

**Estimación del potencial eléctrico de residuos orgánicos mediante el uso de biodigestores experimentales.**  
**Estimation of the electrical potential of organic waste through the use of experimental biodigesters**

*Iván Rodrigo Chugchilan Ante; Mgtr. William Paul Pazuña Naranjo*

**CONFLUENCIA DE  
INNOVACIONES CIENTÍFICAS**  
Enero - junio, V°5-N°1; 2024

- ✓ **Recibido:** 21/01/2024
- ✓ **Aceptado:** 23/01/2024
- ✓ **Publicado:** 30/06/2024

**PAIS**

- 📍 **La Maná - Ecuador**
- 📍 **La Maná - Ecuador**

**INSTITUCIÓN**

**Universidad Técnica de  
Cotopaxi**  
**Universidad Técnica de  
Cotopaxi**

**CORREO:**

[ivan.chugchilan5991@utc.edu.ec](mailto:ivan.chugchilan5991@utc.edu.ec)  
[william.pazuna2@utc.edu.ec](mailto:william.pazuna2@utc.edu.ec)

**ORCID:**

- 🌐 <https://orcid.org/0009-0003-8794-5655>
- 🌐 <https://orcid.org/0000-0003-0159-6734>

📄 **FORMATO DE CITA APA.**

*Chugchilan, I. Pazuña, W., (2024). Estimación del potencial eléctrico de residuos orgánicos mediante el uso de biodigestores experimentales. Revista G-ner@ndo, V°5 (N°1), 101 - 128.*

**Resumen**

El presente estudio se centra en la valorización energética de residuos orgánicos a través del empleo de biodigestores experimentales. La motivación detrás de esta investigación radica en la necesidad de explorar fuentes sostenibles de energía y abordar la gestión adecuada de los desechos orgánicos. Para lograrlo, se llevó a cabo un exhaustivo análisis de la digestión anaerobia de distintos tipos de estiércol, incluyendo bovino, porcino y avícola, con el propósito de evaluar su capacidad para la producción de biogás y su potencial aprovechamiento eléctrico. La metodología implementada comprendió la operación de biodigestores a nivel de laboratorio, con un riguroso registro de variables como la producción de metano, la eficiencia del biodigestor y la generación de energía. Los resultados experimentales revelaron que el biodigestor alimentado con estiércol avícola exhibió una notable producción de metano y energía, destacando su eficacia en comparación con otras fuentes de estiércol. La innovación fundamental de este estudio reside en su contribución al conocimiento sobre el potencial eléctrico de los residuos mediante la biodigestión, subrayando la importancia de las condiciones controladas y la elección de la fuente de estiércol. En resumen, este trabajo proporciona valiosos insights para la implementación de sistemas sostenibles de generación de energía a partir de residuos orgánicos, abriendo la puerta a soluciones más respetuosas con el medio ambiente y económicamente viables.

**Palabras clave:** Biodigestores, Residuos orgánicos, Biogás, Energía, Digestión anaerobia

**Abstract:**

The present study focuses on the energetic valorization of organic waste through the use of experimental biodigesters. The motivation behind this research lies in the need to explore sustainable sources of energy and to address the proper management of organic waste. To achieve this, an exhaustive analysis of the anaerobic digestion of different types of manure, including bovine, swine and poultry, was carried out in order to evaluate its capacity for biogas production and its potential electrical use. The methodology implemented included the operation of biodigesters at laboratory level, with a rigorous recording of variables such as methane production, biodigester efficiency and energy generation. Experimental results revealed that the poultry manure-fed biodigester exhibited remarkable methane and energy production, highlighting its efficiency compared to other manure sources. The fundamental innovation of this study lies in its contribution to the knowledge on the electrical potential of waste through biodigestion, highlighting the importance of controlled conditions and the choice of manure source. In summary, this work provides valuable insights for the implementation of sustainable systems of energy generation from organic waste, opening the door to more environmentally friendly and economically viable solutions.

**Keywords:** Biodigesters, Organic waste, Biogas, Energy, Anaerobic digestion.

## Introducción

En el panorama actual, la población a nivel mundial experimenta un acceso cada vez más amplio a información diversa, acompañado de niveles educativos más elevados. Este incremento en conocimiento ha propiciado un crecimiento significativo en la conciencia colectiva acerca de la importancia del desarrollo sostenible y la necesidad de adoptar estilos de vida que armonicen con el entorno ambiental (ONU, 2021). Sin embargo, la extracción de recursos ha experimentado un crecimiento superior al triple desde 1970, destacándose un aumento del 45 % en la utilización de combustibles fósiles. El tratamiento de materiales, combustibles y alimentos constituyen la fuente de la mitad de las emisiones totales de gases de efecto invernadero a nivel global, contribuyendo a más del 90 % de la pérdida de biodiversidad y el estrés hídrico (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente UNEP, 2019).

Anualmente, se recopila a nivel mundial una cifra estimada de 11.200 millones de toneladas de desechos sólidos, y la descomposición de la fracción orgánica de estos residuos sólidos contribuye aproximadamente al 5% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (UNEP, 2023). A nivel mundial, se adquieren un millón de botellas de plástico cada minuto, y se consumen hasta 5 billones de bolsas de plástico desechables al año. En su conjunto, la mitad de la producción total de plástico está diseñada para un solo uso y se descarta posteriormente (UNEP, 2022). Con el fin de prevenir los efectos más perjudiciales del cambio climático, se requiere una reducción de casi el 50% en las emisiones para el año 2030, destacando la crucial importancia de las energías renovables (Naciones Unidas, 2022).

En este sentido, la capacidad de generación eléctrica a partir de fuentes renovables durante la última década (2012-2021) ha experimentado un crecimiento constante. Las energías eólica y fotovoltaica, respaldadas por innovaciones tecnológicas, constituyen pilares esenciales para un futuro energético asequible y sostenible (BBVA, 2023). De este modo, las proyecciones de la Agencia Internacional de Energía (IEA), anticipa un aumento del 30 % en la demanda global

---

de energía para el año 2040, siendo las fuentes de energía renovable una componente fundamental en este desarrollo (Bertaglio, 2020). El 59% de la producción de energía eléctrica en América Latina se deriva de fuentes renovables, con la meta de incrementar este porcentaje al 70% antes del año 2030 (MAPFRE Global Risks, 2021).

