



Comparación de tres tratamientos (aeróbico, anaeróbico y combinado) para la descomposición de materia orgánica y la obtención de biogás y biofertilizantes

Comparison of three treatments (aerobic, anaerobic, and combined) for the decomposition of organic matter to obtain biogas and biofertilizers

Enrique Salazar Llorente^{1*}; Ciro Morán Contreras²; Daniel Arias-Toro¹; Fernando Cobos Mora¹

1 Technical University of Babahoyo, Babahoyo, Av. Universitaria km 21/2 Av. Montalvo Babahoyo, Los Ríos, Ecuador.

* Autor corresponsal: E. Salazar Llorente [ejsalazar@utb.edu.ec | <https://orcid.org/0000-0002-1699-042X>]

C. Morán Contreras [cirojmoranc1995@gmail.com | <https://orcid.org/0009-0000-7568-0811>]

D. Arias-Toro [dariast@utb.edu.ec | <https://orcid.org/0000-0002-8167-2196>]

F. Cobos Mora [fcobos@utb.edu.ec | <https://orcid.org/0000-0001-8462-9022>]

Resumen

Este estudio evaluó la eficiencia de tres tipos de tratamientos para la descomposición de materia orgánica (aeróbico, anaeróbico y combinado) con el objetivo de producir biogás y biofertilizantes a partir de residuos agroalimentarios, ganaderos y de jardinería. Los resultados indican que los residuos agroalimentarios y ganaderos son particularmente aptos para la digestión anaeróbica, generando biogás y biofertilizantes con un alto contenido de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio y calcio, mejorando significativamente la fertilidad del suelo. Por otro lado, la descomposición aeróbica produce biofertilizantes de alta calidad y mayor eficiencia en comparación con los procesos anaeróbicos. La combinación de ambos procesos resulta en una estrategia eficiente para maximizar los beneficios de cada tratamiento.

Palabras clave: tratamiento aeróbico; digestión anaeróbica; biofertilizantes; biogás; residuos orgánicos.

Abstract

This study evaluated the efficiency of three treatments for organic matter decomposition (aerobic, anaerobic, and combined) to produce biogas and biofertilizers from agri-food, livestock, and gardening waste. The results indicate that agri-food and livestock waste are particularly suitable for anaerobic digestion, producing biogas and biofertilizers rich in nutrients such as nitrogen, phosphorus, potassium, and calcium, significantly enhancing soil fertility. On the other hand, aerobic decomposition yields high-quality biofertilizers with greater efficiency compared to anaerobic processes. The combination of both processes emerges as an efficient strategy to maximize the benefits of each treatment.

Keywords: aerobic treatment; anaerobic digestion; biofertilizers; biogas; organic waste.



1. Introducción

Alemania es uno de los líderes en la producción de biogás en Europa. El país ha desarrollado una infraestructura robusta para la generación de biogás a partir de cabezas de ganado. Alemania cuenta con más de 10.000 plantas de biogás, que generan aproximadamente 1,5 TWh de electricidad al año, en 2022 produjo alrededor de 1,6 millones de toneladas de biogás (Atelge et al., 2021).

Holanda ha avanzado en la producción de biogás a partir de residuos orgánicos, principalmente en el sector agrícola y de tratamiento de residuos. El país cuenta con más de 50 plantas de biogás que generan electricidad y calor a partir de residuos orgánicos. En 2022, la producción de biogás en Holanda fue de aproximadamente 0,5 TWh (Argüelles et al., 2023).

Hoy en día, en todo el Ecuador, se generan aproximadamente 5 millones de toneladas de basura, lo que da una idea del problema latente, poniendo sobre la mesa la gran cantidad de residuos que se generan en nuestro país, unas 14.000 toneladas generadas al día. Más concretamente, el 56,2% de todos estos residuos corresponde a la fracción orgánica, lo que implica de inmediato una serie de interrogantes relacionados con la propia gestión adecuada de los residuos, con la clara necesidad de implementar estrategias que permitan de forma abierta y práctica su posterior tratamiento y, de ser necesario, incluso su valorización (Acura, 2023).

