TECNOLOGÍA QUÍMICA
UNIVERSIDAD DE ORIENTE

Vol.46 (2026)
ISSN: 2224-6185

Potencial bioenergético de residuos sólidos urbanos mediante digestión anaerobia en Esmeraldas, Ecuador

Bioenergy Potential of Municipal Solid Waste through Anaerobic Digestion in Esmeraldas, Ecuador

Nicomedes Ordoñez-Zúñiga[1] https://orcid.org/0000-0003-2201-8503

Yudith González-Diaz[2*] https://orcid.org/0000-0003-1240-1146

Juan Carlos Lemos-Hurtado[3] https://orcid.org/0009-0009-2023-8538

Nelfa España-Francis[3] https://orcid.org/0009-0002-2696-0766

Alfonso Vicente Ordoñez-Zuñiga[2] https://orcid.org/0009-0000-7937-9436

[1]Universidad Técnica “Luis Vargas Torres” de Esmeralda, Ecuador

[2]Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

[3] Universidad de Guayaquil, Ecuador

* Autor para correspondencia: yudithgd1971@gmail.com

RESUMEN

La valorización energética de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos constituye una alternativa tecnológica para reducir los impactos ambientales asociados a su disposición final y contribuir al aprovechamiento de fuentes renovables de energía. El objetivo de esta investigación fue estimar el potencial de producción de biogás y energía eléctrica a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos del cantón Esmeraldas, Ecuador, mediante un modelo de digestión anaerobia. La composición física de los residuos se determinó mediante muestreo estratificado y clasificación manual de sus componentes, considerando los principales sectores generadores del sistema municipal. La disponibilidad de materia orgánica y el potencial bioenergético fueron estimados mediante parámetros fisicoquímicos de referencia reportados en la literatura científica. Los resultados mostraron que la fracción orgánica representa el 53,55 % de los residuos generados, equivalente a una disponibilidad técnica de 93,71 t/día. El modelado permitió estimar una producción de 12 672,15 m³/día de biogás y 6 969,68 m³/día de metano, con un potencial de generación eléctrica de 24 271,92 kWh/día, equivalente a 8,86 GWh/año. El análisis de sensibilidad evidenció que el contenido de sólidos volátiles, el potencial bioquímico de metano y la eficiencia de conversión eléctrica

CC BY NC

son los principales factores que condicionan el rendimiento energético. Se concluye que la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos del cantón Esmeraldas presenta un potencial significativo para su aprovechamiento mediante digestión anaerobia, constituyendo una alternativa tecnológica orientada hacia la gestión sostenible de residuos, la economía circular y la generación de energía renovable.
Palabras clave: digestión anaerobia; biogás; residuos sólidos urbanos; valorización energética; energía renovable.

ABSTRACT

The energy recovery of the organic fraction of municipal solid waste represents a technological alternative to reduce the environmental impacts associated with final disposal and promote the use of renewable energy sources. This study aimed to estimate the potential production of biogas and electricity from the organic fraction of municipal solid waste generated in Esmeraldas, Ecuador, using an anaerobic digestion model. The physical composition of the waste was determined through stratified sampling and manual sorting of its components, considering the main generation sectors of the municipal waste management system. The availability of organic matter and the bioenergy potential were estimated using physicochemical reference parameters reported in scientific literature. The results showed that the organic fraction accounted for 53,55% of the generated municipal solid waste, corresponding to a technical availability of 93,71 t/day. The model estimated a production of 12,672,15 m^3/day of biogas and 6,969,68 m^3/day of methane, with a potential electricity generation of 24,271.92 kWh/day, equivalent to 8,86 GWh/year. The sensitivity analysis showed that volatile solids content, biochemical methane potential, and electrical conversion efficiency are the main factors influencing energy performance. It is concluded that the organic fraction of municipal solid waste in Esmeraldas has significant potential for energy recovery through anaerobic digestion, representing a technological alternative for sustainable waste management, circular economy development, and renewable energy generation.
Keywords: anaerobic digestion; biogas; municipal solid waste; energy recovery; renewable energy.

