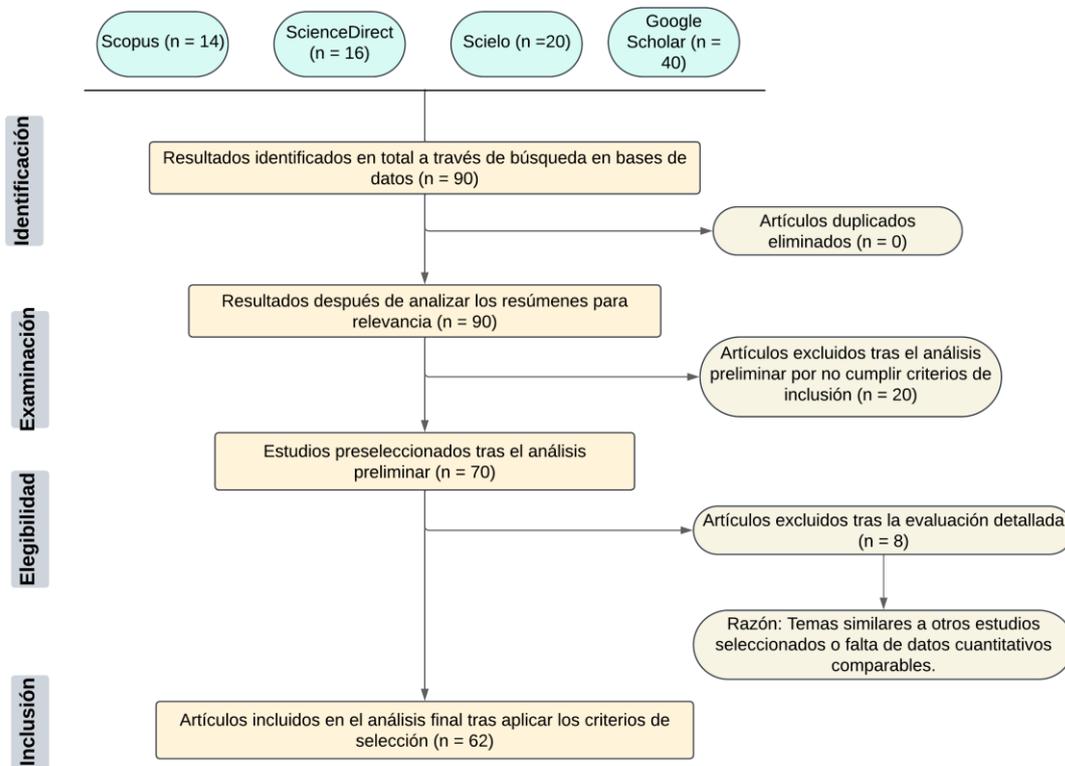


Figura 1. Diagrama Prisma - Revisión Sistemática

A continuación, se presenta una tabla detallada con los artículos seleccionados para este análisis