En Ecuador, un habitante urbano promedio produce alrededor de 0,9 kg de residuos sólidos al día. Del total de residuos sólidos producidos en las zonas urbanas y clasificados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM), el 55% son residuos orgánicos y el 45% son inorgánicos (Álvarez et al., 2021).

En Pichincha, Ecuador, la alta densidad poblacional y el desarrollo urbano generan la mayor cantidad de residuos orgánicos. Los desechos de alimentos, jardinería y cocina representan entre el 40% y 60% de estos residuos en las zonas urbanas. Los desechos de jardín, como hojas y ramas, varían entre el 20% y 30% según la temporada y la actividad agrícola, mientras que los desechos forestales representan entre el 10% y 20% del total (Benítez et al., 2020).

Bajo la dirección ejecutiva de Santiago Andrade, el gerente general de la Empresa Pública Metropolitana para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (EMGIRS-EP) indicó que Quito produce aproximadamente 2.000 toneladas de residuos diariamente, de los cuales unas 1.000 toneladas son orgánicas. Gracias a esta planta se produce biogás, el cual está compuesto por gas metano (CH₄), que es 50 veces más contaminante que el CO₂. El funcionamiento de la planta de tratamiento de residuos ha mitigado la liberación de 26 millones de metros cúbicos de biogás al ambiente, lo que equivale a evitar la emisión de 250.000 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) (Castallena, 2020).

Además, la descomposición de la materia orgánica en vertederos sin oxígeno produce metano y otros gases que contribuyen al efecto invernadero, que a su vez provoca el calentamiento global y el cambio climático (Corrales et al., 2015). Los residuos orgánicos mal gestionados atraen vectores de enfermedades, plagas y microorganismos patógenos, aumentando la probabilidad de transmisión de enfermedades, así como dificultades respiratorias por inhalación de gases tóxicos (Carrillo et al., 2021). Posteriormente, por el manejo y disposición de estos residuos orgánicos, se puede obtener biogás y biofertilizantes, contribuyendo así a la reducción de estos residuos en el medio ambiente.

Los desechos orgánicos son materiales biológicos que se descomponen fácilmente por microorganismos e incluyen desechos de cocina (restos de comida, cáscaras), desechos agrícolas (residuos de cultivos), desechos de jardín (hojas, pasto, ramas), desechos de ganado (estiércol), desechos forestales (hojas caídas, troncos), desechos de procesamiento de alimentos (cáscaras, bagazo) y desechos de tratamiento de aguas residuales (lodos de depuradora) (Castillo, 2019).

La descomposición anaeróbica es un proceso en el cual los materiales orgánicos son degradados por la acción de microorganismos en ausencia de oxígeno, utilizando diversos mecanismos metabólicos (Castillo, 2021). Entre los microorganismos involucrados se encuentran bacterias anaeróbicas fermentativas como *Clostridium acetobutylicum* y *Bacteroides*

thetaitaomicron; bacterias metanogénicas como *Methanobacterium formicicum*; bacterias acetogénicas como *Acetobacterium woodii*; y otras como bacterias desulfurantes, reductoras de sulfato, propionógenas y butíricas (Castro & Rodríguez, 2022).

La descomposición aeróbica ocurre en presencia de oxígeno, donde los nutrientes se descomponen produciendo dióxido de carbono y agua, aunque en ciertos casos pueden generarse metales pesados y compuestos adicionales, como en los vertederos con residuos en bolsas de plástico (Chew et al., 2019). Los microorganismos involucrados incluyen bacterias aeróbicas como *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas aeruginosa*; hongos como *Aspergillus niger* y *Penicillium chrysogenum*; y actinobacterias como *Streptomyces coelicolor* y *Mycobacterium tuberculosis* (Díaz & Arias, 2022).