Recibido: 05/05/2026
Aceptado: 28/07/2026

Introducción

La gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) constituye uno de los principales desafíos ambientales, tecnológicos y socioeconómicos de las ciudades contemporáneas, [1] debido al incremento sostenido de su generación asociado al crecimiento poblacional, la urbanización acelerada y los cambios en los patrones de consumo. [2]

Los modelos tradicionales de gestión, basados fundamentalmente en la recolección, transporte y disposición final, presentan limitaciones relacionadas con el aprovechamiento insuficiente de los recursos contenidos en los residuos, la ocupación progresiva de los sitios de disposición final y la generación de impactos ambientales derivados de la descomposición de la materia orgánica, [3] incluyendo emisiones de gases de efecto invernadero y contaminación de suelos y cuerpos de agua. [4]

En este escenario, la transición desde esquemas lineales de gestión hacia modelos fundamentados en la economía circular ha impulsado el desarrollo de estrategias orientadas a la recuperación de materiales y energía contenida en los residuos. [2,3]

Dentro de estas alternativas, la valorización energética de la fracción orgánica de los RSU representa una opción tecnológica de interés debido a su elevada biodegradabilidad y disponibilidad como sustrato para procesos biológicos. Entre las tecnologías existentes, la digestión anaerobia destaca por su capacidad para transformar la materia orgánica en biogás, una mezcla gaseosa constituida principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), que puede ser utilizada para la generación de energía eléctrica y térmica, al mismo tiempo que permite reducir la cantidad de residuos destinados a disposición final.[4]

El potencial energético obtenido mediante digestión anaerobia depende de las características fisicoquímicas del sustrato, particularmente del contenido de sólidos totales, sólidos volátiles y del potencial bioquímico de metano. [5,6] Por esta razón, la caracterización de la composición de los residuos constituye una etapa fundamental para estimar la disponibilidad de materia orgánica aprovechable y evaluar preliminarmente la viabilidad de sistemas de recuperación energética. [7]

Los modelos predictivos basados en parámetros experimentales o valores de referencia reportados en la literatura constituyen herramientas útiles para realizar estimaciones iniciales del potencial de generación de biogás, especialmente en

regiones donde aún no se dispone de instalaciones piloto o datos operacionales a escala real. [8]

En América Latina, la fracción orgánica representa generalmente el componente mayoritario de los RSU, debido a la elevada presencia de residuos alimentarios y vegetales.[9,10] Sin embargo, una proporción significativa continúa siendo depositada en rellenos sanitarios o sitios de disposición con diferentes niveles de control, desaprovechando su contenido energético y contribuyendo a la generación de impactos ambientales. En Ecuador, la composición de los residuos urbanos presenta características similares, con predominio de materiales biodegradables que podrían ser incorporados a esquemas de aprovechamiento energético mediante tecnologías de tratamiento biológico.

El cantón Esmeraldas constituye un caso de interés debido al incremento sostenido en la generación de RSU y a las limitaciones operativas asociadas al sitio de disposición final utilizado actualmente. Esta situación evidencia la necesidad de evaluar alternativas complementarias de gestión que permitan disminuir la presión sobre los sistemas convencionales de disposición y promover el aprovechamiento de los residuos como fuente secundaria de energía. No obstante, hasta el momento no se dispone de estudios que integren la caracterización física de los RSU generados en el territorio con estimaciones del potencial de producción de biogás y electricidad bajo condiciones locales. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo estimar el potencial de generación de biogás y energía eléctrica a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos del cantón Esmeraldas, Ecuador, mediante la caracterización de los residuos generados y la aplicación de un modelo de digestión anaerobia basado en parámetros fisicoquímicos de referencia.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se desarrolló en el cantón Esmeraldas, provincia de Esmeraldas, Ecuador, localizado en la región litoral norte del país. El territorio presenta características urbanas y socioeconómicas que determinan una generación significativa de residuos sólidos urbanos, asociada principalmente a actividades residenciales, comerciales, institucionales y de abastecimiento alimentario.

El cantón cuenta con una población aproximada de 211 848 habitantes y una generación promedio de RSU estimada en 250 t/día. Los residuos recolectados son transportados al sitio de disposición final “El Jardín”, cuya capacidad operativa se encuentra condicionada por el incremento progresivo del volumen de residuos recibidos. Esta situación evidencia la necesidad de evaluar alternativas tecnológicas orientadas a la reducción del volumen dispuesto y al aprovechamiento de la fracción biodegradable contenida en los residuos.

Caracterización física de los residuos sólidos urbanos

La composición física de los RSU se determinó mediante un muestreo estratificado y multietápico, considerando los principales sectores generadores del sistema municipal de gestión de residuos: residencial, comercial, mercados e institucional.