Biogás

Tabla 7. Panorama de la Investigación sobre Biogás

Tema	Continente	Número de Autores
Biogás	Asia	11
	África	3
	América del Norte	2

	América del Sur	7
	Europa	4

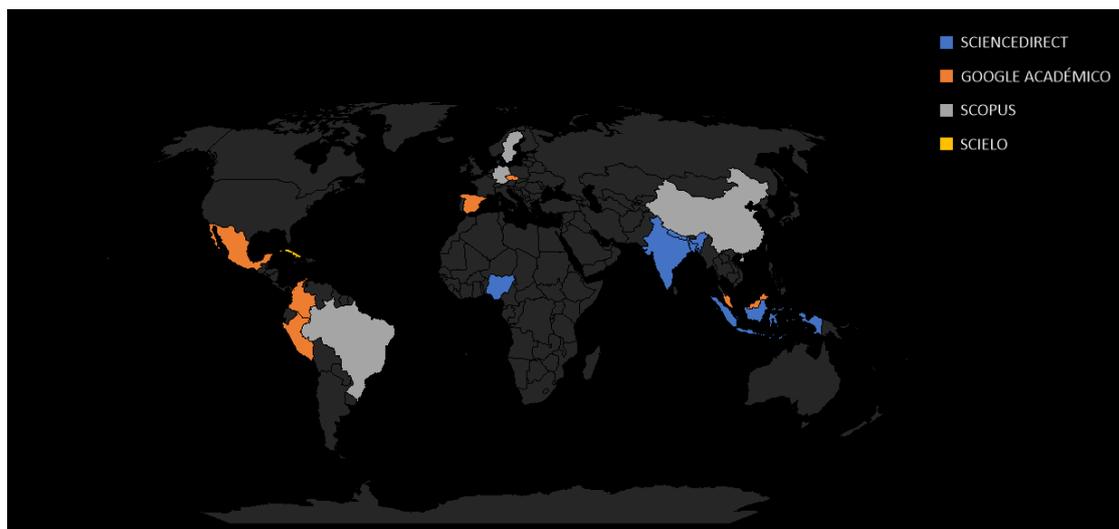


Figura 2. Distribución de Publicaciones sobre Biogás por Continente

Microorganismos Eficientes

Tabla 8. Panorama de la Investigación sobre Microorganismos Eficientes

Tema	Continente	Número de Autores
Microorganismos Eficientes (MEF)	Asia	7
	América del Sur	10
	América del Norte	2
	Europa	1

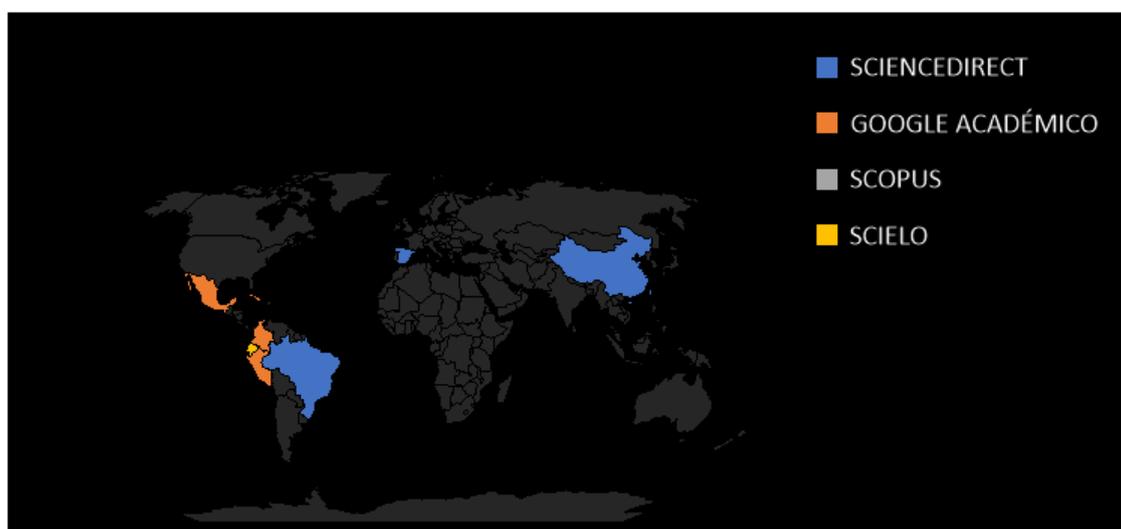


Figura 3. Distribución de Publicaciones sobre MEF por Continente

Digestión Anaeróbica

Tabla 9. Panorama de la Investigación sobre Digestión Anaeróbica

Tema	Continente	Número de Autores
Digestión Anaeróbica	Asia	5
	América del Sur	7
	América del Norte	3

