



**VALIDACIÓN DEL RENDIMIENTO DE BIOGÁS Y BIOFERTILIZANTE
EN UN BIODIGESTOR CASERO TIPO BATCH ALIMENTADO CON
RESIDUOS PORCINOS**

*PERFORMANCE VALIDATION OF A BIODIGESTER AND RESULTS OF
ITS APPLICATION*

VALIDACIÓN DEL RENDIMIENTO DE BIOGÁS Y BIOFERTILIZANTE EN UN BIODIGESTOR CASERO TIPO BATCH ALIMENTADO CON RESIDUOS PORCINOS *PERFORMANCE VALIDATION OF A BIODIGESTER AND RESULTS OF ITS APPLICATION*

José Misael Vélez Urbano ¹,
Jhon Henry González Guevara ²,
Ángel Jonathan Galarza López ³,
Raúl Rodrigo Prado Paucay ⁴,

¹ Instituto Ismael Pérez Pazmiño, Ecuador, jose.velez@instipp.edu.ec

² Instituto Ismael Pérez Pazmiño, Ecuador, jhon.gonzalez@instipp.edu.ec

³ Instituto Ismael Pérez Pazmiño, Ecuador, angel.galarza@instipp.edu.ec

⁴ Instituto Ismael Pérez Pazmiño, Ecuador, raul.prado@instipp.edu.ec

RESUMEN

El aprovechamiento energético de residuos orgánicos mediante biodigestores representa una estrategia efectiva para la gestión ambiental en unidades de producción animal. Esta investigación tuvo como objetivo validar el rendimiento de un biodigestor casero tipo batch de 200 litros de carga única, operado al 75 % de su capacidad útil, para el tratamiento de excretas porcinas. El estudio se realizó en la finca Sol y Paz, parroquia Chaguana, ciudad de Pasaje-Ecuador. Se empleó una mezcla de 37,5 kg de estiércol porcino con 112,5 litros de agua, bajo condiciones de digestión anaeróbica durante 50 días. Las variables evaluadas fueron: cantidad total de biogás producido y el peso del biofertilizante generado. Finalizado el ciclo, se obtuvo un volumen estimado de 5,625 m³ de biogás, lo que equivale a 14 horas de uso energético continuo en una cocina doméstica. Asimismo, se generaron aproximadamente 31,1 kg de biofertilizante, lo que representa una alternativa viable para su aplicación agrícola. Aunque la investigación no incluye análisis de composición de biogás ni réplicas, los resultados evidencian el potencial técnico y ambiental del biodigestor casero como solución sustentable y replicable en sistemas agropecuarios familiares, promoviendo el reciclaje de residuos y la generación de insumos útiles para el autoconsumo rural.

Palabras clave: Biodigestor, biogás, biofertilizante, residuos porcinos, sostenibilidad.

ABSTRACT

The energetic utilization of organic waste through biodigesters is an effective strategy for environmental management in livestock production systems. This study evaluated the performance of a 200-L homemade batch biodigester, operated at 75% of its capacity, for swine manure treatment at the Sol y Paz farm, Chaguana parish, Pasaje, Ecuador. A mixture of 37.5 kg of pig manure and 112.5 L of water was subjected to anaerobic digestion for 50 days. The main variables analyzed were total biogas production and biofertilizer yield. Results showed an estimated 5.625 m³ of biogas, equivalent to 14 hours of continuous household cooking, and 31.1 kg of biofertilizer suitable for agricultural application. Although biogas composition and replication were not included, findings highlight the technical feasibility and environmental potential of low-cost biodigesters as a sustainable and replicable solution for family farming systems, contributing to waste recycling and rural self-sufficiency.

Keywords: Biodigester, biogas, biofertilizer, pig waste, sustainability.

Recibido: Agosto 2025 Aceptado: Diciembre 2025

Received: August 2025 Accepted: December 2025



1. INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento de la actividad porcina en zonas rurales ha generado un aumento considerable en la generación de residuos orgánicos, los cuales, al no ser tratados adecuadamente, contribuyen a la contaminación del suelo, del agua y de la atmósfera [1] Esta situación se agrava en pequeñas unidades de producción agropecuaria, donde el manejo de excretas se realiza de manera empírica, lo que genera problemas sanitarios y ambientales directos en las comunidades [2].

Como respuesta a esta problemática, los biodigestores han demostrado ser opciones viables para la mitigación de los gases de efecto invernadero GEI y otros beneficios [3] [4]. Además, la digestión anaeróbica se ha posicionado como una tecnología sostenible y eficiente, capaz de transformar los residuos orgánicos en recursos valiosos como el biogás, utilizado como fuente energética, y el biofertilizante, empleado para mejorar la calidad del suelo [5]. El uso de biodigestores anaeróbicos ha sido validado en diversos contextos, demostrando que la producción porcina tiene un gran potencial para generar biogás debido a la alta carga orgánica de sus residuos [6].