La descomposición anaeróbica y aeróbica combinada se refiere a un proceso de degradación de materia orgánica que involucra organismos anaeróbicos y aeróbicos en diferentes etapas o zonas del sistema (EMGIRS, 2020).

El proceso de descomposición combinada comienza con la degradación biológica aeróbica, donde los micro-organismos descomponen compuestos orgánicos complejos en CO₂, H₂O y calor, facilitando la biodegradación anaeróbica en capas más profundas. El calor generado eleva la temperatura, creando condiciones termófilas que favorecen la actividad microbiana. En las capas profundas, la falta de oxígeno provoca un ambiente anaeróbico, continuando la degradación en ácidos grasos volátiles, gases y alcoholes. En la fase anaeróbica, los metanógenos transforman estos compuestos en metano y dióxido de carbono, completando la descomposición y producción de biogás en los digestores (Atelge et al., 2021).

Los biorreactores controlan parámetros como temperatura, pH y agitación para optimizar la descomposición de la materia orgánica a través de procesos biológicos, físicos o químicos (Ignatowicz et al., 2023) los tanques fermentadores, tanto aeróbicos como anaeróbicos, combinan ambos procesos para maximizar la mineralización de la materia, produciendo biogás y biofertilizantes; primero, a través de una fase aeróbica con microorganismos

como *Bacillus subtilis*, y luego anaeróbica, con *Clostridium acetobutylicum* y arqueas metanogénicas (Indran et al., 2021) Los biodigestores son sistemas cerrados que permiten la descomposición anaeróbica de desechos como residuos de cultivos o excrementos animales, generando biogás y biofertilizante como productos finales (INEC, 2021).

El biogás es una fuente de energía renovable producida por la fermentación anaeróbica de residuos orgánicos como residuos agrícolas, estiércol, lodos de depuradora y residuos municipales, compuesta principalmente de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), y utilizada para generar electricidad, calor o como combustible para vehículos (Kabeyi & Olanrewaju, 2022). Su composición incluye entre un 50-75% de metano y un 25%-50% de CO₂, además de pequeñas cantidades de vapor de agua, H₂S, amoníaco, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, que varían según el sustrato y las condiciones de operación (Luna et al., 2023).

Los biofertilizantes se producen por descomposición controlada de materia orgánica, incluyendo restos vegetales, estiércol y lodos, y contienen nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, así como microorganismos benéficos para mejorar la calidad del suelo y reducir el uso de fertilizantes químicos (Lema & Vega, 2023). Su composición incluye macroelementos (N, P, K), microelementos (Ca, Mg, S), materia orgánica y ácidos húmicos que mejoran la estructura del suelo y la retención de agua. La composición varía según el tipo de sustrato utilizado, como estiércol, residuos vegetales o agroindustriales, y las condiciones del proceso de digestión (Martínez et al., 2021).

La codigestión anaerobia es un método de extracción que se basa en la digestión común de dos o más sustratos de distinto origen y distinta composición, lo que enriquece el aporte de nutrientes equilibrando, por tanto, las características fisicoquímicas del sustrato permiten optimizar la estabilización del sistema y que el rendimiento del biogás sea mayor (Manager, 2019).

La digestión aeróbica es un método de gestión de residuos orgánicos que se caracteriza por la destrucción de estos materiales por acción de

microorganismos presentes en el aire (principalmente bacterias) en ausencia de oxígeno. Supone una oxidación de los mismos por parte de estos microorganismos, que tienen una amplia capacidad de degradación, y que convierten la materia orgánica en compuestos más simples, lo que se traduce en una disminución del potencial contaminante de los residuos (porque los residuos orgánicos se convierten en CO₂ y Monóxido de Hidrógeno principalmente), y en un aumento del volumen de la masa viva (Ministerio del Ambiente, 2020).