De modo que, en América Latina, se están ejecutando iniciativas innovadoras destinadas a generar energía a partir de desechos orgánicos, tales como cáscaras de cacahuate, sargazo y cascarilla. Estas acciones subrayan el significativo potencial energético contenido en estos materiales (Tuchin, 2023). Según datos de las Naciones Unidas (ONU, 2021), diversos países han implementado eficientes estrategias de gestión que aprovechan los residuos como recursos bioenergéticos. En México, por ejemplo, se observa un aumento significativo en la generación total de energía a partir de residuos sólidos, evidenciando el impacto positivo de estas iniciativas. La gestión de residuos en Ecuador presenta desafíos significativos, especialmente en cuanto a los residuos orgánicos. Según datos del INEC, el 66,5% de la basura que se entierra en el país es de naturaleza orgánica, mientras que solo el 4% de la basura total se recicla (Moran, 2018). Entre los años 2018 y 2021, Ecuador importó 47,596 toneladas de desechos plásticos<sup>3</sup>. Esta importación de desechos plásticos contribuye a la complejidad de la gestión de residuos, ya que los plásticos representan una parte significativa de la basura y su manejo adecuado es crucial para abordar el impacto ambiental (Machado, 2022). De la misma manera, en Europa los desechos urbanos y otros residuos orgánicos son identificados como fuentes de energía renovable. Esta perspectiva respalda la noción de que una gestión adecuada de tales desechos puede desempeñar un papel crucial en la transición hacia una matriz energética más sostenible (Rodríguez, 2022).

A nivel global, se estima que alrededor de 130 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos son procesadas en plantas de Residuo-a-Energía (RAE) cada año, generando aproximadamente 45 gigavatios de electricidad (Montiel & Pérez, 2019). Estos datos destacan la

---

relevancia de la generación de energía a partir de residuos en la matriz energética mundial y subrayan su contribución a la diversificación y sostenibilidad del suministro energético. La evaluación de la generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos revela estrategias termodinámicas eficientes para maximizar el aprovechamiento de estos recursos [4]. El análisis estadístico de la eficacia de estas estrategias es fundamental para comprender la variabilidad en la producción de energía y optimizar los procesos (Evaluación De La Generación De Energia A Partir De La Gasificación De Residuos Sólidos Urbanos En Cochabamba-Bolivia, 2022).

En Ecuador, se ha impulsado activamente la gestión adecuada de residuos orgánicos como parte de iniciativas para promover la sostenibilidad ambiental. El Ministerio del Ambiente del Ecuador ha destacado la importancia de gestionar de manera adecuada los residuos orgánicos en las ciudades, buscando alternativas que fomenten la reducción de emisiones de gases nocivos y la generación de productos beneficiosos como el compostaje (Ministerio del ambiente , 2020). Así mismo, se ha observado un retorno del reciclaje de desperdicios orgánicos en forma de compost, destacando la importancia de dar un nuevo uso a estos residuos para contribuir a la gestión sostenible de los mismos (Villa, 2023). Sin embargo, a pesar de los beneficios potenciales, se señala que en Ecuador, la deficiente clasificación en el origen de los residuos orgánicos ha provocado que muchos de ellos terminen en sitios de disposición final, subrayando la necesidad de una mayor conciencia y educación sobre la importancia de la gestión adecuada de estos residuos (Campaña, 2022).

### **Valorización energética de los residuos orgánicos**

Los residuos orgánicos pueden ser aprovechados como una fuente de bioenergía a través de diversos métodos termoquímicos y biológicos. Este enfoque implica la transformación de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU) para la generación de energía (Sosa, 2022). La valorización energética de residuos, implica la conversión de diversos tipos de desechos en formas aprovechables de energía. En lugar de simplemente desechar los residuos

---

en vertederos o incinerarlos sin obtener ningún beneficio adicional, la valorización energética busca convertir estos residuos en una fuente de energía útil, como electricidad, calor o biogás (Condorchem Envitech, 2010).

La bioenergía desempeña un papel fundamental en la matriz energética global, la Asociación Mundial de la Bioenergía refleja las cifras de producción y consumo de energía a partir de diversos biocombustibles, destacando el impacto significativo de la bioenergía en la oferta energética mundial. En 2020, se produjeron globalmente 7,669 TWh de electricidad renovable. La energía hidroeléctrica fue la principal fuente generadora de electricidad renovable con un 58%, seguida por la energía eólica con un 21%. La bioenergía ocupó el cuarto lugar como fuente generadora de electricidad renovable, con una producción de 685 TWh en 2020 (Asociación Mundial de la Bioenergía, 2022).

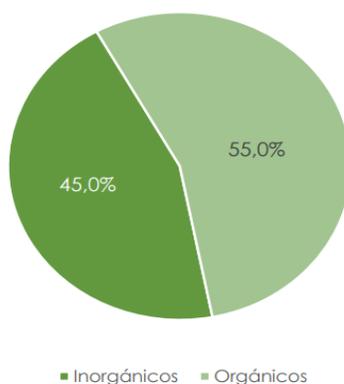
*Tabla 1. Fuentes de energía a nivel mundial*

Año	Total	Bioenergía	Hidráulica	Solar	Eólica	Geotérmica	Mareomotriz	Biopotencia (%)
2000	2.943	162	2.696	1,3	31,4	52,2	0,55	6%
2005	3.413	228	3.018	4,29	104	58,3	0,52	7%
2010	4.342	362	3.536	33,7	342	67,7	0,51	8%
2015	5.661	509	3.981	254	834	81	1,01	9%
2020	7.669	685	4.453	837	1.598	94,9	0,99	9%

**Nota.** Obtenido de Global Bioenergy Statistics 2022

Los desechos sólidos producidos en las operaciones productivas y de consumo representan un recurso económico potencial. Por ende, la valorización se presenta como una alternativa que reconoce su utilidad en diversas actividades, como el reciclaje de sustancias inorgánicas y metales, la generación de energía, la producción de compost, fertilizantes u otras transformaciones biológicas. Asimismo, la valorización abarca la recuperación de componentes, el tratamiento y la restauración de suelos, entre otras opciones, con el objetivo de evitar su disposición final (Valorización energética de residuos orgánicos mediante pirolisis, 2021).

En Ecuador existe el impulso del Ministerio de Medio Ambiente y Agua hacia la generación de bioenergía mediante el uso de residuos orgánicos e industriales, evidenciando la relevancia de estas prácticas a nivel nacional (Ministerios del Ambiente, 2015). La cantidad total de desechos sólidos generados en la zona urbana y clasificados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) municipales para el cálculo del Porcentaje de Participación en la Composición (PPC), se evidencia que el 55,0 % pertenece a residuos orgánicos, mientras que el 45,0 % corresponde a residuos inorgánicos (INEC, 2022).



*Figura 1. Composición de los residuos en Ecuador*

### **Tecnología para la valoración energética de residuos**

Los objetivos fundamentales de cualquier sistema de gestión de residuos son la valorización de materiales, la recuperación de energía y la eliminación adecuada de los residuos, con el propósito de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y minimizar los impactos adversos en el entorno (Toro y otros, 2016). Es importante destacar que la selección de la tecnología de valorización no solo se basa en consideraciones económicas, sino también en la capacidad de recuperación de energía y en los aspectos ambientales. La sostenibilidad juega un papel crucial en la elección de estas tecnologías, con un enfoque en minimizar los impactos negativos en el entorno durante todo el proceso de tratamiento. La valorización energética de residuos representa una estrategia integral para reducir la dependencia de los vertederos y

disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, avanzando hacia un modelo más eficiente y sostenible de gestión de residuos (Kumar & Samadder, 2017).