La distribución de los estratos fue establecida considerando su contribución relativa al total generado: 55 % residencial, 15 % comercial, 20 % mercados y 10 % institucional. Para cada estrato se obtuvieron ocho muestras compuestas, alcanzando un total de 32 muestras analizadas, con una masa aproximada de 100 kg por muestra.

La caracterización se realizó mediante segregación manual siguiendo los criterios establecidos en la norma ASTM D5231-92, [11] clasificando los residuos en las siguientes categorías: materia orgánica, papel, cartón, plásticos, vidrio, metales, textiles, madera, residuos no aprovechables y otros materiales.

Cada fracción separada fue pesada individualmente y su proporción porcentual se calculó mediante la relación entre la masa de cada componente y la masa total de la muestra analizada.

Estimación de la disponibilidad de la fracción orgánica

La composición global de los RSU del cantón se determinó mediante un promedio ponderado de las fracciones obtenidas en cada estrato, considerando la participación relativa de cada sector dentro del sistema municipal de generación.

A partir de la generación diaria total de residuos (250 t/día) y del porcentaje correspondiente a la fracción orgánica, se calculó la cantidad teórica de materia orgánica generada diariamente.

Con el objetivo de representar condiciones operacionales más cercanas a un sistema real de aprovechamiento energético, se aplicó un factor de recuperación

del 70 %. Este factor considera las pérdidas asociadas a procesos de recolección, presencia de materiales impropios, contaminación cruzada y limitaciones inherentes a la separación y acondicionamiento del sustrato.

La cantidad resultante fue considerada como la disponibilidad técnica de materia orgánica susceptible de ser incorporada al proceso de digestión anaerobia.

Modelado del potencial bioenergético mediante digestión anaerobia

El potencial de producción de biogás y energía eléctrica se estimó mediante un modelo de digestión anaerobia basado en balances de masa y parámetros fisicoquímicos reportados en literatura especializada.

Los parámetros empleados en el modelo fueron: [5,6]

- contenido de sólidos totales (ST): 25 % de la masa húmeda;
- relación sólidos volátiles/sólidos totales (SV/ST): 85 %;
- potencial bioquímico de metano (BMP): 0,35 m³ CH_4/kg SV;
- concentración de metano en el biogás: 55 %;
- poder calorífico inferior del metano: 39,8 MJ/m³;
- eficiencia de conversión eléctrica: 35 %.

A partir de la materia orgánica disponible se determinaron secuencialmente:

- masa de sólidos totales en kg/día (M_{ST})

$$M_{ST} = M_{FO,d} \cdot \mathrm{ST} \qquad (1)$$

donde

$M_{FO,d}$ es la masa húmeda de fracción orgánica aprovechable y ST la proporción de sólidos totales.

masa de sólidos volátiles en kg SV/día (M_{SV})

$$M_{SV} = M_{ST} \cdot \mathrm{SV} \qquad (2)$$

donde

M_{ST} la masa de sólidos totales; SV expresa la proporción de sólidos volátiles respecto a los sólidos totales.

producción potencial diaria de metano en m³ CH_4/día (V_{CH4})

$$V_{CH_4} = M_{SV} \cdot \mathrm{BMP}_{CH_4} \qquad (3)$$

donde

BMP_{CH4} expresa el potencial bioquímico de metano en m³ CH_4/kg SV.

volumen total de biogás generado en m³/día (V_{bg})

$$V_{bg} = \frac{V_{CH_4}}{C_{CH_4}} \quad (4)$$

donde

C_{CH4} expresa la concentración de metano en el biogás como fracción decimal.

energía contenida en el metano en kWh/día (E_{CH4})

$$E_{CH_4} = \frac{V_{CH_4} \cdot \mathrm{PCI}_{CH_4}}{3{,}6} \quad (5)$$

donde

PCI_{CH4} expresa el poder calorífico inferior del metano en MJ/m³; el factor 3,6 convierte megajulios a kilovatios hora.

energía eléctrica potencial del biogás en kWh/día ($E_{el,bg}$)

$$E_{el,bg} = E_{CH_4} \cdot \eta_{el} \quad (6)$$

donde

η_{el} expresa la eficiencia eléctrica del sistema de conversión.

El volumen de biogás fue calculado considerando la fracción de metano presente en el gas producido. Posteriormente, la energía química contenida en el metano fue transformada en energía eléctrica mediante la aplicación de la eficiencia de conversión establecida.