2. Metodología

Diseño

Se realizó una revisión sistemática de documentos de organizaciones científicas dedicadas a la investigación agrícola, alimentaria y forestal a nivel nacional e internacional, así como revisiones de literatura y estudios científicos.

Se utilizó Google Scholar para la búsqueda de documentación sobre la comparación de tratamientos aeróbicos, anaeróbicos y combinados para la descomposición de materia orgánica y obtención de biogás y biofertilizantes. Las publicaciones reflejaron información relevante de diversos autores del Ecuador y a nivel internacional. La búsqueda se realizó en inglés, portugués y español. Además, se utilizó una búsqueda sistemática en inglés en SpringerLink con la ecuación: "Aerobic, anaerobic, and combined treatments in organic matter decomposition". También se consultaron bases de datos de revistas indexadas como Scielo, Scopus, Latindex y Web of Science. Se utilizó Zotero como gestor de referencias para organizar artículos científicos, tesis, revistas, libros y documentos web seleccionados para el desarrollo del trabajo.

Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de selección incluyeron artículos científicos originales publicados en revistas indexadas en inglés, portugués y español durante un período de quince años. El foco estaba en investigaciones sobre la eficiencia de tratamientos aeróbicos, anaeróbicos y combinados en la producción de biogás y

biofertilizantes. Los trabajos seleccionados debían cumplir criterios éticos y de calidad metodológica, incluir análisis estadísticos detallados, estudios experimentales de laboratorio o de campo y una discusión exhaustiva de los resultados obtenidos.

Análisis de datos

Se realizó un análisis exhaustivo para evaluar el impacto de los tres tratamientos sobre la descomposición de la materia orgánica y la producción de biogás y biofertilizantes. Las variables clave incluyeron el tipo de tratamiento, la composición de la materia prima y lo que se obtiene de estos desechos. Se compararon los resultados de diferentes estudios en términos de producción de biogás (m³/ton), contenido de nutrientes en el biofertilizante (N, P, K), días y toneladas de cada tratamiento. Se utilizó una matriz con datos de autor, año y fuente bibliográfica para facilitar la comparación y determinar cómo las diferentes condiciones de tratamiento afectan la eficiencia de descomposición y la producción de biogás y biofertilizantes.

3. Resultados y discusión

En la Tabla 1 se puede observar que los residuos agroalimentarios y ganaderos son aptos para producir biogás mediante digestión anaerobia, una fuente de energía renovable. Los residuos de jardinería y agrícolas son los más adecuados para la obtención de biofertilizantes, mejorando la fertilidad del suelo. El biofertilizante resultante de la digestión anaerobia de los residuos agroindustriales y ganaderos contiene nutrientes esenciales, promoviendo una agricultura sostenible y eficiente. En la Tabla 2 se muestra que la digestión anaerobia y el proceso aerobio son métodos eficientes para extraer biogás y biofertilizantes. En la digestión anaerobia, se degradan macromoléculas en fases sucesivas, produciendo biogás. En el proceso aerobio, se catabolizan sustratos a través de la glicólisis y el ciclo de Krebs, generando CO₂, agua y ATP. Ambos procesos ofrecen beneficios como la reducción de la contaminación y la obtención de biofertilizantes esenciales ricos en nutrientes.

En la Tabla 3 se muestra que el método de extracción es más favorable en cuanto al rendimiento para la obtención de biogás y

fertilizantes. La digestión anaeróbica pal tiene el mayor rendimiento en biogás, produciendo 0,008 m por tonelada en 15 días. Para biofertilizante, la digestión anaeróbica pal genera 0,018 m por tonelada en 9 días. Sin embargo, la digestión aeróbica resulta mejor que la digestión pal en la producción total de biofertilizante, con rendimientos de 0,026 y 0,030 m por tonelada para los dos procesos analizados.