Dentro de las tecnologías empleadas para la valorización energética, se destacan los tratamientos biológicos y/o térmicos de los residuos. Los tratamientos biológicos comprenden el compostaje y la digestión anaerobia, mientras que en las tecnologías térmicas se incluyen la incineración, gasificación y pirólisis. Aquellos residuos que no pueden ser reciclados ni tratados son eliminados en rellenos sanitarios, donde la descomposición genera un gas que puede ser aprovechado energéticamente (Sipra y otros, 2018).

### **Tecnologías de tratamiento de residuos orgánicos**

Las tecnologías de tratamiento de residuos orgánicos juegan un papel esencial en la gestión sostenible de los desechos, abordando los desafíos ambientales y contribuyendo a la circularidad de los recursos. Diversas innovaciones se destacan en este campo:

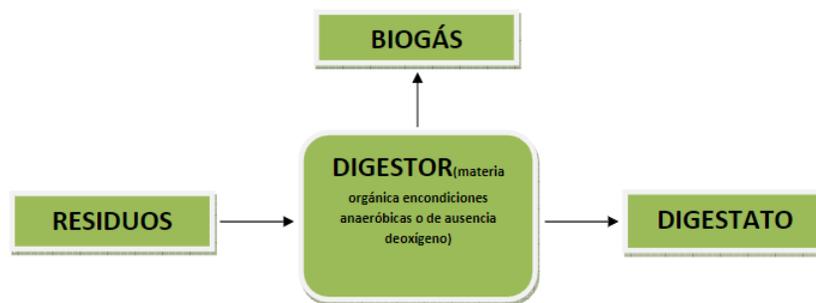
#### **Biodigestores**

Son contenedores herméticos diseñados para optimizar la producción de biogás a partir de desechos orgánicos. Estos desechos, que pueden incluir residuos vegetales o animales, como carne en descomposición y excrementos, se descomponen anaeróbicamente en el biodigestor, generando biogás y subproductos beneficiosos como biobancos (Sánchez y otros, 2020).

En la última década, la investigación sobre biodigestores experimentales ha crecido, buscando optimizar la producción de biogás y explorar alternativas sostenibles para el manejo de residuos orgánicos. Estos biodigestores suelen ser de tamaño reducido y están diseñados para operar a escala de laboratorio, lo que facilita la manipulación y observación detallada de variables. Las características clave incluyen la presencia de un tanque cerrado, la mezcla constante de los sustratos orgánicos, y sistemas de recolección y medición de biogás (Jyothilakshmi & Prakash, 2016).

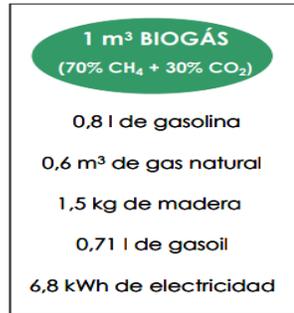
---

En los procesos principales de tratamiento de residuos orgánicos, la Digestión Anaeróbica destaca como una etapa fundamental. En este proceso, la materia orgánica se descompone mediante la acción de bacterias en un entorno carente de oxígeno. Esta descomposición anaeróbica genera biogás como subproducto. La Digestión Anaeróbica se lleva a cabo en biodigestores, sistemas cerrados que facilitan la acción controlada de microorganismos (Varnero, 2011).



*Figura 2. Esquema general de la digestión anaerobia*

En cuanto a la composición del biogás, esta mezcla de gases combustibles se destaca por su contenido principal de metano (50-70%  $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono (30-50%  $\text{CO}_2$ ), ácido sulfhídrico (<2%  $\text{SH}_2$ ), y otros gases como amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), entre otros. El metano, como gas preponderante, constituye la esencia combustible, y la mezcla en su totalidad presenta una potencia calorífica aproximada de 5500 kcal/m<sup>3</sup>, con un 60% de  $\text{CH}_4$ . Este recurso versátil y renovable no solo ofrece una alternativa energética sostenible, sino que también contribuye a cerrar el ciclo, permitiendo el aprovechamiento integral de los productos resultantes para beneficio de la industria y la agricultura (Palau Estevan, 2016).



*Figura 3. Equivalencia del biogás con otros combustibles*

La digestión anaerobia es un proceso donde la materia orgánica experimenta descomposición bajo la acción de microorganismos en un entorno carente de oxígeno. Este proceso conduce a la formación de una mezcla compuesta principalmente de metano y dióxido de carbono, conocida como biogás. Además, se genera una suspensión acuosa que contiene materiales sólidos degradados, así como elementos como nitrógeno, fósforo y otros minerales que estaban inicialmente presentes en la biomasa (Brito, 2022).

La primera fase consiste en la hidrólisis de la materia orgánica, durante la cual los compuestos complejos experimentan una transformación en moléculas solubles y fácilmente degradables, como azúcares, aminoácidos, alcoholes y ácidos de cadena larga. Este pretratamiento del material mejora propiedades cruciales, como la viscosidad y la solubilidad, facilitando así la degradación del producto en fases posteriores y acelerando la velocidad del proceso. El uso de métodos de pretratamiento, como la hidrólisis térmica, influye significativamente en la capacidad de digestión anaeróbica de lodos con alto contenido sólido, permitiendo una mayor eficiencia en la liberación de materia orgánica (Wang y otros, 2023).

En la etapa subsiguiente, conocida como acidogénesis, las bacterias acidogénicas actúan sobre los compuestos derivados de la hidrólisis, convirtiéndolos en ácidos de cadenas más cortas, como ácido acético, butírico, propiónico y valérico. Luego, en la acetogénesis, estos productos intermedios son transformados por las bacterias acetogénicas en ácido acético,

hidrógeno ( $H_2$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Este proceso da lugar a la formación de ácidos de cadena corta, incluyendo ácido acético, butírico, propiónico y valérico, fundamentales para la subsiguiente acetogénesis (Suárez y otros, 2019)

En la última fase del proceso, denominada metanogénesis, las bacterias metanogénicas generan metano ( $CH_4$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ) a partir de los compuestos mencionados anteriormente. Este proceso secuencial demuestra la complejidad y la eficacia de la digestión anaerobia en la transformación de la materia orgánica en productos finales valiosos, como el biogás. Es por ello que, la metanogénesis es un mecanismo clave donde las moléculas orgánicas complejas se reducen a sus componentes energéticos fundamentales, generando metano como subproducto (Producción De Metano A Partir De La Digestión Anaerobia De Biorresiduos De Origen Municipal, 2014).

La idoneidad del biogás para generar electricidad y calor, utilizarse en celdas de combustible, ser inyectado en la red de gas natural o empleado como combustible para automóviles, radica en su contenido de metano, que oscila entre el 35% y el 65%. Sin embargo, es necesario un proceso de purificación para eliminar los gases contaminantes que acompañan al metano y así obtener biometano con propiedades equiparables al gas natural. Según la estimación de la Asociación Europea del Biogás, la producción de biometano en Europa podría experimentar un incremento significativo, pasando de constituir el 4% del consumo total de gas actual a alcanzar el 38% en el año 2050 (Unidad Editorial Información General, 2020).