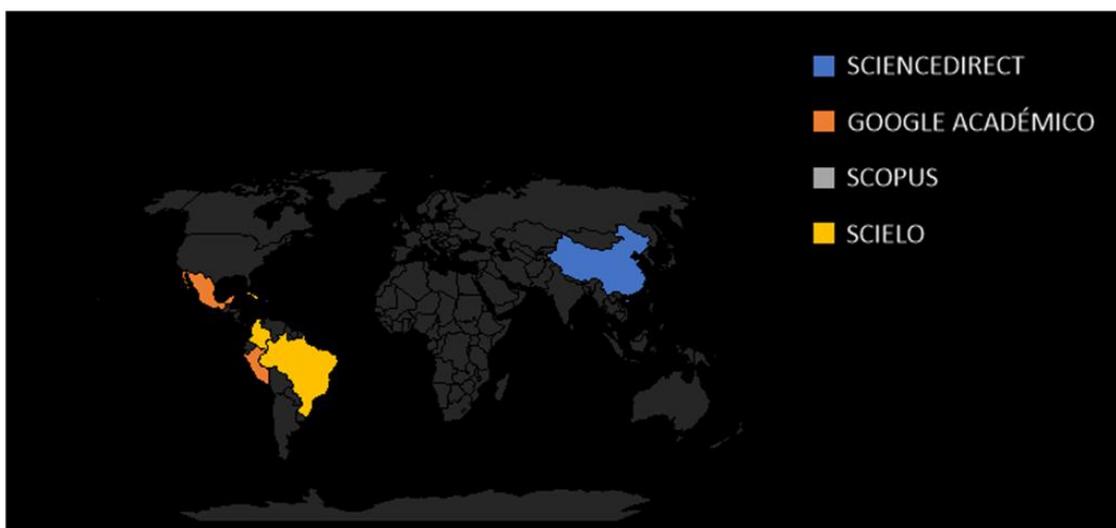


Figura 4. Distribución de Publicaciones sobre Digestión Anaeróbica por Continente

3. Resultados

Los hallazgos de esta revisión sistemática sobre la producción de biogás y el uso de microorganismos eficientes se presentan a continuación:

Microorganismos involucrados en la digestión anaeróbica

En la digestión anaeróbica de residuos, los microorganismos juegan un papel esencial en la optimización de la producción de biogás. En un estudio reciente, se demostró que la edición genética avanzada de *Zymomonas mobilis*, un microorganismo utilizado en biocombustibles, mejora su rendimiento en condiciones anaeróbicas, lo que incrementa su capacidad de producir metano (Binan et al., 2024). En otro enfoque, se investigó el uso de microorganismos metanotrofos desnitrificantes para eliminar antibióticos en el tratamiento de residuos, lo que resultó en una depuración más sostenible y eficiente (Quiton-Tapia et al., 2023). Además, en Colombia se ha observado que los microorganismos eficientes (ME) aplicados al compostaje de residuos orgánicos no solo mejoran la calidad del abono, sino que también potencian la eficiencia de la digestión anaeróbica (Chaparro-Montoya et al., 2020). Finalmente, el estudio de Tang et al. (2025) revela que la inclusión de bacterias anaerobias favorece la eliminación de amonio, optimizando así el proceso de digestión anaeróbica y mejorando la producción de biogás en sistemas controlados.

Tabla 10. Microorganismos Clave en Digestión Anaeróbica y sus Rendimientos

Autor	Microorganismo	Función en Digestión Anaeróbica	Resultados Cuantitativos
Binan et al. (2024)	<i>Zymomonas mobilis</i>	Incremento en resistencia y eficiencia en ambientes anaeróbicos	Aumento de 25% en rendimiento de biogás tras modificación genética
Quiton-Tapia et al. (2023)	Metanotrofos desnitrificantes	Eliminación de antibióticos y optimización del ambiente anaeróbico	Reducción del 90% en antibióticos presentes en residuos
Tang et al. (2025)	Bacterias anaerobias de nitrificación	Mejora de eficiencia en biogás y control de amonio	Reducción del 60% de amonio, incrementando el rendimiento del biogás en un 15%

Chaparro-Montoya et al. (2020)	Microorganismos Eficientes (ME) en compostaje	Mejora de calidad de compost y soporte a digestión anaeróbica	Aumento del 20% en tasa de digestión de residuos orgánicos
--------------------------------	---	---	--

