

## Energy analysis of excreta in the Portoviejo oxidation lagoon for biogas generation

### Análisis energético de excretas en la laguna de oxidación de Portoviejo para la generación de biogás

**Autores:**

Ing. Zevallos-Cobeña, José Gregorio  
Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Posgrado  
Maestrante del Programa en Mecánica, Mención Eficiencia Energética  
Portoviejo – Ecuador



[jose.zevallos@utm.edu.ec](mailto:jose.zevallos@utm.edu.ec)



<https://orcid.org/0000-0003-3460-3902>

Ing. Lenin-Julián, Pita Cantos, PhD.  
Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Posgrado  
Tutor del Programa en Mecánica, Mención Eficiencia Energética  
Portoviejo – Ecuador



[lenin.pita@utm.edu.ec](mailto:lenin.pita@utm.edu.ec)



<https://orcid.org/0000-0002-1468-615X>

Fechas de recepción: 05-OCT-2023 aceptación: 08-DIC-2023 publicación: 15-DIC-2023



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>



## Resumen

La evaluación energética de excretas en la poza de oxidación de Portoviejo permitió determinar su potencial en la producción de biogás. Este estudio considera que estos desechos pueden convertirse en una valiosa fuente de energía renovable. El objetivo principal se basó en seleccionar una metodología que permitiera calcular teóricamente la cantidad de metano producido por las excretas y posteriormente analizar su viabilidad energética y económica. La metodología empleada consistió en llevar a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con la producción de biogás a partir de excretas y la gestión de pozas de oxidación, después se recopiló datos existentes sobre la cantidad de excretas generadas en la poza de oxidación de Portoviejo y su composición química en base a instrumentos de investigación, posteriormente se empleó el modelo de Buswell para estimar el potencial de producción de biogás a partir de las excretas disponibles, incluyendo la cantidad de metano que podría generarse y la energía equivalente, seguidamente se llevó a cabo un análisis teórico de costos - beneficios, así como de los impactos ambientales asociados con la producción de biogás a partir de las excretas. Por último, los resultados muestran que para el año 2022 de acuerdo a la población rural de Portoviejo de 235735 habitantes el metano anual producido por 53040.375 excretas es de 602637.265 m<sup>3</sup> mismo que genera un potencial para la combustión de 3615823.590 KWh y un potencial eléctrico generado de 1084747.077 KWh, estableciendo un potencial económico de \$ 99796.731 al año.

**Palabras clave:** Buswell, Metano, Sostenibilidad, Ambiente, Renovable.

## Abstract

The energy evaluation of excreta in the Portoviejo oxidation pond allowed us to determine its potential for biogas production. This study considers that these wastes can become a valuable source of renewable energy. The main objective was to select a methodology to theoretically calculate the amount of methane produced by the excreta and then analyze its energetic and economic feasibility. The methodology used consisted in carrying out an exhaustive review of the scientific and technical literature related to the production of biogas from excreta and the management of oxidation ponds, then existing data on the amount of excreta generated in the Portoviejo oxidation pond and its chemical composition were compiled based on research instruments, The Buswell model was then used to estimate the potential for biogas production from the available excreta, including the amount of methane that could be generated and the equivalent energy, followed by a theoretical cost-benefit analysis, as well as the environmental impacts associated with the production of biogas from excreta. Finally, the results show that for the year 2022, according to Portoviejo's rural population of 235735 inhabitants, the annual methane produced by 53040,375 excreta is 602637,265 m<sup>3</sup>, which generates an electric potential for combustion of 3615823,590 KWh and an electric potential generated of 1084747,077 KWh, establishing an economic potential of \$ 99796,731 per year.

**Keywords:** Buswell, Methane, Sustainability, Environment, Renewable.

## Introducción

El biogás, un producto de la digestión aerobia y anaeróbica, es una mezcla de gases compuesta principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), con un contenido de metano que generalmente oscila entre el 50% y el 70%, mientras que el  $\text{CO}_2$  se encuentra en concentraciones entre el 30% y el 50%. La proporción exacta de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  en el biogás depende de varios factores, como la naturaleza del material de partida y el Ph del reactor en el que se produce (Van, K et al. 2020).