---

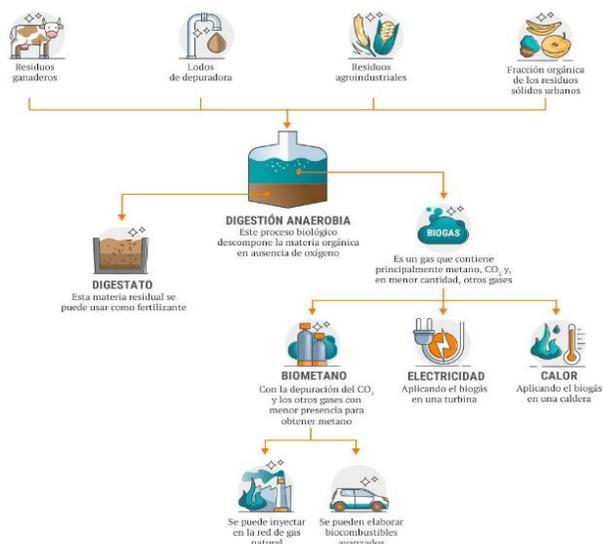


Figura 4. Usos del Biogás

## 2. TRABAJOS RELACIONADOS

La estimación del potencial eléctrico de residuos orgánicos mediante biodigestores experimentales ha sido objeto de intensa investigación científica en la búsqueda de soluciones sostenibles para la generación de energía. Diversos trabajos han abordado este tema, proporcionando valiosas contribuciones al entendimiento de la viabilidad y eficiencia de esta tecnología.

En el artículo, realizado por Duharte et al. (Duharte y otros, 2021) , se enfocó en la estimación del potencial de biogás a partir de la gallinaza, destacando tanto los aspectos eléctricos como térmicos de este residuo orgánico. En otro trabajo el estudio tiene como objetivo demostrar la factibilidad de utilizar restos de comida urbana sin pretratamiento a escala piloto. La investigación aborda la valoración energética de residuos sólidos orgánicos urbanos en la ciudad de Guayaquil para la generación de biogás a través de un biodigestor. Esta iniciativa contribuye al avance de tecnologías sostenibles y proporciona datos importantes sobre la viabilidad de

implementar sistemas de aprovechamiento de residuos en entornos urbanos (Coello y otros, 2023).

Similarmente Reyes et al. (Reyes & Barrenechea, 2022) llevaron a cabo una investigación sobre la estimación del potencial energético técnico a partir de biomasa residual agroindustrial y pecuario en el Perú, proporcionando una visión integral de las posibilidades de generación de electricidad mediante esta metodología. Otro aporte relevante proviene de un estudio que analiza el potencial de producción de biogás para su aprovechamiento en energía renovable. Este trabajo, realizado por (Castro & Rodríguez, 2022), se enfoca en el análisis del potencial de residuos orgánicos como fuente de energía renovable. La investigación ofrece una visión integral sobre cómo estos desechos pueden ser utilizados de manera eficiente para la generación de electricidad.

Adicionalmente, (Malacatus y otros, 2017) realiza un análisis comparativo del potencial de biogás obtenido de la fracción orgánica de residuos revela la falta de estudios que evalúen diferentes técnicas de digestión anaerobia. Este vacío destaca la necesidad de investigaciones más detalladas que comparen diversas metodologías para optimizar la obtención de biogás a partir de residuos orgánicos. En el análisis de prefactibilidad técnico-económico de (Polanía y otros, 2020) se llevó a cabo para evaluar la generación de energía eléctrica y biogás a partir de la fracción orgánica de residuos. Este enfoque destaca la importancia de considerar aspectos económicos al implementar sistemas de aprovechamiento de residuos orgánicos.

Estos estudios no solo han contribuido al conocimiento de la estimación del potencial eléctrico de residuos orgánicos, sino que también han delineado la importancia de considerar diferentes fuentes de desechos y optimizar los procesos para una generación eficiente de electricidad. Estos avances científicos allanan el camino para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en el campo de la energía renovable.

---

## Métodos y materiales

Se aplicará el método experimental de manera que, se utilizarán biodigestores a nivel laboratorio para la digestión controlada de diferentes residuos orgánicos y medición directa de las variables de interés como producción de biogás, composición de metano, etc. bajo diferentes condiciones experimentales. Método analítico se emplearán técnicas analíticas estandarizadas para la caracterización físico-química de los residuos, como contenido de humedad, sólidos volátiles, relaciones C/N; así como para la determinación de la composición del biogás obtenido mediante cromatografía gaseosa. Método estadístico, los datos experimentales se procesarán aplicando estadística descriptiva, pruebas de hipótesis, análisis de varianza, y metodología de superficie de respuesta con el fin de modelar el proceso e identificar efectos significativos de las variables independientes. Método comparativo los resultados de producción de metano y potenciales eléctricos calculados se contrastarán evaluando diferentes grupos de residuos orgánicos entre sí.

Esta primera etapa es crucial para entender las propiedades de los residuos con los que se trabajará y acondicionarlos de forma adecuada para el biodigestor. Se tomarán muestras representativas de estiércol bobino, estiércol, porcino y de aves, cuantificando sus proporciones relativas. La preparación de muestras de estiércol implica la homogeneización de los diferentes tipos de estiércol y la obtención de muestras representativas que se utilizarán en los biodigestores. La medición precisa de la cantidad de estiércol (M estiercol)

Los biodigestores se llenarán con las muestras de estiércol correspondientes, y se mantendrán condiciones óptimas de temperatura (T) y pH (pH) para favorecer la actividad microbiana. Durante este proceso, se registrará de manera continua la producción de gas metano ( $V_{CH_4}$ ) en cada biodigestor para obtener datos precisos. Se utilizarán sensores de gas para medir la producción de metano en cada biodigestor. La producción de metano se puede calcular como la diferencia en el volumen de gas antes y después de la digestión anaeróbica:

---

$$VCH4 = V_{final} - V_{inicial} \quad (1)$$

Donde:

- $VCH4$  es el volumen de metano producido.
- $V_{final}$  es el volumen de gas al final del proceso.
- $V_{inicial}$  es el volumen de gas al inicio del proceso.

Determinación de Densidad de Energía del Metano:

Se realizarán análisis químicos para determinar la densidad de energía del metano en MJ/m<sup>3</sup> (DCH 4), utilizando un valor típico de 35.8 MJ/m<sup>3</sup> como referencia. Esta información es crucial para cuantificar la energía disponible en forma de metano.

Eficiencia del Biodigestor:

$$E_{biodigestor} = \frac{VCH4}{V_{Total}} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

- $VCH4$  es el volumen de metano producido.
- $V_{total}$  es el volumen total de gas producido.