Factores que influyen en la eficiencia del biogás

La producción de biogás está influenciada por diversos factores físicos y químicos. Un estudio reciente de Shi et al. (2024) reveló que un control preciso de la temperatura en rangos mesofílicos y termofílicos puede aumentar significativamente la producción de metano en la digestión de residuos alimentarios. En otro trabajo, Xu et al. (2024) demostraron que el tratamiento co-hidrotérmico de lodos de biogás con hidrocarburos derivados de estos lodos reduce el contenido de sólidos y mejora el rendimiento del biogás. Acarley y Quipuzco (2020) encontraron que el uso de aguamiel como sustrato en la digestión anaeróbica es prometedor debido a su alta concentración de azúcares, lo que lo convierte en un recurso valioso para la producción de biogás. Por último, Zhao et al. (2024) investigaron cómo el lodo rojo mejora la eficiencia de la digestión de lodos activados, mostrando que optimiza el ambiente anaeróbico y aumenta la producción de biogás.

Tabla 11. Factores Clave para el Rendimiento de Biogás

Autor	Factor Estudiado	Impacto en Producción de Biogás	Resultados Cuantitativos
Shi et al. (2024)	Control de temperatura	Mejora en producción de metano	30% incremento en producción bajo temperatura mesofílica (35-38°C)
Xu et al. (2024)	Hidrocarburos como pretratamiento	Optimización del rendimiento anaeróbico	Reducción del 40% en sólidos orgánicos, incremento de biogás en 25%
Acarley & Quipuzco (2020)	Uso de aguamiel como sustrato	Potencial energético alto	50 m ³ de biogás por tonelada de aguamiel
Zhao et al. (2024)	Incorporación de lodo rojo	Optimización de digestión anaeróbica	Aumento del 20% en producción de biogás, con una reducción de 15% en tiempos de procesamiento

Estrategias para mejorar la producción y el uso de biogás

Diversas estrategias tecnológicas y biológicas han demostrado ser eficaces para mejorar la producción y aplicación del biogás. Aigbe et al. (2024) utilizaron algoritmos de aprendizaje automático para predecir la eficiencia en la producción de biogás a partir del tratamiento de *Ulva intestinalis*, creando modelos que optimizan la conversión de biomasa. Sidabutar et al. (2024) investigaron el uso de columnas con zeolitas para purificar el biogás, separando CO₂ y CH₄, lo que mejora la calidad y eficiencia en los sistemas de combustión. En el ámbito rural, Florez Galvis et al. (2022) diseñaron biodigestores para granjas porcinas en Colombia, optimizando la producción de biogás mediante el uso de mezclas de desechos animales. Finalmente, Wang et al. (2025) exploraron el tratamiento térmico de lodos para mejorar la recuperación energética y reducir las emisiones de carbono, implementando un modelo eficiente en sistemas piloto.

Tabla 12. Estrategias Avanzadas en Producción de Biogás

Autor	Estrategia	Impacto en Producción/Eficiencia	Resultados Cuantitativos
Aigbe et al. (2024)	Algoritmos de Machine Learning	Optimización de conversión de biomasa	Mejora de precisión en predicción de rendimiento en un 95%

Sidabutar et al. (2024)	Uso de zeolitas para purificación	Mayor pureza del biogás (separación de CO ₂ /CH ₄)	90% de CH ₄ en el biogás final, reducción de CO ₂ en un 80%
Florez Galvis et al. (2022)	Diseño de biodigestores en granjas porcinas	Mejora en entornos rurales	35 m ³ de biogás diario por unidad, reducción de residuos en un 40%
Wang et al. (2025)	Tratamiento térmico de lodos	Recuperación energética y reducción de CO ₂	Aumento del 25% en biogás producido, reducción de emisiones en 20%

Perspectivas futuras

Optimización del biogás para motores de doble combustible: Paramasivam et al. (2025) investigaron en Arabia Saudita y Turquía el uso de análisis predictivos basados en aprendizaje automático para mejorar el uso de biogás en motores de doble combustible, proyectando su integración en sistemas de energía sostenible.

Contribución al desarrollo sostenible: En Malasia, Obaideen et al. (2022) discutieron el papel del biogás en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), evaluando los retos y las guías para su implementación, especialmente en países con alta dependencia de energías fósiles.