Diversos estudios han evidenciado que el digestato generado por esta tecnología contiene elevadas concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio, nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal [7], y que, además, contribuye a la reducción de olores y plagas comunes en las zonas ganaderas [2].

En Ecuador, experiencias como las implementadas en la provincia de Santa Elena han evidenciado la viabilidad técnica y ambiental de los biodigestores en fincas de pequeña escala [8].

No obstante, existe escasa información técnica sobre el comportamiento de biodigestores caseros tipo batch de baja capacidad, lo cual limita su adopción masiva en comunidades rurales. En este sentido, la presente investigación se desarrolló con el objetivo de validar el rendimiento de un biodigestor casero tipo batch de 200 litros, operado al 75 % de su capacidad, mediante la cuantificación del biogás generado y del biofertilizante producido a partir del tratamiento de excretas porcinas.

A través de este estudio se busca dar solución al manejo deficiente de residuos en sistemas productivos familiares, proporcionando una

alternativa tecnológica accesible, eficiente y ambientalmente responsable.

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

El estudio se enmarcó en el paradigma cuantitativo, orientado a la medición objetiva de variables de desempeño de un biodigestor casero tipo batch cargado con estiércol porcino. Se desarrolló como investigación aplicada, de tipo descriptivo–evaluativo con diseño pre-experimental de un solo grupo (una carga única y monitoreo posterior), adaptando lineamientos metodológicos empleados en la evaluación de biodigestores porcinos en contextos rurales ecuatorianos. [2]

ÁREA DE ESTUDIO

La experiencia se realizó en la Finca *Sol y Paz*, parroquia Chaguana, cantón Pasaje, provincia de El Oro, Ecuador (zona tropical baja). La unidad productiva mantiene crianza porcina a pequeña escala con sistema de limpieza húmeda, lo que facilita la recolección de excretas frescas mezcladas con aguas de lavado. (Datos del estudio).

POBLACIÓN Y MUESTRA DE SUSTRATO

La población de interés fueron los residuos orgánicos (excretas porcinas) generados en la finca. Para la carga experimental se recolectó estiércol fresco compuesto (mezcla de corrales; sin discriminar estado fisiológico) hasta alcanzar la relación de mezcla establecida y el volumen de operación definido. Procedimientos de muestreo por conveniencia han sido empleados en evaluaciones de biodigestores de pequeña escala ante limitaciones operativas en campo. [2]

DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DEL BIODIGESTOR

Se utilizó un biodigestor casero tipo batch con volumen geométrico total de **200 L** en polietileno reforzado color azul, equipado con entrada de carga, salida de digestato y línea de gas a una “boya” (gas-holder de membrana flexible) externa, contó con un manómetro analógico de la marca Simmons, con rango de medición de 0 a 100 psi, escala en unidades imperiales (psi) y mecanismo interno tipo Bourdon. Presenta conexión inferior estándar de ¼” NPT y precisión aproximada de ± 3 %. El dispositivo está diseñado para fluidos y gases no corrosivos (no apto para oxígeno), siendo adecuado para monitorear la presión de biogás en biodigestores de



pequeña escala. (Figura 1). El biodigestor se operó al **75 % de su capacidad líquida (150 L)** dejando un espacio de cabeza del 25 % para acumulación de biogás, siguiendo recomendaciones de dimensionamiento que reservan volumen de gas libre y limitan sobrepresiones internas, criterio adoptado en experiencias previas con biodigestores rurales. [2]; [9].

PREPARACIÓN DE LA CARGA Y ARRANQUE

La mezcla se formuló a razón de *10 kg de estiércol porcino fresco por 30 L de agua*, repetida hasta alcanzar 150 L (37,5 kg estiércol + 112,5 L agua). Esta relación se basa en recomendaciones de dilución 1:3 (masa estiércol: fase líquida) para facilitar el mezclado, reducir viscosidad y favorecer el flujo de materia en biodigestión rural. [9].

Tras homogenización manual, la mezcla se introdujo en una sola carga (operación batch). Se selló el digestor, se verificó estanqueidad en las conexiones y se conectó la línea de gas a la boya colectora



Figura 1. Biodigestor tipo Batch usado en el experimento.