**Cálculo de Producción Total de Metano:**

La producción total de metano ( $M_{total}$ ) se calculará multiplicando la producción diaria de metano por la cantidad de días de operación ( $D$ ) de los biodigestores:

$$M_{total} = VCH4 \times D \quad (3)$$

**Cálculo de Producción Total de Energía:**

La producción total de energía ( $E_{total}$ ) se obtendrá multiplicando la producción total de metano por la densidad de energía del metano ( $DCH4$ ):

---

$$E_{total} = M_{total} \times DCH4 \quad (4)$$

### **Conversión a Electricidad:**

La conversión de energía a electricidad (*Electricidad*) se calculará utilizando un factor de conversión de MJ a kWh. Factor de conversión de:

$$MJ \text{ a kWh: } 1 \text{ kWh} = 3.6 \text{ MJ} \quad (5)$$

Para llevar a cabo esta investigación, se adquirirán biodigestores experimentales de igual diseño y capacidad (V), se recopilarán muestras de estiércol bovino, porcino y de aves de fuentes confiables, y se instalarán sensores de medición de producción de gas y generación eléctrica en los biodigestores. La elección de materiales y equipos adecuados es esencial para garantizar la precisión y consistencia de los resultados. El registro de datos de volúmenes de biogás, temperatura y composición gaseosa se realizará en una plantilla de Microsoft Excel. Se construirán tablas dinámicas con gráficos comparativos.

### **Análisis de resultados**

La cantidad de estiércol (0.50 kg) utilizada como sustrato en todos los biodigestores se selecciona de manera uniforme para garantizar una carga orgánica consistente. Esta uniformidad es esencial para calcular la Producción Total de Metano (m<sup>3</sup>) de manera precisa, ya que afecta directamente la cantidad de gas metano producido. Además, la calidad y composición del estiércol deben mantenerse constantes para evitar variaciones significativas en la producción de metano.

La producción de metano por unidad de peso de estiércol (0.25–0.35 m<sup>3</sup>/kg) varía ligeramente entre los biodigestores que utilizan diferentes tipos de estiércol. Estas variaciones se deben a las diferencias en la composición química de cada tipo de estiércol. La Producción Total de Metano (m<sup>3</sup>) se calcula multiplicando esta relación por la cantidad de estiércol utilizada.

---

Por lo tanto, mantener esta relación es crucial para determinar cuánto metano se genera en cada sistema.

La densidad de energía del metano ( $35.8 \text{ MJ/m}^3$ ) se considera constante, ya que es una propiedad física del gas. Esta constancia permite calcular con precisión cuánta energía está presente en forma de metano. La Producción Total de Energía (MJ) se obtiene multiplicando la Producción Total de Metano por esta densidad de energía.

La eficiencia del biodigestor (60%) refleja la capacidad del sistema para capturar el metano producido de manera efectiva. Una eficiencia del 60% indica que se retiene en esta proporción del metano generado. Esta eficiencia influye directamente en la cantidad de metano que se convierte en electricidad. Una mayor eficiencia resulta en una mayor Conversión a Electricidad (kWh), lo que significa una generación eléctrica más eficiente.

En conclusión, la Producción Total de Energía (MJ) y su Conversión a Electricidad (kWh) son resultados altamente dependientes de las condiciones establecidas en el diseño experimental. La cantidad de estiércol, la producción de metano por unidad de peso, la densidad de energía del metano y la eficiencia del biodigestor son factores críticos que deben mantenerse constantes y controlados para obtener resultados confiables y comparables. El control riguroso de estas condiciones es esencial para la evaluación precisa del potencial eléctrico de residuos orgánicos y la viabilidad de los biodigestores como fuentes de energía renovable.

---

Tabla 2. Resultados de las mediciones y cálculos

Parámetro	Biodigestor con Estiércol Bovino	Biodigestor con Estiércol Porcino	Biodigestor con Estiércol de Aves	Promedio
Cantidad de Estiércol (kg)	0,5	0,5	0,5	0,5
Producción de Metano (m <sup>3</sup> /kg)	0,25	0,3	0,35	0,3
Densidad de Energía del Metano (MJ/m <sup>3</sup> ) Valor típico	35,8	35,8	35,8	35,8
Eficiencia del Biodigestor (%)	60%	60%	60%	0,6
Producción Total de Metano (m <sup>3</sup> )	0,125	0,15	0,175	0,15
Producción Total de Energía (MJ)	4,475	5,37	6,265	5,37
Conversión a Electricidad (kWh)	1,2431	1,4917	1,7403	1,4917

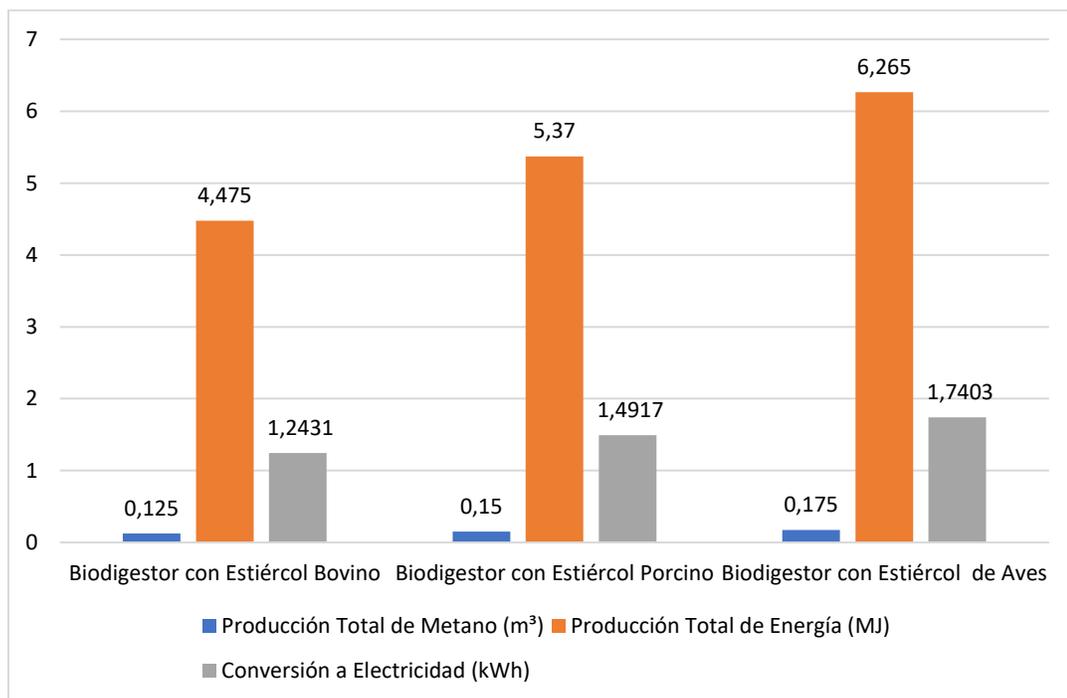
**Nota.** Obtenido de Rodríguez (2022).