El uso del biogás no se limita únicamente a la generación de electricidad, ya que también se puede utilizar para la generación de calor a través de la combustión (Ning, X et al. 2021). Este calor tiene diversas aplicaciones, como calefacción, producción de agua caliente, incineración de desechos médicos, secado de forraje y uso en calentadores, cocinas de gas, lámparas o quemadores estufas, tanto a nivel industrial como doméstico (Zhao, W. 2021).

La generación de electricidad a partir del biogás es una de las aplicaciones más interesantes y prometedoras. Esto se puede lograr mediante motores de combustión que están conectados a generadores de electricidad, mediante turbinas o microturbinas de gas y utilizando pilas de combustible estacionarias (Wu, L et al. 2021). Además de la generación de electricidad, el concepto de cogeneración es relevante, ya que aprovecha el calor generado durante el proceso de producción eléctrica para otros fines.

La determinación del potencial teórico del biogás es esencial para diseñar procesos óptimos y evaluar la viabilidad económica de los proyectos (Novotny, V. 2022). Existen diversas aplicaciones de la biometanización, que es el proceso de generación de biogás a partir de materia orgánica, incluyendo aguas residuales, lodos y residuos sólidos.

La medición precisa del contenido de metano en el biogás es esencial para evaluar su calidad y potencial energético. Esto se puede lograr mediante el método de desplazamiento de columna, que es económico, pero menos preciso, o a través del uso de cromatógrafos, que ofrecen mediciones precisas, pero son más costosas (Verma, M et al. 2022). Es recomendable emplear el método de Buswell para realizar cálculos relacionados a evaluaciones de biogás en lagunas de oxidación y posteriormente sus comparativos con otros tipos de energía y valores económicos (Linares, L et al. 2017).

El aprovechamiento de excretas humanas para la generación de biogás es una práctica antigua pero aún relevante. En el interior de los intestinos humanos, existen bacterias metanogénicas que pueden producir metano a partir de sustratos orgánicos (Doreswamy, R et al. 2021). A pesar de que existen cuestionamientos sobre la viabilidad de proyectos a gran escala que utilizan excretas humanas, se estima que estas tienen un potencial energético significativo. La humanidad genera alrededor de 300 millones de toneladas de heces cada año, y esta materia orgánica tiene el potencial de generar electricidad para 138 millones de hogares (Posso, F et al. 2020).

En cuanto al valor energético del biogás generado a partir de excretas humanas, es considerable. Un metro cúbico de biogás con un contenido de metano del 60% equivale a 0.7

litros de gasolina o 1.80 KWh de electricidad. Además, la generación de electricidad a partir de biogás en lugar de diésel reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> en 0.34 Kg por cada KWh producido. Esto hace que el biogás generado a partir de excretas humanas sea una fuente de energía valiosa y respetuosa con el medio ambiente (Yahav, R et al. 2023).

En Ecuador, se fomenta el aprovechamiento energético de residuos agrícolas, agroindustriales, pecuarios y residuos domiciliarios mediante el uso de biodigestores para la producción de biogás. El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable lidera el Programa Nacional de Construcción de Biodigestores. A pesar de que existen instalaciones de biodigestores en el país, especialmente en áreas rurales, aún no se ha evaluado completamente el potencial económico y comercial de la producción de biogás (Espinoza, V et al. 2022).

La planta de tratamiento de aguas residuales de Portoviejo, en Ecuador, es un ejemplo de un sistema de tratamiento que podría beneficiar enormemente del aprovechamiento de excretas humanas para la generación de biogás. Esta planta cuenta con lagunas de estabilización que tratan aguas residuales, pero actualmente no se realiza un tratamiento óptimo de los desechos, lo que resulta en la acumulación de grandes cantidades de materia fecal (San Andres, A. 2021).

En cuanto a la investigación una vez llevado a cabo la revisión bibliográfica de las excretas humanas, sus características energéticas y su aplicación en el uso de la producción de biogás, se establecerá una metodología de cálculo (Buswell) para determinar el potencial del metano producido por excretas humanas en la laguna de oxidación de la ciudad de Portoviejo así como su potencial para la combustión, potencial eléctrico generado y potencial económico generado, con el objetivo de determinar el beneficio en la planta de tratamientos de aguas residuales del Cantón Portoviejo en cuanto a economía y fines energéticos.