Análisis de sensibilidad

Con el propósito de evaluar la influencia de la variabilidad de los parámetros del sustrato y del proceso sobre el potencial energético estimado, se realizó un análisis de sensibilidad considerando tres escenarios operacionales:

- Escenario conservador: condiciones desfavorables de disponibilidad y conversión energética.
- Escenario nominal: valores centrales empleados en el modelo base.
- Escenario favorable: condiciones optimizadas de aprovechamiento del sustrato.

En cada escenario se modificaron los valores asociados al contenido de sólidos totales, sólidos volátiles, potencial bioquímico de metano y eficiencia de conversión eléctrica.

Para cada condición evaluada se determinaron la producción de metano, generación eléctrica anual, potencia media equivalente y valor económico asociado.

Valoración económica preliminar

La estimación económica se realizó considerando la energía eléctrica potencial generada y una tarifa promedio de referencia establecida por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) [11] para el año 2026, equivalente a 0,1061 USD/kWh.

El valor económico obtenido representa el beneficio potencial asociado al desplazamiento de energía eléctrica convencional mediante generación a partir de biogás. Esta evaluación no incluyó costos de inversión, operación, mantenimiento, tratamiento del digestato ni depreciación de infraestructura, por lo que corresponde a una aproximación inicial.

Análisis de los datos

Los resultados de la caracterización física fueron expresados como porcentaje en masa y toneladas por día. Los cálculos correspondientes al potencial bioenergético y valoración económica fueron desarrollados mediante hojas de cálculo en Microsoft Excel, aplicando las ecuaciones del modelo de digestión anaerobia.

El procesamiento permitió estimar la disponibilidad técnica de materia orgánica, la producción potencial de biogás y metano, la generación eléctrica asociada y la variación del potencial energético bajo diferentes escenarios operacionales.

La secuencia metodológica general del estudio se presenta en la figura 1.

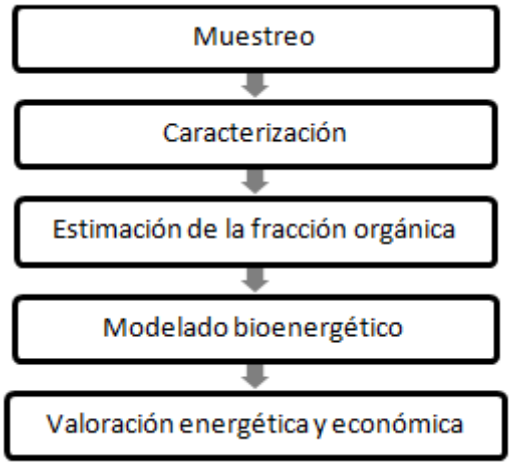


Fig. 1- Diagrama de flujo con las etapas de la investigación.

Resultados y discusión

Composición de los residuos sólidos urbanos y disponibilidad de la fracción orgánica

La caracterización física de los residuos sólidos urbanos (RSU) generados en el cantón Esmeraldas evidenció un predominio de la fracción orgánica, que representó el 53,55 % de la masa total de residuos caracterizados, equivalente a una generación aproximada de 133,88 t/día. Las fracciones restantes estuvieron constituidas principalmente por plásticos (14,20 %), cartón (9,63 %) y papel (6,28 %), mientras que otros materiales como vidrio, metales, textiles y madera presentaron proporciones inferiores.

La elevada participación de la fracción biodegradable constituye una característica favorable para la implementación de procesos de digestión anaerobia, debido a que estos materiales presentan una mayor disponibilidad de materia orgánica susceptible de transformación microbiológica. En este sentido, los RSU del cantón Esmeraldas presentan una composición compatible con sistemas de valorización energética, en los cuales la materia orgánica deja de considerarse únicamente un residuo destinado a disposición final y pasa a constituir un recurso aprovechable para la generación de energía renovable.

Sin embargo, la cantidad teórica de materia orgánica generada no representa necesariamente la cantidad disponible para un proceso industrial. Considerando las pérdidas asociadas a la separación, presencia de materiales impropios, humedad y limitaciones operativas del sistema de recuperación, la aplicación de un factor de aprovechamiento del 70 % permitió estimar una disponibilidad técnica de 93,71 t/día de materia orgánica.

Este valor evidencia que, aun bajo condiciones conservadoras de recuperación, existe una cantidad significativa de sustrato disponible para alimentar un sistema de digestión anaerobia. Además, resalta la importancia de implementar estrategias de separación en la fuente, ya que una reducción de los contaminantes presentes en la fracción orgánica podría incrementar la eficiencia global del proceso y mejorar el rendimiento energético.