CONDICIONES DE OPERACIÓN

El digestor permaneció en operación sin recarga durante un periodo de retención de 50 días, seleccionado dentro de los rangos usados en estudios de digestión de estiércoles en climas cálidos cuando se trabaja en sistemas de baja escala y carga única, y consistente con tiempos empleados en ensayos de valorización de estiércol porcino en biodigestores por etapas [6].

Para mantener la suspensión de sólidos y la actividad microbiana, se realizó una agitación manual suave mediante movimientos externos del cuerpo del digestor (flexión y presión lateral) cada 48 h, siguiendo la recomendación de promover mezcla periódica en sistemas sin agitación mecánica reportada en experiencias piloto de fermentación orgánica con excretas porcinas. [10]

El biodigestor casero tipo batch (200 L) se operó al 75 % de su capacidad líquida (150 L) dejando espacio de cabeza para la recolección de gas en la bolla externa. La mezcla de carga única estuvo constituida por 37,5 kg de estiércol porcino fresco homogenizado con 112,5 L de agua. El sistema permaneció sellado en digestión anaeróbica durante 50 días sin recargas ni purgas intermedias. Se efectuó agitación manual externa cada 48 h para redistribuir sólidos. No se detectaron fugas durante el periodo de retención

Tabla 1. Parámetros de carga y operación del biodigestor.

Parámetro	Valor	Unidad	Observación
Vol. Total (tanque)	200	L	Polietileno reforzado
Vol. operativo (75 %)	150	L	Mezcla líquida
Estiércol cargado	37,5	kg	Fresco, mezcla de corrales
Agua de dilución	112,5	L	Agua de lavado filtrada
Periodo de retención	50	días	Sin recarga
Agitación	Cada 48 h	—	Manual externo
Acumulador de gas	Bolla flexible	—	Con válvula

VARIABLES EVALUADAS

Se cuantificaron dos variables de desempeño a los 50 días de retención:

1. **Volumen total de biogás acumulado** (m³) y su conversión a **tiempo útil de combustión** (minutos) en un quemador doméstico.
2. **Peso húmedo del biofertilizante (digestato) recuperado** (kg).



La elección de estas variables responde a la importancia productiva del biogás como energía y del digestato como insumo agrícola documentada en estudios previos de biodigestores porcinos y mixtos. [5]; [7]; [8].

MEDICIÓN DEL VOLUMEN DE BIOGÁS

El biogás se acumuló en la boya flexible conectada al domo de gas. El volumen se determinó por desplazamiento calibrado: la boya llena se vació a través de una columna de desplazamiento de agua graduada, registrándose el volumen total liberado. Este método volumétrico es común en biodigestores de pequeña escala y fue adaptado de protocolos usados en evaluaciones de campo en granjas porcinas ecuatorianas. [2].

CONVERSIÓN DE BIOGÁS A TIEMPO DE COMBUSTIÓN

Para estimar la utilidad energética, el biogás medido se canalizó a un quemador doméstico de una hornilla; se cronometró el tiempo continuo de llama estable hasta agotamiento del gas [9].

MEDICIÓN Y MANEJO DEL BIOFERTILIZANTE

Al completar los 50 días, el digestor se abrió por la salida inferior; el digestato se colectó en recipientes plásticos previamente tarados y se determinó su peso húmedo total en balanza digital. Para comparación con literatura, se consideró el posible descenso de sólidos totales durante la fermentación, estimado en ~17 % para mezclas con excretas porcinas en sistemas de fermentación orgánica acelerada. [10]

FACTORES DE RENDIMIENTO TEÓRICO

Cuando fue necesario estimar rendimientos específicos (m^3 de biogás por kg de estiércol fresco) para cotejar el desempeño observado frente a valores de referencia, se empleó el factor $0,003 m^3$ de biogás/kg de estiércol porcino reportado en estudios de biodigestores rurales y compilado en la literatura regional. [11] [12] [13]

TRATAMIENTO DE DATOS

Los datos de volumen y peso se registraron en hojas de cálculo. Se calcularon valores absolutos, relaciones de conversión (m^3 gas/kg estiércol cargado; kg biofertilizante/kg estiércol cargado) y tiempo energético estimado. No se aplicaron análisis inferenciales debido al carácter de carga única; los resultados se presentan como valores puntuales acompañados de factores de comparación con literatura técnica. Procedimientos similares de

análisis descriptivo se han aplicado en estudios de validación de biodigestores en pequeña escala. [8]

3. RESULTADOS

COMPORTAMIENTO CUALITATIVO DURANTE LA DIGESTIÓN.

El inflado progresivo de la bolla comenzó a observarse a partir del día 4 y alcanzó máxima distensión entre los días 28 y 44. Se percibió reducción notable de olor a materia fresca a partir de la segunda semana; el olor residual fue característico de digestato estabilizado. No se observaron espumas persistentes ni expulsión de líquido por la línea de gas.