La cogestión anaeróbica genera 0,00128 m³ de biogás por tonelada de materia prima al día durante 15 días. En comparación, un estudio de Díaz (2022) 34 indica que los desechos animales, como el estiércol, pueden producir entre 0,02 y 0,04 m³ de biogás por kg de materia orgánica volátil (MOV) en condiciones óptimas. Esto indica que su producción es relativamente baja, lo que podría deberse a

factores como la composición de la materia prima, la carga orgánica o las condiciones de operación (temperatura, pH, etc.). La digestión aeróbica produce 0,028 m³ de biofertilizante por tonelada en 12 días, mientras que la digestión anaeróbica genera 0,015 m³ de digestato en 7 días.

Un estudio de Castro et al. (2022) 35 muestra que la producción de biofertilizantes depende en gran medida del tipo de sustrato y proceso. Reportan rendimientos de hasta 0,035 m³ de biofertilizante por tonelada con residuos de frutas y verduras en un proceso aeróbico de 10 días. Esto sugiere que su proceso aeróbico es eficiente, pero el proceso anaeróbico podría mejorarse para aumentar la producción de digestato y, por ende, de biofertilizantes.

Tabla 1

Tipos de residuos

Tipos de residuos	Método de descomposición	Obtención	Referencias
Residuos de Cocina (como restos de comida, cáscaras de frutas y verduras, posos de café y cáscaras de huevo)	Anaeróbico	Biogás y biofertilizantes	(Martinez & Ortega, 2021)
Residuos de ganado (como estiércol de animales)	Anaeróbico	Biogás	(Osorio et al., 2023)
Restos de cultivos (como hojas, tallos de árboles; restos de cosechas y de podas de árboles)	Aerobio y anaeróbico	Biofertilizante	(Reascos et al., 2022)
Residuos de Jardinería (como sábanas, césped)	Aerobio	Biofertilizante	(Ramírez et al., 2023)

Tabla 2

Métodos de descomposición para la obtención de biogás y biofertilizante

Métodos de descomposición	Descripción	Factores resueltos	Referencias
Digestión anaeróbica (hidrólisis)	Las enzimas extracelulares convierten la materia polimérica en compuestos solubles	Influenciado por el pH, la composición bioquímica y la temperatura	(Rodríguez, 2019)
Digestión anaeróbica (Acetogénesis)	Las bacterias convierten los ácidos grasos y el etanol en acetato e hidrógeno	Producción de acetato e hidrógeno	(Suárez et al., 2019)
Digestión anaeróbica (Metanogénesis)	Transformación final en metano a partir de acetato y ácido acético	El 70% del metano proviene de la descarboxilación	(Sánchez-Llevar et al., 2022)
Digestión anaeróbica	Los microorganismos oxidan los residuos orgánicos	Reducción del potencial contaminante	(Ministerio del Ambiente, 2020)

Tabla 3

Rendimiento del biogás y biofertilizante según el método de extracción

Métodos de descomposición	Obtención	Producción de biogás (m ³)	Días	Montones	Referencias
Codigestión anaeróbica	Biogás	0,00128	15	0,008	(Reascos et al., 2022)
Digestión anaeróbica (Acetogénesis)	Biogás	0,000300	13	0,008	(Reascos et al., 2022)
Codigestión anaeróbica	Biogás	0,000274	11	0,008	(Reascos et al., 2022)
Digestión anaeróbica	Digestato (biofertilizante)	0,05	9	0,018	(Martinez & Ortega, 2021)
Digestión aeróbica	Biofertilizante	0,074	13	0,026	(Tonato, 2019)
Digestión aeróbica	Biofertilizante	0,1	10	0,035	(Vargas, 2019)

Las fases de hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis, acetogénesis y metanogénesis coinciden con la literatura. Osorio et al. (2009) 36 explican que la hidrólisis es el paso limitante en la digestión anaeróbica, especialmente cuando se trata de residuos lignocelulósicos.