Potencial de producción de biogás y generación eléctrica

A partir de la disponibilidad técnica estimada se determinaron los parámetros necesarios para el modelo de digestión anaerobia (tabla1). La cantidad disponible

de materia orgánica permitió obtener 23,43 t/día de sólidos totales y 19,91 t/día de sólidos volátiles, considerados como la fracción potencialmente biodegradable del sustrato.

Tabla 1- Potencial de generación de biogás y energía eléctrica a partir de la fracción orgánica de los RSU

Parámetro	Valor
Materia orgánica disponible	93,71 t/día
Sólidos totales (ST)	23,43 t/día
Sólidos volátiles (SV)	19,91 t/día
Producción de metano	6 969,68 m³/día
Producción de biogás	12 672,15 m³/día
Energía eléctrica potencial	24 271,92 kWh/día
Potencia media	1 011,33 kW
Electricidad anual	8,86 GWh/año

El modelado permitió estimar una producción de 6 969,68 m³/día de metano y 12 672,15 m³/día de biogás, considerando un contenido promedio de metano del 55 %. Estos resultados reflejan el potencial energético asociado a la elevada disponibilidad de materia orgánica presente en los RSU del cantón.

La generación eléctrica potencial alcanzó 24 271,92 kWh/día, equivalente a 8,86 GWh/año y una potencia media instalada de aproximadamente 1 011 kW. Desde una perspectiva tecnológica, estos resultados indican que la fracción orgánica de los RSU de Esmeraldas podría sostener un sistema de generación eléctrica de escala cercana al megavatio, contribuyendo a la diversificación de la matriz energética local.

El potencial obtenido se encuentra condicionado por las características del sustrato y por los parámetros empleados en el modelo, particularmente el contenido de sólidos volátiles y el potencial bioquímico de metano. Estudios desarrollados en diferentes regiones han demostrado que la producción de biogás a partir de residuos orgánicos municipales presenta una elevada variabilidad, debido a diferencias en composición, hábitos de consumo, condiciones climáticas y eficiencia de operación de los sistemas de tratamiento. [12, 13, 14]

En este contexto, la estimación obtenida para Esmeraldas representa una aproximación técnica inicial que permite valorar la disponibilidad del recurso energético, aunque la implementación de una instalación real requeriría la

validación experimental del potencial bioquímico de metano mediante ensayos específicos del sustrato local.

Influencia de los parámetros del proceso: análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad permitió evaluar la respuesta del sistema ante variaciones en las condiciones del sustrato y eficiencia tecnológica. Los resultados mostraron diferencias importantes entre los escenarios considerados (tabla 2).

Tabla 2 – Resultados del análisis de sensibilidad del potencial bioenergético

Condición	Metano (m³/día)	Electricidad (GWh/año)	Potencia (kW)	Valor energético (USD/año)
Conservadora	2 998,80	3,38	385	358 212
Nominal	6 969,68	8,86	1 011	939 966
Favorable	12 524,22	18,19	2 077	1 930 376

En el escenario conservador se estimó una producción de 2 998,80 m³/día de metano, correspondiente a una generación eléctrica anual de 3,38 GWh y una potencia media de 385 kW. Bajo las condiciones nominales del modelo, la producción alcanzó 6 969,68 m³/día de metano, 8,86 GWh/año y 1 011 kW de potencia media. Por otra parte, el escenario favorable permitió alcanzar 12 524,22 m³/día de metano, 18,19 GWh/año y 2 077 kW de potencia equivalente.

La diferencia entre escenarios confirma que el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos depende considerablemente de la calidad del sustrato y de la eficiencia del sistema tecnológico seleccionado. En particular, incrementos en el contenido de sólidos volátiles y en el potencial bioquímico de metano generan aumentos significativos en la producción energética, lo que demuestra la importancia de optimizar las etapas previas de separación y acondicionamiento de los residuos.

Estos resultados sugieren que una estrategia municipal orientada a mejorar la segregación de la fracción orgánica podría incrementar el rendimiento energético del sistema y reducir simultáneamente la cantidad de residuos enviados al sitio de disposición final.