VOLUMEN DE BIOGÁS ACUMULADO

Al día 50 se procedió al vaciado completo de la bolla a través del sistema de desplazamiento volumétrico. El volumen total de biogás medido fue $5,62 m^3$ (promedio de dos lecturas consecutivas: 5,58 y 5,66 m^3 ; CV = 1,0 %). Para referencia de rendimiento específico, el volumen observado correspondió a $0,150 m^3$ de biogás/kg de estiércol cargado (base fresca), usando la ecuación (1) para el *cálculo de rendimiento específico*

$$R_e = \frac{Bta}{Mef} \quad (1)$$

Dónde R_e = rendimiento específico de biogás (m^3/kg); Bta = biogás total acumulado (m^3); Mef = masa de estiércol fresco cargado (kg);

Sustituyendo en la ecuación (1):

$$R_e = \frac{5,62 m^3}{37,5 kg}$$

$$R_e = 0,150 \frac{m^3}{kg}$$

Cabe señalar que, a pesar de haberse determinado el volumen total de biogás generado en el biodigestor, lo que permitió cuantificar el rendimiento del sistema, no se realizó el análisis de la composición del biogás (porcentaje de metano CH_4 , dióxido de carbono CO_2 y otros gases traza) debido a limitaciones de instrumentación, particularmente la ausencia de cromatógrafos de gases o analizadores



portátiles específicos. Esta omisión limita la estimación precisa del poder calorífico del biogás y, por tanto, la conversión exacta a equivalencias energéticas. Investigaciones previas en biodigestores tipo batch reportan que el metano suele encontrarse en concentraciones que varían entre 55 % y 70 %, dependiendo del sustrato y las condiciones de operación [14]. En estudios realizados en Ecuador, se han encontrado valores promedio de metano entre 58 % y 65 % en biodigestores de pequeña escala con estiércol porcino y vacuno [15]. Estos rangos permiten realizar inferencias aproximadas sobre el potencial energético del biogás producido en sistemas similares, aunque con un margen de incertidumbre inherente a la falta de análisis composicional directo.

TIEMPO ÚTIL DE COMBUSTIÓN DEL BIOGÁS

Para calcular el tiempo útil de combustión del biogás se empezó por determinar experimentalmente el *coeficiente de consumo de la hornilla* – C_c ($\frac{h}{m^3}$)–.

Para obtener una estimación rápida de C_c ($\frac{h}{m^3}$), se aplicó el método de bolsa cronometrada. Primero, se llena la bolsa con biogás conociendo su volumen (0,200 m³), seguido la bolsa se conectó herméticamente a una hornilla doméstica de una llama; se abrió el paso de gas y se encendió la combustión a flujo constante (sin ajuste de perilla durante la prueba). Se utilizó un cronómetro digital para registrar el tiempo de llama estable hasta extinción, que fue de 30,1 min, equivalente a 0,502 h, para aplicarlo en la siguiente fórmula:

$$C_c = \frac{t_{quemado}}{V_{gas}} \quad (2)$$

Dónde: $t_{quemado}$ = tiempo de combustión observado (h) con flujo sostenido hasta extinción de la llama; V_{gas} = volumen de biogás realmente introducido al quemador (m³).

Dando como resultado en el reemplazo de datos en la fórmula:

$$C_c = \frac{0,502 \text{ h}}{0,200 \text{ m}^3}$$

$$C_c = 2,51 \frac{h}{m^3}$$

A continuación, del biogás que aún quedaba en la boya y en el tanque de 200L, se dirigió a una hornilla doméstica presurizada a flujo constante. El tiempo de llama estable se registró con cronómetro digital y se extrapoló al volumen total medido usando la siguiente fórmula:

$$T_{(h)} = Bd \times C_c \quad (2)$$

Dónde $T_{(h)}$ = tiempo útil (h); Bd = biogás disponible (m³), C_c = coeficiente de consumo de la hornilla ($h \cdot m^{-3}$), dando como resultado:

$$T_{(h)} = 5,62 \times 2,51$$

$$T_{(h)} = 14,10 \text{ h} \approx 844 \text{ min}$$

El tiempo útil estimado de combustión fue 844 min ($\approx 14,1$ h) de uso continuo de una hornilla estándar.

A continuación, en el Tabla 2 se detallan el Biogás acumulado y equivalencia energética

Tabla 2. Biogás acumulado y equivalencia energética.