El análisis de los datos relacionados con la producción total de metano, producción total de energía y conversión a electricidad en el contexto de la estimación del potencial eléctrico de residuos orgánicos mediante biodigestores experimentales arroja conclusiones significativas. En cuanto a la producción total de metano, se observa que el biodigestor con estiércol de aves supera significativamente a los otros dos biodigestores, con una producción de 0.175 m<sup>3</sup> en comparación con 0.15 m<sup>3</sup> para el biodigestor con estiércol porcino y 0.125 m<sup>3</sup> para el biodigestor con estiércol bovino. Esto indica que el estiércol de aves es la fuente más eficaz para la producción de metano en este estudio.

En lo que respecta a la producción total de energía, se observa una tendencia similar, con el biodigestor que utiliza estiércol de aves generando la mayor cantidad de energía, con 6.265 MJ. Esto contrasta con el biodigestor con estiércol bovino, que genera la menor cantidad de energía, con 4.475 MJ. Estos resultados confirman que el tipo de estiércol utilizado tiene un impacto directo en la producción de energía. En cuanto a la conversión a electricidad, se

encuentra que el biodigestor con estiércol de aves también lidera en este aspecto, con 1.7403 kWh, seguido por el biodigestor con estiércol porcino con 1.4917 kWh y el biodigestor con estiércol bovino con 1.2431 kWh. Esto indica que, aunque el estiércol de aves es la fuente más eficiente en la producción de metano, la eficiencia del proceso de conversión a electricidad también juega un papel crucial en la obtención de energía utilizable.

En resumen, los resultados destacan la importancia de la fuente de estiércol en la producción de metano y energía en biodigestores. Si bien el estiércol de aves muestra un mayor potencial, se debe prestar atención a la eficiencia del biodigestor y a las condiciones operativas para maximizar la conversión de metano en electricidad. Estos datos proporcionan información valiosa para la toma de decisiones en la implementación de sistemas de biodigestión de residuos orgánicos con fines.



**Figura 5.** Análisis de resultados

## Discusión

En primer lugar, la uniformidad en la cantidad de estiércol utilizado se destaca como un factor crítico para garantizar una carga orgánica consistente en todos los biodigestores. Esta práctica se alinea con las recomendaciones de (Mayans & Antón , 2023) que resaltan la importancia de mantener condiciones experimentales estandarizadas para obtener resultados precisos y comparables.

En relación con la producción de metano por unidad de peso de estiércol, según (Tsapekos y otros, 2016) las ligeras variaciones entre los biodigestores que utilizan diferentes tipos de estiércol encuentran respaldo en investigaciones previas que han identificado la composición química del estiércol como un factor determinante. La necesidad de mantener constante la relación de producción de metano por unidad de peso de estiércol se subraya como un requisito esencial para la evaluación precisa del potencial de generación de metano.

La constancia en la densidad de energía del metano, considerada como una propiedad física del gas, coincide con los hallazgos de (Meneses & Velásquez ) han establecido esta propiedad como un parámetro confiable en el cálculo de la generación total de energía. La multiplicación de la Producción Total de Metano por la densidad de energía del metano proporciona resultados consistentes y comparables en términos de generación total de energía.

La eficiencia del biodigestor, representada como un 60% en el artículo de (Frederik y otros, 2021), se encuentra en línea con la literatura existente que sugiere que esta eficiencia puede variar según el diseño y las condiciones operativas. La influencia directa de la eficiencia del biodigestor en la Conversión a Electricidad (kWh) se respalda en estudios que destacan la importancia de optimizar la eficiencia para lograr una generación eléctrica más eficiente y sostenible. Al comparar los resultados específicos de los biodigestores con estiércol de bovino, porcino y de aves con la literatura existente, se destaca la superioridad del estiércol de aves en

---

términos de producción de metano, generación total de energía y conversión a electricidad. Estos hallazgos son consistentes con (Meneses & Velásquez ) que han identificado las características específicas del estiércol de aves como propicias para la producción de biogás.

En conclusión, este estudio proporciona resultados significativos sobre la producción de metano y generación de energía en biodigestores experimentales. Las observaciones realizadas en este trabajo encuentran respaldo en la literatura científica existente, reforzando la importancia de condiciones experimentales controladas y resaltando el papel crucial de la fuente de estiércol en el rendimiento de los biodigestores. Estos hallazgos contribuyen al cuerpo de conocimientos en el ámbito de la biodigestión de residuos orgánicos y ofrecen perspectivas valiosas para la implementación de sistemas sostenibles de generación de energía.

### **Conclusiones**

Recapitulando brevemente, esta investigación se centró en la estimación del potencial eléctrico de residuos orgánicos mediante el uso de biodigestores experimentales a escala de laboratorio. Se realizó la digestión anaerobia controlada de tres tipos de estiércol: bovino, porcino y avícola. Se midieron variables como producción de metano, eficiencia de los biodigestores y generación de energía eléctrica. Este estudio experimental comparativo mediante biodigestores permite confirmar el alto potencial de generación eléctrica a partir de residuos orgánicos como el estiércol. Los resultados obtenidos señalan al estiércol avícola como la fuente más eficiente, con una producción de 0.175 m<sup>3</sup> de metano y una generación eléctrica de 1.7403 kWh en las condiciones analizadas.

Si bien la naturaleza del sustrato orgánico influye decisivamente en la producción de biogás, también la eficiencia en la captura y conversión energética resultan determinantes para obtener la máxima electricidad posible. En tal sentido, el control riguroso de variables como la carga orgánica, el tiempo de retención y la relación carbono/nitrógeno permitiría optimizar la

---

operación de los biodigestores. El escalamiento de estos sistemas a nivel industrial mediante reactores continuos, así como la exploración de co-digestión con otros residuos agropecuarios y agroindustriales, constituyen líneas de investigación recomendadas para ampliar los conocimientos sobre el aprovechamiento integral de la biomasa.

Los resultados obtenidos sientan bases sólidas para continuar avanzando en la implementación de biodigestores como alternativa sostenible para la gestión de residuos orgánicos, con beneficios ambientales tan diversos como la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, la generación de biofertilizantes y la producción de energía renovable.

El desarrollo de esta tecnología podría impulsar modelos de economía circular en el sector agropecuario, donde los desechos dejen de ser un problema para convertirse en oportunidades, en este caso, de autoabastecimiento energético en las mismas granjas y comunidades rurales. Los biodigestores experimentales representan un punto inicial en este camino.