Valoración económica del aprovechamiento energético

La estimación económica preliminar mostró que la generación eléctrica potencial bajo condiciones nominales podría representar un valor energético anual

aproximado de 939 966 USD, considerando una tarifa de referencia de 0,1061 USD/kWh. En los escenarios evaluados, este valor osciló entre 358 212 USD/año para la condición conservadora y 1 930 376 USD/año para el escenario favorable.

Estos resultados evidencian que la valorización energética de la fracción orgánica podría generar beneficios económicos adicionales asociados a la sustitución parcial del consumo eléctrico convencional. No obstante, estos valores deben interpretarse como una estimación del potencial energético y no como un análisis financiero definitivo, debido a que no incorporan costos de inversión, operación, mantenimiento, transporte, acondicionamiento del sustrato ni manejo del digestato.

Desde una perspectiva integral de gestión de residuos, el aprovechamiento mediante digestión anaerobia presenta beneficios ambientales complementarios, ya que permitiría reducir la carga orgánica enviada al sitio de disposición final, disminuir emisiones asociadas a la degradación no controlada y recuperar energía contenida en los residuos.

Implicaciones para la gestión sostenible de residuos en Esmeraldas

Los resultados obtenidos indican que la fracción orgánica de los RSU del cantón Esmeraldas constituye un recurso energético con potencial de aprovechamiento mediante digestión anaerobia. La combinación entre una elevada proporción de materia biodegradable, disponibilidad continua de residuos y un potencial significativo de generación eléctrica representa una oportunidad para avanzar hacia modelos de gestión basados en economía circular.

Sin embargo, antes de implementar un sistema a escala real resulta necesario desarrollar estudios complementarios que incluyan ensayos experimentales de potencial bioquímico de metano, evaluación del contenido de contaminantes, análisis técnico-económico detallado y valoración ambiental del ciclo de vida del proceso.

En consecuencia, este estudio proporciona una primera aproximación cuantitativa del potencial bioenergético de los RSU de Esmeraldas y constituye una base técnica para futuras decisiones relacionadas con la planificación de sistemas de tratamiento y valorización energética de residuos.

Conclusiones

1. La caracterización física de los residuos sólidos urbanos del cantón Esmeraldas evidenció el predominio de la fracción orgánica, con una participación del 53,55 % de la masa total generada, equivalente a 133,88 t/día. Considerando las limitaciones asociadas a la recuperación y acondicionamiento del sustrato, se estimó una disponibilidad técnica de 93,71 t/día de materia orgánica aprovechable mediante digestión anaerobia.

2. El modelo de estimación del potencial bioenergético permitió determinar que la fracción orgánica disponible presenta capacidad para generar aproximadamente 12 672,15 m^3/día de biogás y 6 969,68 m^3/día de metano, lo que representa un potencial de generación eléctrica de 24 271,92 kWh/día, equivalente a 8,86 GWh/año y una potencia media cercana a 1 MW.

3. El análisis de sensibilidad demostró que la producción energética depende significativamente de las características fisicoquímicas del sustrato y de la eficiencia del proceso de conversión, observándose variaciones entre 3,38 y 18,19 GWh/año de generación eléctrica para los escenarios conservador y favorable, respectivamente. Estos resultados resaltan la importancia de mejorar la separación y recuperación de la fracción orgánica para incrementar el rendimiento energético.

Referencias bibliográficas

1. DEL RIO Silvia Miriam Pell; GONZÁLEZ, Máryuri García. Estudio de escenarios para la gestión de residuos sólidos en La Habana: competencias e impacto en la economía circular. *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*. 2026, **14**, 289-30. [15 de julio 2026]. https://revistas.uh.cu/revflacso/article/view/12517

2. CARRILLO SEGOVIA María Jesús; LÓPEZ IFILL Norma Adriana. Economía circular y gestión de residuos sólidos en mercados de abastos de Cusco, Perú. *Revista Electrónica de Divulgación de Metodologías emergentes en el desarrollo de las STEM*. 2026, **8**(1). [5 de julio 2026]. https://www.revistas.unp.edu.ar/index.php/rediunp/article/view/1191

3. SILLO SILLO Angela; ROBLES ROJAS M. L. C; SILLO SILLO R; RIVERA TRUCIOS F y CRUZ MANZO J. Análisis Bibliométrico en la Gestión de

Residuos Sólidos y su Implementación de la Economía Circular. *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar*. 2024, **8**(6), 3713-3730. [15 de enero 2026]. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15124