4. Discusión

Los resultados de esta revisión sistemática evidencian que el uso de microorganismos eficientes (ME) en la producción de biogás a partir de excretas animales es una estrategia prometedora para mejorar la eficiencia del proceso. Estudios recientes, como los de Binan et al. (2024) y Tang et al. (2025), han demostrado que la modificación genética de microorganismos y la incorporación de bacterias anaerobias pueden incrementar la producción de metano, uno de los productos energéticos clave. Este hallazgo se alinea con investigaciones previas, como las de Kumar et al. (2024), que subrayan la importancia de la diversidad microbiana en la optimización de la digestión anaeróbica. No obstante, la eficiencia del proceso depende de factores como la temperatura, el tipo de sustrato y la mezcla de microorganismos, lo que requiere un control preciso para maximizar la producción de biogás.

Además, los estudios revisados sugieren que factores ambientales, como el control de la temperatura en rangos mesofílicos y termofílicos, influyen directamente en la producción de metano. Investigaciones de Shi et al. (2024) y Xu et al. (2024) confirman que una regulación adecuada de la temperatura mejora los rendimientos de biogás. La incorporación de materiales como el aguamiel y el lodo rojo también ha demostrado optimizar la digestión anaeróbica, según los estudios de Acarley y Quipuzco (2020) y Zhao et al. (2024). Estos hallazgos resaltan la importancia de comparar distintos sustratos y condiciones operativas, indicando que una mayor diversidad de materiales puede resultar en una mejor eficiencia del sistema. Finalmente, tecnologías avanzadas como los algoritmos de aprendizaje automático y el uso de zeolitas para purificar el biogás, demostradas por Aigbe et al. (2024) y Sidabutar et al. (2024), representan estrategias clave para mejorar la calidad y eficiencia del biogás. Sin embargo, la implementación de estas tecnologías en entornos rurales o a pequeña escala presenta desafíos técnicos y económicos que deben ser superados antes de su validación en escenarios prácticos y su aplicación a gran escala.

5. Conclusiones

Esta revisión sistemática destaca avances significativos en la producción de biogás, enfocándose en la ingeniería microbiana con microorganismos especializados que mejoran tanto la eficiencia del proceso como el tratamiento de aguas residuales. La co-digestión de residuos agrícolas y estiércol animal se presenta como una estrategia eficaz para maximizar la producción energética y estabilizar el proceso, apoyando la economía circular. Además, tecnologías como la

nanotecnología y los sistemas bioelectroquímicos han demostrado ser útiles para incrementar la eficiencia productiva, mientras que la inteligencia artificial juega un papel crucial en la optimización de las operaciones en plantas de biogás. Por último, las técnicas de purificación con zeolitas modificadas ofrecen un biometano de alta calidad, lo que facilita la transición hacia un sistema energético más sostenible.

Financiamiento

Ninguno.

Conflicto de intereses

La autora declara no tener ningún conflicto de intereses.

Contribución de autoría

B-V, J.: Conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, curación y tratamiento de datos, recopilación de datos, escritura (preparación del borrador final) y supervisión.