3. Conclusiones

Los resultados indican que tanto la digestión anaerobia como el proceso aerobio son métodos eficaces para la producción de biogás y biofertilizantes, aunque cada uno presenta ventajas específicas en función del tipo de residuo y del producto deseado. Los residuos agroalimentarios y ganaderos son idóneos para la digestión anaerobia, que produce biogás y biofertilizantes con alta eficiencia. Por el contrario, los residuos agrícolas y de jardinería son más adecuados para la digestión aerobia, destacando en la producción de biofertilizantes que mejoran la fertilidad del suelo.

La codigestión anaeróbica ha demostrado el mayor rendimiento en la producción de biogás, con una generación de 0,008 m³ por tonelada en 15 días, mientras que, para biofertilizantes, la digestión aeróbica es superior, alcanzando hasta 0,035 m³ por tonelada en 10 días. Estos hallazgos subrayan la eficacia de la codigestión anaeróbica para el biogás y la digestión aeróbica para los biofertilizantes, destacando la importancia de seleccionar el método apropiado en función del tipo de residuo y el objetivo de producción. Ambos procesos contribuyen significativamente a la reducción de la contaminación y al desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles, mejorando así la gestión de residuos y la calidad del suelo.

La implementación adecuada de estos métodos puede optimizar la producción de biogás y biofertilizantes, fomentando un enfoque más integrado y eficiente para la valorización de residuos orgánicos en diversas aplicaciones agrícolas y energéticas.

Contribuciones de los autores

Conceptualización, **Ciro Morán**; metodología, **Enrique Salazar**; software, **Fernando Cobos**; validación, **Daniel Arias**; análisis formal, **Enrique Salazar**; investigación, **Daniel Arias**; recursos, **Daniel Arias**, **Ciro Morán** y **Fernando Cobos**; análisis formal, **Enrique Salazar**; investigación, **Ciro Morán**; recursos, **Daniel Arias**; curación de datos, **Fernando Cobos**; borrador original,

Fernando Cobos; redacción, revisión y edición, **Enrique Salazar**; visualización, **Daniel Arias**; supervisión, **Enrique Salazar**; administración del proyecto, **Fernando Cobos**; obtención de financiamiento; Institucional.

Agradecimientos

Mi agradecimiento a la Universidad Técnica de Babahoyo por promover la investigación en el área de seguridad alimentaria

Conflictos de intereses

No hay conflicto de intereses.