---

### Referencias Bibliográfica

- Asociación Mundial De La Bioenergía. (2022). *GLOBAL BIOENERGY STATISTICS 2022*. World Bioenergy Association. <https://www.worldbioenergy.org/uploads/221223%20WBA%20GBS%202022.pdf>
- BBVA. (11 De Enero De 2023). *Las Renovables Y La Tecnología Como Vía Para Un Futuro De Energía Barata*. (Sostenibilidad Y Banca Responsable) <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/las-renovables-y-la-tecnologia-como-via-para-un-futuro-de-energia-barata/>
- Bertaglio, A. (2020). *Diez Años De Energías Renovables Y No Hemos Hecho Más Que Empezar*. ( Enel) <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/diez-anos-de-energias-renovables-y-no-hemos-hecho-mas-que-empezar>
- Brito, S. (2022). *Propuesta De Un Modelo Y Simulación De Procesos De Digestión Anaerobia Como Agentes De Motivación Y De Aprendizaje En Laboratorios Virtuales*. [https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/119598/1/Propuesta\\_Modelo\\_Simulacion.pdf](https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/119598/1/Propuesta_Modelo_Simulacion.pdf)
- Campaña, M. (1 De Abril De 2022). *El Reciclaje De Desperdicios Orgánicos Regresa En Compost*. (Expreso) <https://www.expreso.ec/quito/reciclaje-desperdicios-organicos-regresa-compost-124720.html>
- Castro , I., Y Rodríguez, M. (2022). Potencial De Producción De Biogás Para Su Aprovechamiento Energético En El Contexto Rural De Manabí. *Ingeniería Energética*, 43(3). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59012022000300062](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012022000300062)
- Coello, S., Gonzalez, Y., Y Rodriguez, B. (2023). Aloración Energética De Los Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos De La Ciudad De Guayaquil Para La Generación De Biogás A Través
-

De Un Biodigestor. *Energía Y Propulsión Marina.*

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.30740.07041>

Condorchem Envitech. (2010). *Valorización Energética De Residuos (Waste To Energy).*

<https://condorchem.com/es/blog/valorizacion-energetica-de-residuos/>

Duharte, W., Odales, L., Álvarez, R., González, L., Y Barrera, E. (2021). Estimación Del Potencial De Biogás A Partir De La Gallinaza. *Revista Cubana De Química*, 54-69.

<https://www.redalyc.org/journal/4435/443566346004/html/>

Evaluación De La Generación De Energía A Partir De La Gasificación De Residuos Sólidos Urbanos En Cochabamba-Bolivia. (2022). *Investigación & Desarrollo*, 22(1).

<https://doi.org/https://doi.org/10.23881/ldupbo.022.1-3i>

Frederik , R., Hafner, S., Y Petersen, S. (2021). Understanding Methane Emission From Stored Animal Manure: A Review To Guide Model Development.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jeq2.20252>

González , A. (2014). *Estudio Técnico-Económico Para La Producción De Biogás A Partir De Residuos Agrícolas Mediante Digestión Anaerobia.* Sevilla: Universidad De Sevilla.

Departamento De Ingeniería Química Y Ambiental.

<https://idus.us.es/handle/11441/27048>

INEC. (2022). *Estadística De Información Ambiental Económica En Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales.* Gestión De Residuos Sólidos 2021.

[https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/encuestas_ambientales/municipios_2021/residuo_solidos_2021/presentaci%C3)

[inec/encuestas\\_ambientales/municipios\\_2021/residuo\\_solidos\\_2021/presentaci%C3%B3n%20residuos%202021%20v07ja\\_CGTP%20\(Rev%20%20CGTPE\)%20\(Rev.%20Dicos\).pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/encuestas_ambientales/municipios_2021/residuo_solidos_2021/presentaci%C3%B3n%20residuos%202021%20v07ja_CGTP%20(Rev%20%20CGTPE)%20(Rev.%20Dicos).pdf)

Jyothilakshmi , R., Y Prakash, S. (2016). Design, Fabrication And Experimentation Of A Small Scale Anaerobic Biodigester For Domestic Biodegradable Solid Waste With Energy

- Recovery And Sizing Calculations. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 749-755.  
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.085>
- Kumar, A., Y Samadder, R. (2017). A Review On Technological Options Of Waste To Energy For Effective Management Of Municipal Solid Waste. *Waste Management*.  
10.1016/j.wasman.2017.08.046
- Machado, J. (5 De Abril De 2022). *Ecuador Es El Tercer País De La Región Que Más Basura Plástica Importa*. <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/desechos-residuos-plasticos-basura-ecuador/>
- Malacatus, P., Marti , J., Pantoja, C., Y Cartuche, N. (2017). Análisis Comparativo Del Potencial De Biogás Obtenido De La Fracción Orgánica De Residuos Sólidos Urbanos. *FIGEMPA: Investigación Y Desarrollo*.  
<https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.69>
- MAPFRE Global Risks. (2021). *Energías Renovables, Tendencias En Latinoamérica*.  
<https://www.mapfreglobalrisks.com/gerencia-riesgos-seguros/articulos/energias-renovables-tendencias-en-latinoamerica/>
- Martínez, M. (2021). Potencial Energético De La Digestión Anaerobia Del Estiércol Del Ganado Vacuno, Porcino Y Avícola En Sonora (México). *LADEE*.  
<https://doi.org/10.17981/ladee.02.02.2021.3>
- Mayans, B., Y Antón , R. (2023). Enhancement Of Methane Production From Livestock Manure With Pre-Treatments Based In Fungi Of Genus Pleurotus. *Elsevier*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953423002003>
- Meneses , O., Y Velásquez , M. (S.F.). Pretreatment Of Animal Manure Biomass To Improve Biogas Production: A Review. *Departamento De Ingeniería Rural Y Agroalimentaria*.  
<https://doi.org/10.3390/en13143573>
- 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/>

Ministerios Del Ambiente. (2015). *Introducción De Biodigestores En Sistemas Agropecuarios En El Ecuador*. Quito. [https://www.Researchgate.Net/Profile/Estefania-Andrade-De-Santiago/Publication/336923423\\_Introduccion\\_De\\_Biodigestores\\_En\\_Sistemas\\_Agropecuarios\\_En\\_El\\_Ecuador/Links/5dbafddba6fdcc2128f56cc3/Introduccion-De-](https://www.Researchgate.Net/Profile/Estefania-Andrade-De-Santiago/Publication/336923423_Introduccion_De_Biodigestores_En_Sistemas_Agropecuarios_En_El_Ecuador/Links/5dbafddba6fdcc2128f56cc3/Introduccion-De-Biodigestores-En-Sistemas-Agropecuarios-En-El-Ecu)

[Biodigestores-En-Sistemas-Agropecuarios-En-El-Ecu](https://www.Researchgate.Net/Profile/Estefania-Andrade-De-Santiago/Publication/336923423_Introduccion_De_Biodigestores_En_Sistemas_Agropecuarios_En_El_Ecuador/Links/5dbafddba6fdcc2128f56cc3/Introduccion-De-Biodigestores-En-Sistemas-Agropecuarios-En-El-Ecu)

Montiel, N., Y Pérez, J. (2019). Generación De Energía A Partir De Residuos Sólidos Urbanos. Estrategias Termodinámicas Para Optimizar El Desempeño De Centrales Térmicas. *Información Tecnológica*, 30(1). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000100273>

Moran, S. (Plan V De 2018). *Basura: Los Números Rojos De Ecuador*. <https://www.Planv.Com.Ec/Historias/Sociedad/Basura-Numeros-Rojos-Ecuador>

Naciones Unidas. (2022). *Acción Por El Clima*. <https://www.Un.Org/Es/Climatechange/Raising-Ambition/Renewable-Energy>

Naciones Unidas. (2022). *Energías Renovables: Energías Para Un Futuro Más Seguro*. <https://www.Un.Org/Es/Climatechange/Raising-Ambition/Renewable-Energy>

ONU. (2021). *Actúa Ahora*. <https://www.Un.Org/Es/Actnow/Facts-And-Figures>

ONU. (27 De Enero De 2021). *Datos Y Cifras*. <https://www.Un.Org/Es/Actnow/Facts-And-Figures>

Palau Estevan, C. (2016). Digestión Anaerobia De Residuos De Biomasa Para La Producción De Biogás. *Departamento De Ingeniería Rural Y Agroalimentaria*.