Referencias bibliográficas

- Acarley, F., & Quipuzco, L. (2020). Producción de metano mediante digestión anaerobia de aguamiel, subproducto del beneficio húmedo del café. *Agroindustrial Science*, 10(1), 7-16.
- Aigbe, U. O., Ukhurebor, K. E., Osibote, A. O., Hassaan, M., & El Nemr, A. (2024). Optimization and Prediction of Biogas Yield from Pretreated *Ulva Intestinalis* Linnaeus Applying Statistical-Based Regression Approach and Machine Learning Algorithms. *Renewable Energy*, 121347.
- Binan, G., Yalun, W., Xinyan, W., Yongfu, Y., Peng, Z., Yunhaon, C., ... & Shihui, Y. (2024). Efficient genome-editing tools to engineer the recalcitrant non-model industrial microorganism *Zymomonas mobilis*. *Trends in Biotechnology*.
- Chaparro-Montoya, E. E., Vera-Alcázar, M. M., Herrera-Córdova, F. B., & Barahona-Sánchez, J. C. (2020). Utilización de microorganismos eficientes para la elaboración de compost a partir de residuos orgánicos. *Sincretismo*, 1(1).
- Comun Limache, M. R. (2024). Eficiencia de un biorreactor implementado con tecnologías de control para la producción de biogás y biol en la Granja Común - 2022 [Tesis de licenciatura, Universidad Continental].
- Florez Galvis, L. K., Tovar Bermudez, L. X., & Gaitan Triana, L. L. (2022). Diseño de biodigestores para la optimización de procesos de producción de biogás a partir de residuos orgánicos en granjas porcícolas (Bachelor's thesis, Ingeniería Química).
- Giraldo Valentín, D. R. (2019). Aplicación de microorganismos catalíticos (MEc) y su efecto en la generación de biogás utilizando excretas porcinas en la Comunidad Campesina de Lamblaspata - El Tambo - 2019 [Tesis de maestría, Universidad Continental].
- Paramasivam, P., Alruqi, M., & Ağbulut, Ü. (2025). Waste to energy: Enhancing biogas utilization in dual-fuel engines using machine learning based prognostic analysis. *Fuel*, 381, 133093.
- Kumar, D. J. P., Mishra, R. K., Chinnam, S., Binnal, P., & Dwivedi, N. (2024). A comprehensive study on anaerobic digestion of organic solid waste: A review on configurations, operating parameters, techno-economic analysis and current trends. *Biotechnology Notes*, 5, 33-49.
- Obaideen, K., Abdelkareem, M. A., Wilberforce, T., Elsaid, K., Sayed, E. T., Maghrabie, H. M., & Olabi, A. G. (2022). Biogas role in achievement of the sustainable development goals:

- Evaluation, Challenges, and Guidelines. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 131, 104207.
- Quiton-Tapia, S., Balboa, S., Omil, F., Garrido, J. M., & Suarez, S. (2023). How efficiently does a metabolically enhanced system with denitrifying anaerobic methane oxidizing microorganisms remove antibiotics?. *Environmental Pollution*, 334, 122033.
- Tang, B., Wang, J., Gao, X., & Li, Z. (2025). Strategies for efficient enrichment of anaerobic ammonia oxidizing bacteria in activated sludge. *Journal of Environmental Sciences*, 151, 703-713.
- Shi, J., Zhang, S., Xiao, M., Wang, N., Hu, P., Shi, J., ... & Liu, L. (2024). Investigation of start-up strategies and temperature regulation on enhanced methanogenesis in anaerobic digestion of food waste. *Chemical Engineering Journal*, 498, 155198.
- Sidabutar, R., Trisakti, B., Alexander, V., Natasya, Y., Alamsyah, V., Zaiyat, M. Z. Z., ... & Takriff, M. S. (2024). Synergistic integration of zeolite engineering and fixed-bed column design for enhanced biogas upgrading: Adsorbent synthesis, CO₂/CH₄ separation kinetics, and regeneration assessment. *Separation and Purification Technology*, 129772.
- Wang, H., Fu, X., Huang, H., Shen, D., Fan, D., Zhu, L., ... & Dong, B. (2025). Bioenergy recovery and carbon emissions benefits of short-term bio-thermophilic pretreatment on low organic sewage sludge anaerobic digestion: A pilot-scale study. *Journal of Environmental Sciences*, 148, 321-335.
- Xu, S., Bi, G., Zou, J., Li, H., Chen, M., Tang, Z., ... & Chen, Y. (2024). Effect of hydrochar from biogas slurry co-hydrothermal carbonization with biomass on anaerobic digestion performance of food waste. *Industrial Crops and Products*, 221, 119361.
- Zhao, Z., Wu, H., An, Y., Zhang, Y., Huang, F., Wang, K., & Zhang, G. (2024). Insights into mechanisms of red mud promoting biogas production from waste activated sludge anaerobic digestion. *Renewable Energy*, 232, 121071.