4. ANAYA Reza O; ALTAMIRANO CORONA M. F; BASURTO GARCÍA Patricio Fabián, GARCÍA GONZÁLEZ S. A; MARTINEZ HERNANDEZ E. y DURÁN MORENO A. Wet anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste: experience with long-term pilot plant operation and industrial scale-up. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 2024, **47**(2), 235-247. [21 de mayo 2026]. https://doi.org/10.1007/s00449-023-02958-2
5. GONZÁLEZ DIAZ Y; GATO CLAVELL T; PIRES ARAUJO L. Determinación del potencial energético de los Residuos Sólidos Urbanos en tres municipios de la provincia de Luanda, Angola. *Revista Tecnología Química*. 2015, **35**(1), 35-44. [21 de mayo 2026]. https://tecnologiaquimica.uo.edu.cu/index.php/tq/article/download/243/238
6. LOZANO LOZANO J. P. y MOROCHO MEDINA R. A. Enfoque de economía circular en la gestión de residuos sólidos en el Centro de Gestión Integral Sostenible de Loja. *Impulso, Revista de Administración*. 2025, **5**(9), 51-67. [28 de marzo 2026]. http://doi.org/10.59659/impulso.v.5i9.69
7. NIEZWIDA Sonia Romina; JUSCZYSCZYN Juan Carlos M; GAVAZZO, Graciela. Revisión bibliográfica sobre los residuos sólidos urbanos. *Ingenio Journal: La revista de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la UTEQ*. 2023, **6**(2), 30-39. [14 de abril 2026]. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9336139
8. HERRERA MARCA Juan. Gestión de residuos sólidos urbanos y calidad de vida en Perú en el contexto latinoamericano: una revisión sistemática (2020-2025). *Revista de Ciencias de la Gestión*. 2026, **11**, 1-20. [15 de julio 2026]. https://doi.org/10.18800/360gestion.202611.004
9. TOLEDO CERVANTES, Jessica Alejandra; QUINTERO CASTELLANOS, Carlos Emigdio. Gestión de residuos sólidos urbanos en México: un caso de estudio desde la perspectiva organizacional. *Revista de Administração de Empresas*. 2022, **62**. [15 de enero 2026]. https://www.scielo.br/j/rae/a/rFhG75VFjCrPgL8hMxHsbtv/?format=html&lang=es

10. ASTM INTERNATIONAL. *ASTM D5231-92: Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste*. West Conshohocken: ASTM International.
11. ARCONEL (Agencia de Regulación y Control de Electricidad). *Resolución Nro. ARCONEL-021/25: Aprobación de los costos del Servicio Público de Energía Eléctrica para el año 2026.* 2025. [en línea]. https://arconel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/12/Resolucion-Nro.-ARCONEL-021-25.pdf
12. IBARRA ESPARZA F. E; VERDUZCO GARIBAY M; LARA TOPETE G. O; GONZÁLEZ LÓPEZ M. E; OROZCO NUNNELLY D. A; AGUILAR JUÁREZ O; SENÉS GUERRERO C y GRADILLA HERNÁNDEZ M. S. A micro-and macro-scale look at the biochemical methanogenic potential of the organic fraction of municipal solid waste generated in a large city of a developing country. *Frontiers in Environmental Science*. 2022, no. 10, [18 de enero 2026] https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1020208
13. MORENO I. R. y SCHAMBER P. J. La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en Argentina. Normativas que condicionan su tratamiento y experiencias que proyectan potencialidades en la región metropolitana de Buenos Aires. *Cuaderno Urbano*. 2024*,* **38**, 135-155. [5 de febrero 2026]. https://doi.org/10.30972/crn.38387680
14. DE LA VEGA QUINTERO J. C; NUÑEZ PÉREZ J; LARA FIALLOS M; BARBA P; BURBANO GARCÍA J. L. y ESPÍN VALLADARES R. Advances and challenges in anaerobic digestion for biogas production: Policy, technological, and microbial perspectives. *Processes*. 2025, **13**(11). [23 de abril 2026]. https://doi.org/10.3390/pr13113648

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Nicomedes Ordoñez-Zúñiga: procesamiento y análisis de datos, redacción del borrador del manuscrito.

Yudith González-Diaz: concepción de la investigación, análisis e interpretación de resultados.

Juan Carlos Lemos Hurtado: procesamiento y análisis de datos.

Nelfa España Francis: revisión crítica y corrección del manuscrito final.

Alfonso Vicente Ordoñez Zuñiga: análisis e interpretación de resultados.