## Materiales y métodos

Para determinar el cálculo del potencial de una laguna de oxidación, es necesario la obtención de información de dicho lugar, identificando parámetros que intervienen directamente en la producción de biogás que por lo general se representa por la masa o materia prima “excretas”. En la figura 1 se observa las técnicas e instrumentos necesarios para la recolección de la base de datos acorde a las variables antes mencionadas.

**Figura 1**

Resumen general de técnicas e instrumentos para la recolección de datos

<b>Variable</b>	<b>Instrumento</b>
Cantidad de excretas.	Entrevista.
Cantidad de Biogás.	Ficha de cumplimiento y archivo.
Potencial Energético para la combustión.	Lista de chequeo.
Potencial Eléctrico generado.	Análisis de documento.
Potencial Económico generado.	Ficha de observación.
	Cálculo de Buswell.



Fuente: Elaboración propia del autor.

La investigación realizada, inicialmente es de tipo cualitativa ya que se busca investigar lo referente al uso de las excretas que llegan a la poza de oxidación así como también el tratamiento que se les da a las mismas, también se aplica la investigación de tipo cuantitativa al querer obtener información sobre la cantidad de excretas que llegan a la laguna de oxidación, así como también de tomar en consideración ciertos factores que relacionan la cantidad de materia en base sólida que será la considerada para realizar el análisis y cálculo para la determinación del potencial. Se utilizaron como técnicas para la recolección de datos en la presente investigación: la observación, entrevista, revisión y análisis de documentos.

## **Materiales**

**Observación Directa:** Se realizó la observación directa a través de las visitas programadas para alcanzar obtener información acerca de las áreas de la laguna de oxidación, como se encuentra distribuida la misma, tratamientos, excretas que llegan y demás procesos que se cumplen en dicho lugar.

**Entrevista:** Se aplicó una entrevista al personal del laboratorio de la PTAR y PORTOAGUAS en relación al tiempo de permanencia de las excretas características de la laguna de oxidación con información referente a la base de datos de la materia que interactúa en la poza.

**Análisis de documento:** Se aplicó esta técnica a través de una visita programada que accedió a obtener información de la laguna de oxidación pertinente para la investigación. Como instrumento de recolección de datos se utilizaron la lista de chequeo, ficha de cumplimiento y archivo para los diferentes procesos en la poza de oxidación, y ficha de observación.

## **Métodos**

### **Metodología de Buswell para calcular el valor energético del biogás de una laguna de oxidación**

Buswell representa una alternativa altamente confiable para establecer análisis en lagunas de oxidación y obtener resultados que evalúen energéticamente las misma (Y. Liu et al., 2023).

El valor total de las excretas humanas para una laguna de oxidación considerando la población conectada a la misma, se puede establecer a partir de la ecuación 1.



$$Ex_T = N * m_{Ex} \quad [Ec. 1]$$

Donde:

$Ex_T$  = Excretas totales diarias, Kg

$N$  = Número de habitantes

$m_{Ex}$  = Masa de las excretas, Kg

Las bases en estado húmedo y seco para las excretas humanas es de 77% y 23%, estableciendo que en el cálculo se utiliza únicamente la materia en estado seco mediante la ecuación 2.

$$m_s = Ex_T * 23\% \quad [Ec. 2]$$

Donde:

$m_s$  = Materia seca de excretas, Kg

Dentro de la materia seca, el porcentaje orgánico o biomasa es el que realmente genera biogás, por lo tanto, cabe señalar que la materia seca posee 95% de materia orgánica y se puede calcular mediante la ecuación 3.

$$m_B = m_s * 95\% \quad [Ec. 3]$$

Donde:

$m_B$  = Materia orgánica, Kg

Referente al proceso de la descomposición, el total de carbono presente en la excreta contribuye al 24%, puede ser calculado mediante la ecuación 4.

$$m_C = m_B * 24\% \quad [Ec. 4]$$

Donde:

$m_C$  = Masa del carbono en las excretas, Kg

El Carbono biodegradado puede llegar hasta el 60% del mismo y es posible calcularlo a través de la ecuación 5.

$$m_{CD} = m_C * 60\% \quad [Ec. 5]$$

Donde:

$m_{CD}$  = Masa del carbono biodegradado, Kg

Para la conversión y transformación de Carbono a Metano  $CH_4 - C$  es necesario usar el 53% de carbono biodegradado como equivalente correspondiente a los valores para excretas humanas (Linares Lujan et al., 2017). Se evalúa por medio de la ecuación 6.

$$m_{MC} = m_{CD} * 53\% \quad [Ec. 6]$$

Donde:

$m_{MC}$  = Masa de transformación carbono a metano, Kg



El biogás para uso con fines de energía se logra mediante la aplicación de la relación de masas molares del metano (16 CH<sub>4</sub>) y el carbono (12C), obteniendo el resultado mediante la ecuación 7.

$$m_{CH_4} = m_{MC} * \left( \frac{16 CH_4}{12 C} \right) \quad [\text{Ec. 7}]$$

Donde:

$m_{CH_4}$  = Masa del metano energético, Kg

Dentro de los parámetros del potencial económico, se considera necesario llevar los valores del metano a términos de volumen mediante la ecuación 8. Considerando para cualquier gas en condiciones normales 1 mol = 22.4 Lt y 16 gr CH<sub>4</sub>=22.4 Lt = 0.0224 m<sup>3</sup>.

$$mv_{CH_4} = m_{MC} * \left( \frac{22.4}{0.016} \right) \quad [\text{Ec. 8}]$$

Donde:

$mv_{CH_4}$  = Volumen del metano, m<sup>3</sup>

La energía en bruto de la conversión del biogás, es posible calcularla con la ecuación 9 que se muestra a continuación:

$$E_B = CE_{CH_4} * mv_{CH_4} \quad [\text{Ec. 9}]$$

Donde:

$E_B$  = Potencial energético para la combustión,  $\frac{KWh}{año}$

$CE_{CH_4}$  = Contenido energético del metano,  $6 \frac{KWh}{m^3}$

Una vez establecido el valor total de la energía del biogás, es posible calcular el potencial eléctrico generado a partir de la ecuación 10:

$$\mathcal{E}_B = E_B * \eta \quad [\text{Ec. 10}]$$

Donde:

$\mathcal{E}_B$  = Potencial eléctrico generado,  $\frac{KWh}{año}$

$\eta$  = Eficiencia global de la conversión de biogás a electricidad (30%)

La eficiencia total en la conversión de biogás a electricidad se sitúa en un rango de entre el 35% y el 42%. Cuando se trata de plantas de energía con sistemas de turbinas de gran tamaño o generadores pequeños, se considera una eficiencia del 25%, sin embargo es recomendable utilizar un valor porcentual del 30% como una referencia adecuada en estos casos (T. Liu et al., 2023).

Para la obtención del potencial económico generado es posible obtenerlo mediante la ecuación 11.

$$P_E = \mathcal{E}_B * D \quad [\text{Ec. 11}]$$

Donde:

$$P_E = \text{Potencial económico generado}, \frac{\text{US \$}}{\text{año}}$$
$$D = \text{Costo de la energía eléctrica}, \frac{\text{\$}}{\text{KWh}}$$

## Resultados y Discusión

El Cantón Portoviejo, de acuerdo con los datos del censo de Ecuador en 2022, alberga un total de 322925 habitantes. Dentro de su demografía, el sector urbano emerge como la principal concentración poblacional, abarcando el 73% del total, lo que se traduce en 235735 habitantes.

En la tabla 1 se muestra la población total, urbana y rural de Portoviejo de los años 2017 hasta el 2022, así como la proyección hasta el año 2028.