[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68331/Palau%20-](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68331/Palau%20-%20Digesti%C3%B3n%20anaerobia%20de%20residuos%20de%20biomasa%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s.%20Fundamentos..Pdf?Sequence=1)

[%20Digesti%C3%B3n%20anaerobia%20de%20residuos%20de%20biomasa%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s.%20Fundamentos..Pdf?Sequenc](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68331/Palau%20-%20Digesti%C3%B3n%20anaerobia%20de%20residuos%20de%20biomasa%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s.%20Fundamentos..Pdf?Sequence=1)

[e=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68331/Palau%20-%20Digesti%C3%B3n%20anaerobia%20de%20residuos%20de%20biomasa%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s.%20Fundamentos..Pdf?Sequence=1)

---

Polanía , D., Isaza, F., Y Pérez, Y. (2020). Prefactibilidad De Generación De Electricidad Y Gas A Partir De La Digestión De La Fracción Orgánica De Los Residuos Residenciales En El Municipio De Simijaca. *Escuela De Ingeniería, Ciencia Y Tecnología*.  
<https://Repository.Urosario.Edu.Co/Server/Api/Core/Bitstreams/5c412323-0d54-44ff-Afa6-922088b527e8/Content>

Biblioteca digital, (2014). *Producción De Metano A Partir De La Digestión Anaerobia De Biorresiduos De Origen Municipal*. Cali: Universidad Del Valle.  
<https://Bibliotecadigital.Univalle.Edu.Co/Server/Api/Core/Bitstreams/Bb606cbc-1039-4d73-8778-Bbbf4b234e52/Content>

Programa De Las Naciones Unidas Para El Medio Ambiente UNEP. (3 De Abril De 2019). *We're Gobbling Up The Earth's Resources At An Unsustainable Rate*.  
<https://www.unep.org/news-and-stories/story/were-gobbling-earths-resources-unsustainable-rate>

Reyes, J., Y Barrenechea, S. (2022). Estimación Del Potencial Energético Técnico A Partir De Biomasa Residual Agroindustrial Y Pecuaria En El Perú. *Instituto Tecnológico De La Producción*. <https://revistas.ltp.gob.pe/index.php/ritp/article/view/32/115>

Rodriguez, L. (2022). *La Economía Circular Y La Gestión Integral De Residuos Con Objeto De Valorización Energética: Reflexiones Del Caso Colombiano Y ALEMAN*.  
<https://Bdigital.Uexternado.Edu.Co/Server/Api/Core/Bitstreams/76d9e3f1-674f-437b-Be17-20a6a412b498/Content>

Rodriguez, L. (2022). *La Economía Circular Y La Gestión Integral De Residuos Con Objeto De Valorización Energética: Reflexiones Del Caso Colombiano Y Aleman*. Bogotá.  
<https://Bdigital.Uexternado.Edu.Co/Server/Api/Core/Bitstreams/76d9e3f1-674f-437b-Be17-20a6a412b498/Content>

---

- Sánchez, M., Martillo, Í., Y Fiallo, D. (2020). El Biodigestor Como Medida Ecológica Para La Generación De Gas En Las Empresas De Cría De Animales. <https://doi.org/10.23857/Fipcaec.V5i14.159>
- Sipra, A., Gao, N., Y Sarwar, H. (2018). Municipal Solid Waste (MSW) Pyrolysis For Bio-Fuel Production: A Review Of Effects Of MSW Components And Catalysts. *Fuel Processing Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.02.012>
- Sosa, E. (2022). Alternativas Bioenergéticas De Los Residuos Sólidos Urbanos: Panorama En México. *Revista Latinoamericana De Estudios Socioambientales*. <https://doi.org/10.17141/Letrasverdes.31.2022.5086>
- Suárez, V., López, I., Y Álvarez, M. (2019). Estimación De La Producción De Biogás A Partir De Un Modelo De Simulación De Procesos. *Centro Azúcar*. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612019000100073](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612019000100073)
- Toro, E., Szantó Narea, M., Pacheco, J., Contreras, E., Y Gálvez, A. (2016). *Guía General Para La Gestión De Residuos Sólidos Domiciliarios*. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/A5f80abc-8063-4e19-B871-E954f1db5bf6/content>
- Tsapekos, P., Paniogitis, G., Y Frison, A. (2016). Improving Methane Production From Digested Manure Biofibers By Mechanical And Thermal Alkaline Pretreatment. *Bioresource Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.117>
- Tuchin, F. (2023). *Producir Energía A Partir De Residuos Orgánicos: Tres Proyectos De América Latina*. (Revista Haz) <https://hazrevista.org/innovacion-social/2023/07/Producir-Energia-Residuos-Organicos-Tres-Proyectos-America-Latina/>
- UNEP. (2022). *Our Planet Is Choking On Plastic*. <https://www.unep.org/interactives/beat-plastic-pollution/>
- UNEP. (2023). *Solid Waste Management*. <https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/solid-waste-management>
-

Unidad Editorial Información General. (2020). *Biogás: Residuos Orgánicos Que Se Transforman En Energía*. <https://Energiaeinnovacion.Expansion.Com/Biogas-Residuos-Organicos-Que-Se-Transforman-En-Energia>

Valorización Energética De Residuos Orgánicos Mediante Pirolisis. (2021). *Rev. De Investig. Agroproducción Sustentable*, 5(2), 26-36.  
<https://Revistas.Untrm.Edu.Pe/Index.Php/INDESDOS/Article/View/766/1115>

Varnero, M. (2011). *Manual De Biogás*. Santiago De Chile: FAO.

Villa, M. (2023). *Los Residuos Orgánicos Se Pueden Aprovechar Para La Producción De Mejoradores De Suelos Y Fertilizantes Orgánicos Como Paso Hacia Procesos De Producción Orgánica Y Economía Circular*. <https://Dialoguemos.Ec/2023/02/Los-Desechos-Organicos-Mejoran-La-Calidad-Del-Suelo-Pero-En-Ecuador-No-Se-Aprovechan/>

Wang , X., Hong, Y., Y Xiaoya, L. (2023). The Effect Of Different Sludge Pretreatment Methods On Microalgae Performance And The Release Of Pollutants In Hydrolysis Acidification Solutions. *Urban Wastewater Treatment And Resource Utilization Based On Microalgae*. <https://Doi.Org/https://Doi.Org/10.3390/W15162873>

---