Referencias bibliográficas

- Atelge, M. R., Senol, H., Mohammed, D., Krisa, D., Dilmac, N., Koca, B., Dursun, Y. Z., Canci, B., & Ozden, A. (2021). Una descripción crítica de los métodos de última generación para los procesos de purificación y utilización de biogás. *Sostenibilidad*, 13(20), 11515. <https://doi.org/10.3390/su132011515>
- Argüelles, C. W., Pintor, D. C. A., Mesinas, C. M., Márquez, H. L., & Becerra, E. V. (2023). Obtención de biofertilizantes enriquecidos en biodigestores semicontinuos a nivel de laboratorio. *Revista Científica Multidisciplinaria Ciencia Latina*, 7(1), 5241-5258. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4827
- Acura, G. (2023, 11 de diciembre). Biorreactores o fermentadores industriales: Tipos y características. *Grupo Acura*. <https://grupoacura.com/es/blog/biorreactores/>
- Álvarez-Sánchez, A. R., Llerena-Ramos, L. T., & Reyes-Pérez, J. J. (2021). Efecto de sustancias azucaradas en la descomposición de sustratos orgánicos para la elaboración de compost. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.916>
- Benítez Fonseca, M., Abafos Rodríguez, A., Rodríguez Pérez, S., & Cruz Hernández, M. (2020). Co-digestión anaerobia de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos y su lixiviado. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 22(2), 70-81. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v22n2.70345>
- Castallena, J. (2020). Ecuador impulsa la gestión adecuada de residuos orgánicos en las ciudades. *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*. <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-impulsa-la-gestion-adecuada-de-residuos-organicos-en-las-ciudades/>
- Corrales, L. C., Antolínez Romero, D. M., Bohórquez Macías, J. A., & Corredor Vargas, A. M. (2015). Bacterias anaeróbicas: procesos que crean y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *Nova*, 13(24), 55-81.
- Carrillo-Sancen, G., Cuautle-Marin, M. A., Martínez-Valdez, F. J., Méndez-Contreras, J. M., Vázquez-López, V. A., Viveros-Paredes, J. M., & Alarcón-Hernández, E. (2021). Tasa de aireación de la degradación aerobia en la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(7), 1149-1159. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2760>
- Castillo, J. (2019, 26 de noviembre). Microorganismos y nutrientes en el suelo. *Innovatione*. <https://innovatione.eu/2019/11/26/microorganismos-del-suelo-2/>
- Castillo, C. (2021, 21 de julio). Clasificación de los residuos. *Planetica*. <https://planetica.org/clasificacion-de-los-residuos/>
- Castro Morales, I. G., & Rodríguez Gámez, M. (2022). Potencial de producción de biogás para su aprovechamiento energético en el contexto rural de Manabí. *Ingeniería Energética*, 43(3), 62-70.
- Chew, K. W., Chia, S. R., Yen, H. W., Nomanbhay, S., Ho, Y. C., & Show, P. L. (2019). Transformation of biomass waste into sustainable organic fertilizers. *Sustainability*, 11(8), 2266. <https://doi.org/10.3390/su11082266>