**Tabla 1.**

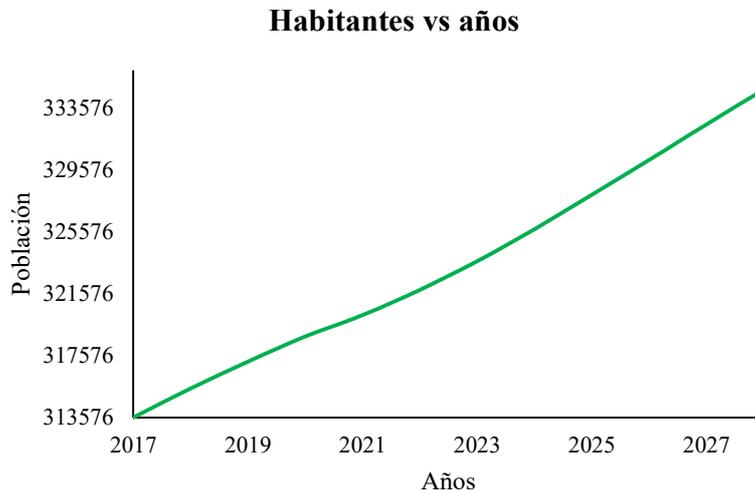
Población de Portoviejo para los años 2017 - 2028.

Año	Población	Zona Urbana	Zona Rural
2017	313576	228910	84666
2018	315444	230274	85170
2019	317185	231545	85640
2020	318800	232724	86076
2021	320185	233735	86450
2022	322925	235735	87190
2023	324564	236932	87632
2024	326642	238449	88193
2025	328868	240074	88794
2026	330958	241599	89359
2027	332915	243028	89887
2028	334736	244357	90379

Fuente: Elaboración propia.

Considerando los resultados de la tabla 1 con relación a la cantidad de habitantes del Cantón Portoviejo, en la figura 2 se muestra la evolución poblacional hasta el año 2028.

**Figura 2.**  
Crecimiento poblacional de habitantes de Portoviejo años 2017 - 2028



Fuente: Elaboración propia

La figura 2 muestra el crecimiento poblacional en la ciudad de Portoviejo donde se aprecia un pequeño desnivel entre el año 2020 – 2021, mismo que representa el punto crítico de las defunciones producidas por la pandemia del Covid-19.

### Excretas

La tabla 2 muestra una visión detallada de la complejidad y diversidad de los elementos constituyentes de la excreta humana y excretas de varios animales comúnmente estudiados para temas de biogás proporcionando una base analítica para abordar su gestión de manera efectiva.

**Tabla 2.**  
Comparación de la producción de biogás a partir de diferentes fuentes.

Fuente	Excreta (Kg/día)	% Agua	% Materia seca	Biogás (m <sup>3</sup> /Kg materia seca)
Ganado bobino	20 - 30 (28)	80	20	0.023 - 0.040
Ganado bobino Holstein	20 - 30 (28)	80	20	0.023 - 0.040
Ganado equino	18 - 25 (22)	71	29	0.020 - 0.035
Ganado avícola	0,15 - 0,20 (0,18)	74	26	0.065 - 0.116

Ganado porcino	3 - 4 (3.50)	67	33	0.040 - 0.059
Humanos	0.10 – 0.50 (0.225)	77	23	0.020 - 0.028

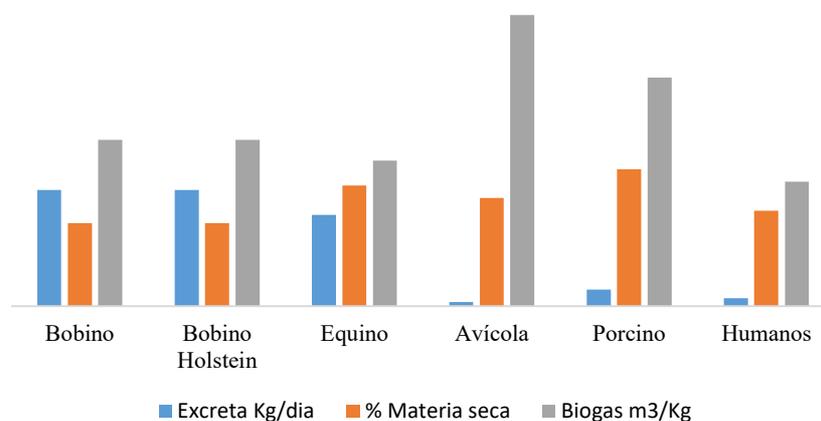
**Fuente:** Tomado de Linares Lujan, 2017. Elaboración propia

En base a la tabla 2, en la figura 3 se aprecia la comparación de cantidad de biogás generado por cantidad de materia seca de las excretas humanas y de otras fuentes de animales.

**Figura 3.**

Comparativa de la generación de biogás con excretas de diferentes fuentes.

### Comparación de excretas y biogás generado



**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 3 se observa que, en términos de producción de excretas diarias, los humanos ocupan el penúltimo lugar, superando solo al ganado avícola entre los grupos de animales comparados. Además, en cuanto al porcentaje de materia seca de las excretas, los desechos humanos se sitúan en el cuarto puesto, superando a los ganados bovinos. En relación con la generación de biogás a partir del porcentaje de sustancia seca de las excretas, el grupo humano se equipara con la mayoría de los otros grupos, destacando que, en entornos urbanos, las excretas humanas sobresalen debido al menor número de animales en comparación. Adicionalmente, las plantas de tratamiento de aguas residuales representan una oportunidad para aprovechar la producción de biogás.

### Cálculo de Buswell

La tabla 3 muestra un resumen general de la cantidad de metano con fines energéticos obtenido a partir de las excretas producidas por 235735 habitantes de la zona urbana de la ciudad de Portoviejo en el año 2022.

**Tabla 3.**

Proceso de obtención de metano a partir de excretas humanas.

Proceso de obtención de CH <sub>4</sub>	Porcentaje (%)	Cantidad (Kg)
Excretas humanas	100	53040.375
Materia seca	23	12199.286
Materia orgánica	95	11589.322
Carbono	24	2781.437
Carbono biodegradado	60	1668.862
Carbono - Metano	53	884.497
Metano CH <sub>4</sub> /12C	16	1179.329

**Fuente:** Elaboración propia

Según la tabla 3, resulta notable que los niveles de metano, aunque comparativamente pequeños con respecto a la masa de las excretas humanas iniciales, desempeñan un papel crucial al ser aprovechados para fines energéticos. En última instancia, se destaca que, además de su potencial como fuente de energía, el porcentaje húmedo de las excretas humanas puede ser aprovechado para otros fines valiosos, como fertilizantes y abonos.

La tabla 4, muestra los resultados generales para los años del 2017 hasta el 2028 de la evaluación energética de la PTAR de Portoviejo a partir del cálculo por la metodología de Buswell. El mismo determinó teóricamente para la planta de tratamiento de aguas residuales de Portoviejo el potencial de biogás producido en cuanto al volumen anual, el valor equivalente al potencial energético para la combustión, potencial eléctrico generado y el potencial económico.

**Tabla 4.**

Resultados generales de la evaluación energética de la PTAR de Portoviejo 2017 - 2028

Año	Población urbana	Metano (m <sup>3</sup> /año)	Potencial energético para la combustión (KWh/año)	Potencial eléctrico generado (KWh/año)	Potencial económico generado (\$/ año)
2017	228910	585189.710	3511138.261	1053341.478	96907.416
2018	230274	588676.665	3532059.988	1059617.997	97484.855
2019	231545	591925.872	3551555.234	1065466.57	98022.924
2020	232724	594939.890	3569639.337	1070891.801	98522.046
2021	233735	597524.428	3585146.571	1075543.971	98950.045
2022	235735	602637.265	3615823.590	1084747.077	99796.731
2023	236932	605694.728	3634168.370	1090250.511	100303.047
2024	238449	609570.213	3657421.275	1097226.383	100944.827
2025	240074	613721.754	3682330.522	1104699.157	101632.322
2026	241599	617617.622	3705705.732	1111711.720	102277.478

2027	243028	621268.046	3727608.278	1118282.483	102881.988
2028	244357	624662.804	3747976.826	1124393.048	103444.160