- Díaz-Arias, A. A. (2022). Biogás: una fuente de energía para las generaciones futuras en la era post-petrolera. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 2(19), 104-122. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7365402>
- EMGIRS. (2020). Quito se destaca en el Ecuador al producir energía eléctrica de la basura. *Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. <https://emgirs.gob.ec/index.php/julio/45-travels-3/398-quito-se-destaca-en-el-ecuador-al-producir-energia-electrica-de-la-basura>
- German, S. J. S., Torres, J. D. A., Garcés, A. R., & Oviedo, M. E. D. (2023). Evaluación energética de la formación de biogás obtenido de residuos sólidos urbanos del relleno sanitario mediante el modelo LandGEM. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 11(2), 16-27. <https://doi.org/10.17081/invinno.11.2.6373>
- Ignatowicz, K., Filipczak, G., Dybek, B., & Wałowski, G. (2023). Producción de biogás según el sustrato utilizado: un estudio de revisión y evaluación: ejemplos europeos. *Energías*, 16(2), 798. <https://doi.org/10.3390/en16020798>
- Indran, S., Divya, D., Rangappa, S. M., Siengchin, S., Christy, P. M., & Gopinath, L. R. (2021). Perspectivas de la descomposición anaeróbica de la biomasa para la producción sostenible de biogás: una revisión. *Web de Conferencias E3S*, 302, 01015. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130201015>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2021). *Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales Gestión de Residuos Sólidos 2021*. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2021/Residuo_solido_s_2021/Presentacion%20de%20residuos%202021%20v07JA_CGTP%20\(Rev%202020CGTPE\)%20\(Rev.%20Dicos\).pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2021/Residuo_solido_s_2021/Presentacion%20de%20residuos%202021%20v07JA_CGTP%20(Rev%202020CGTPE)%20(Rev.%20Dicos).pdf)
- Kabeyi, M. J. B., & Olanrewaju, O. A. (2022). Technologies for biogas to electricity conversion. *Energy Reports*, 8, 774-786. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.11.007>
- Luna, B. E. B., Lahura, N., & Borda, S. (2023). Generación de Biogás a partir de residuos orgánicos mediante la aplicación del NBS gas home organic reactor, en el anexo 14, distrito de San Ramón Junín, Perú. *Revista Científica Pakamuros*, 11(4), 121-139. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.unj02346>
- Lema, S., & Vega, K. (2023). *Sistema de gestión de los residuos orgánicos generados en los mercados del cantón Saquisilí provincia de Cotopaxi año 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi].
- Martínez-Hernández, C. M., García-López, Y., & Oechsner, H. (2021). Biogas Plants in Germany: Revision and Analysis. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(4).
- Manager, C. (2019). Planta de Biogás de 250kW en Biddinghuizen Holanda. *INDEREN*. <https://inderen.es/es/planta-de-biogas-de-250kw-en-biddinghuizen-holanda/>
- Ministerio del Ambiente. (2020). Ecuador impulsa la gestión adecuada de residuos orgánicos en las ciudades. *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*. <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-impulsa-la-gestion-adecuada-de-residuos-organicos-en-las-ciudades/>
- Martínez, M., & Ortega, R. (2021). Microorganismos degradadores de materia orgánica y sus efectos sobre la calidad del suelo. *Mundoagro*. <https://mundoagro.cl/microorganismos-degradadores-de-materia-organica-y-sus-efectos-sobre-la-calidad-del-suelo/>
- Osorio, W. A. H., Carrera, P. J. V., Bonilla, J. I. C., & Salazar, F. S. A. (2023). Obtención de biogás y biol como fuente de energía renovable de biodigestores experimentales en el en la UTC extensión La Maná. *Magazine de las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación*, 8(2), 23-44. <https://doi.org/10.33262/rmc.v8i2.2868>
- Reascos, G. M. E. R., Alvarez, W. F. G., Villarruel, É. J. C., & Coyago, R. F. S. (2022). Construcción de un biodigestor para generar energía renovable a partir de desechos orgánicos en el camal de Pacto - Ecuador. *Esferas*, 3, 134-153. <https://doi.org/10.18272/esferas.v3i1.2426>
- Ramírez, L. A. G., Cabrera, F. A. L., Escobedo, M. K. L., Vásquez, C. B., & Torres, C. A. L. (2023). Biofertilizante "biol": caracterización física, química y microbiológica. *Revista Alfa*, 7(20), 336-345. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.219>
- Rodríguez Morgado, B. (2019). *Producción de un biofertilizante / bioestimulante mediante un proceso biológico / enzimático a partir de subproductos orgánicos: valorización agronómica y ambiental de lodos de depuradora y plumas de matadero* [Tesis doctoral, Universidad de Sevilla].
- Suárez-Chernov, V. D., López-Díaz, I., & Álvarez-González, M. (2019). Estimación de la producción de biogás a partir de un modelo de simulación de procesos. *Centro Azúcar*, 46(1), 73-85.
- Sánchez-Llevat, I. L., Fuerte-Góngora, L., Ravelo-Ortega, R., & Ávila-García, O. (2022). Estado del arte de los biopreparados por digestión anaerobia como biofertilizantes y bioestimulantes. *Ingeniería Agrícola*, 12(4).
- Tonato Sangucho, J. J. (2019). *Generación de energía eléctrica a través del biogás para la avícola de la universidad técnica de Cotopaxi campus Salache* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi].
- Vargas, B. (2019). *Diseño conceptual de un biorreactor tipo batch para la obtención de biogás y biofertilizantes a partir de residuos orgánicos (urbanos y agrícolas)* [Tesis de pregrado, Universidad de Pamplona]. Repositorio UNIPAMPLONA.
- Viteri, L. (2020). *Producción de biogas a partir de residuos orgánicos de frutas y hortalizas generados en el mercado Gómez Rendón* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio UAE.
- Xu, P., Shu, L., Li, Y., Zhou, J., Peng, Z., Wang, Z., Shan, S., Gao, R., & Mei, G. (2023). Tecnología de pretratamiento y compostaje de residuos orgánicos agrícolas para el desarrollo agrícola sostenible. *Heliyon*, 9(5), e16311. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16311>