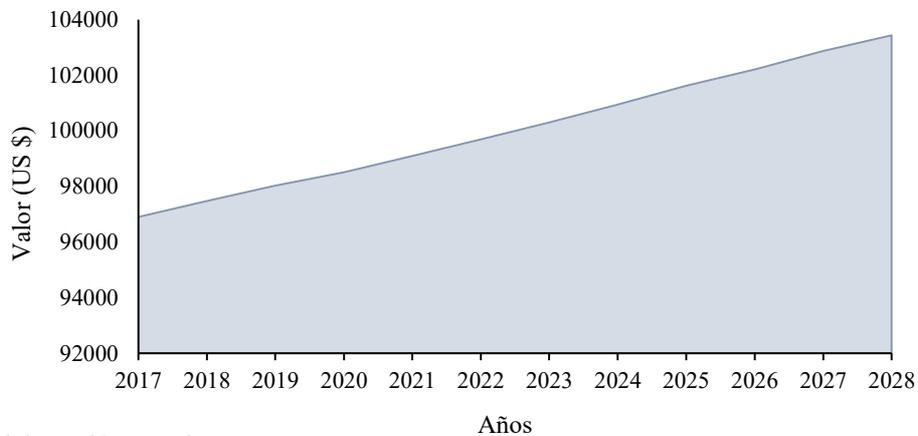
**Fuente:** Elaboración propia

En base a lo anterior, la figura 4 muestra el crecimiento del potencial económico generado para los años 2017 hasta el 2028.

**Figura 4.**

Crecimiento del potencial económico generado por las excretas de la PTAR de Portoviejo

**Potencial económico vs años**



**Fuente:** Elaboración propia

El aumento a través de los años del valor económico generado por el biogás, subraya la capacidad de las excretas humanas para producir metano, debido a la acción de bacterias anaeróbicas fecales, el potencial de este recurso es abundante pero subestimado como una fuente viable de energía renovable. Este enfoque no solo aborda la problemática del manejo adecuado de desechos humanos, sino que también ofrece una alternativa sostenible para la producción de energía, contribuyendo así a la diversificación de las fuentes energéticas y a la reducción de la dependencia de combustibles fósiles.

**Conclusiones**

Respecto a la evaluación energética del biogás producido por residuos orgánicos de la laguna de oxidación de la ciudad de Portoviejo, se establece que dicha evaluación buscó aprovechar de manera sostenible los recursos orgánicos disponibles en la planta de tratamiento de aguas residuales para la generación de energía renovable y reducir la contaminación ambiental, implicando reconocer la importancia de buscar alternativas limpias y eficientes para la gestión de residuos orgánicos, especialmente en un contexto agroindustrial donde la demanda de energía es significativa. La valoración energética del biogás que se calculó, brinda una alternativa de viabilidad como fuente de energía, lo que

podría contribuir a la reducción de costos operativos en el sector agroindustrial y, al mismo tiempo, disminuir la huella de carbono.

La realización de un estudio del arte sobre la producción de biogás a partir de excretas, abordando métodos, tecnologías, evaluación energética y el potencial de fosas de oxidación, se revela como un paso esencial para comprender y aprovechar plenamente el potencial de esta fuente de energía renovable, proporcionando una base sólida de conocimiento que orientará el desarrollo sostenible, identificará oportunidades y desafíos, y contribuirá a la gestión eficiente de recursos y la reducción de la huella ambiental en el campo de la producción de biogás.

La implementación exitosa de la metodología de cálculo basada en la técnica de Buswell para determinar el potencial energético del biogás generado a partir de las excretas de la poza de oxidación de Portoviejo representa un logro fundamental. Esta metodología no solo ha demostrado su eficacia en cumplir con el objetivo propuesto, sino que también ha enriquecido significativamente el estudio al proporcionar una base sólida y confiable para evaluar y aprovechar de manera óptima el recurso de biogás en este contexto específico, sentando las bases fundamentales para avances en la gestión sostenible de residuos orgánicos y la generación de energía renovable.

La determinación del potencial económico generado a partir del biogás producido por las excretas de la poza de oxidación de Portoviejo, ha resultado ser una contribución valiosa para la ciudad y el país, con un cálculo que arroja un valor anual para el año 2022 de \$99796.731 donde la población urbana corresponde a 235735. Así mismo se obtuvieron resultados de metano con un valor de 602637.265 m<sup>3</sup> que genera un potencial energético para la combustión de 3615823.590 KWh y un potencial eléctrico generado de 1084747.077 KWh, demostrando viabilidad y capacidad para generar ingresos adicionales mientras se promueven prácticas sostenibles y responsables con el medio ambiente en la gestión de los recursos orgánicos.

## Recomendaciones

Considerar la asignación de un presupuesto adecuado y sostenible para la planificación, desarrollo y ejecución de un proyecto de energía renovable que aproveche la laguna de oxidación de Portoviejo. Dada la evidencia del potencial energético significativo de esta fuente, contar con los recursos financieros necesarios garantizará la implementación exitosa del proyecto, lo que beneficiará tanto a la ciudad como al entorno, contribuyendo a la reducción de costos operativos, la generación de ingresos sostenibles y la promoción de prácticas amigables con el medio ambiente

Fomentar la colaboración con otras instituciones o entidades interesadas en la producción de energía renovable y la gestión de residuos ya que podría ser beneficiosa. Esto no solo puede ayudar en la realización de proyectos conjuntos, sino que también puede facilitar la implementación de planes piloto o iniciativas prácticas basadas en excretas humanas y generación de biogás.

Contemplar la posibilidad de establecer un laboratorio especializado en el análisis de excretas humanas con el propósito de utilizarlas como fuente para la producción de biogás en la ciudad. Además, se sugiere promover los subproductos resultantes, como abonos, como parte de una recomendación para aprovechar de manera sostenible los recursos y contribuir al desarrollo ambientalmente consciente de la comunidad.

### Referencias bibliográficas

- Doreswamy, R., Deb, R., & De, S. (2021). Potential use of piggery excreta as a viable source of bioethanol production. *Journal of Cleaner Production*, 316, 128246. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128246>
- Espinoza, V. S., Fontalvo, J., Martí-Herrero, J., Miguel, L. J., & Mediavilla, M. (2022). Analysis of energy future pathways for Ecuador facing the prospects of oil availability using a system dynamics model. Is degrowth inevitable? *Energy*, 259, 124963. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124963>
- Linares Lujan, G. A., Echeverria-Perez, C., & Cespedes-Aguilar, T. (2017). Potencial energético de la zona rural del Departam&o de La Libertad (Perú) producido por biogas obtenido de excretas humanas. *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 108-117. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3415>
- Ning, X., Lin, R., O'Shea, R., Wall, D., Deng, C., Wu, B., & Murphy, J. D. (2021). Emerging bioelectrochemical technologies for biogas production and upgrading in cascading circular bioenergy systems. *iScience*, 24(9), 102998. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102998>
- Novotny, V. (2022). From biogas-to hydrogen – Based integrated urban water, energy and waste solids system—Quest towards decarbonization. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(19), 10508-10530. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.01.085>
- Posso, F., Siguencia, J., & Narváez, R. (2020). Residual biomass-based hydrogen production: Potential and possible uses in Ecuador. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(26), 13717-13725. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.09.235>
- San Andres, A. (2021). *Análisis del entorno a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del cantón Portoviejo*. Universidad San Gregorio de Portoviejo. <http://repositorio.sangregorio.edu.ec/bitstream/123456789/1858/1/ARQ-C2021-02.pdf>
- Van der Kooij, S., van Vliet, B. J. M., Stomph, T. J., Sutton, N. B., Anten, N. P. R., & Hoffland, E. (2020). Phosphorus recovered from human excreta: A socio-ecological-technical approach to phosphorus recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 157, 104744. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104744>
- Verma, M., Verma, M. K., Singh, V., Singh, J., Singh, V., & Mishra, V. (2022). Advancements in applicability of microbial fuel cell for energy recovery from human

- waste. *Bioresource Technology Reports*, 17, 100978.  
<https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.100978>
- Wu, L., Wei, W., Song, L., Woźniak-Karczewska, M., Chrzanowski, Ł., & Ni, B.-J. (2021). Upgrading biogas produced in anaerobic digestion: Biological removal and bioconversion of CO<sub>2</sub> in biogas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111448. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111448>
- Yahav Spitzer, R., Belete, Y. Z., Johnson, H. A., Kolusheva, S., Mau, V., & Gross, A. (2023). Hydrothermal carbonization reaction severity as an indicator of human-excreta-derived hydrochar properties and its combustion. *Science of The Total Environment*, 872, 162176. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162176>
- Zhao, W., Yang, H., He, S., Zhao, Q., & Wei, L. (2021). A review of biochar in anaerobic digestion to improve biogas production: Performances, mechanisms and economic assessments. *Bioresource Technology*, 341, 125797. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125797>

**Conflicto de intereses:**

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

**Financiamiento:**

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

**Agradecimiento:**

N/A

**Nota:**

El artículo no es producto de una publicación anterior.