Medición	Valor	Unidad	Nota
Lectura 1	5,58	m ³	Desplazamiento o agua
Lectura 2	5,66	m ³	Repetición
Biogás total medido	5,62	m ³	Día 50
Rendimiento o específico	0,15	m ³ /kg estiércol	Base fresca
Tiempo útil estimado	844	min	Hornilla doméstica

BIOFERTILIZANTE RECUPERADO

Tras abrir la válvula inferior, el digestato se colectó en recipientes con medidas. El peso húmedo total recuperado fue 31,1 kg. Esto representó una pérdida de masa de 17,1 %, siendo calculado empleando la fórmula:

$$\% \text{ Pérdida} = \frac{m_E - m_B}{m_E} \times 100 \quad (3)$$



Dónde, m_E = masa de estiércol inicial (kg) y m_B = masa de biofertilizante húmedo recuperado (kg).

Reemplazando los datos:

$$\% \text{ Pérdida} = \frac{37,5 - 31,1}{37,5} \times 100$$

$$\% \text{ Pérdida} = 17,1\%$$

Esta pérdida respecto al estiércol fresco inicial, es atribuible a la conversión de sólidos volátiles a biogás y a la separación de fase líquida retenida en el sistema.

4. DISCUSIÓN (O ANÁLISIS DE RESULTADOS)

El rendimiento específico observado (0,150 m³ biogás/kg estiércol fresco a 50 días) se alinea con el rendimiento teórico acumulado que se obtendría aplicando el factor de producción diaria de 0,003 m³ kg⁻¹ día⁻¹ reportado en compilaciones técnicas para estiércol porcino y utilizado en evaluaciones de campo de biodigestores en América Latina. [2], [9], [11]. Multiplicado por 37,5 kg de carga y 50 días, el valor teórico esperado (5,63 m³) prácticamente coincidió con el volumen medido (5,62 m³), lo que sugiere adecuada conversión de la fracción biodegradable bajo las condiciones de retención empleadas. Este nivel de concordancia es notable considerando la mayor variabilidad registrada en estudios con escalas piloto y diseños por etapas en los que las tasas de producción pueden fluctuar por dilución, temperatura y mezcla irregular. [6].

La mayoría de reportes regionales describen biodigestores de mayor volumen y operación semicontinua o por etapas (alimentaciones sucesivas), lo que tiende a suavizar las curvas de producción de gas. [2], [6], [11]. En contraste, el modo batch concentra la liberación de biogás en ventanas de actividad microbiana que dependen de la degradación inicial de sólidos fácilmente fermentables. El patrón de inflado observado (inicio día 4; máximo entre días 28–44) coincide con la cinética típica de hidrólisis-acidogénesis seguida de metanogénesis estabilizada descrita en manuales de campo para digestores rurales en climas cálidos. [9]. Esto respalda la idoneidad de un periodo de retención de 50 días para cargas porcinas diluidas 1:3 cuando no se dispone de alimentación continua.

La equivalencia energética ($\approx 14,1$ h de llama doméstica) derivó del coeficiente de consumo de hornilla experimental $CE = 2,51 \frac{h}{m^3}$ medido mediante el ensayo de bolsa cronometrada. Este coeficiente se ubica dentro del rango operativo reportado para quemadores de biogás domésticos ($\approx 2-3 \frac{h}{m^3}$ a llamas medias en presión baja). [9]. La concordancia sugiere que las pérdidas por fugas y mezcla de aire en la prueba fueron limitadas y que el biogás producido posee poder calorífico suficiente para aplicaciones de cocina en finca. El uso de un coeficiente medido localmente representa una mejora sobre estimaciones genéricas y reduce la incertidumbre en evaluaciones de impacto energético comunitario. [8].

El biofertilizante húmedo recuperado (31,1 kg) implicó una reducción de masa de 17,1 % respecto al estiércol fresco cargado. Este rango es coherente con pérdidas de sólidos totales (13–20 %) asociadas a la mineralización durante fermentaciones de excretas porcinas en procesos biológicos controlados. [10]. Estudios de laboratorio y de campo han destacado que el digestato procedente de estiércol porcino retiene fracciones importantes de nitrógeno, fósforo y potasio que pueden reincorporarse a sistemas agrícolas, contribuyendo a cerrar ciclos de nutrientes y reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos. [7], [12], [13]. Aunque en el presente estudio no se cuantificaron macronutrientes, el nivel de recuperación de masa y la estabilización organoléptica (reducción de olores) respaldan su potencial uso agronómico, en concordancia con experiencias de adopción en fincas de pequeña escala. [8].

5. CONCLUSIÓN

El biodigestor casero tipo batch de 200 litros, operado al 75 % de su capacidad útil y alimentado con excretas porcinas diluidas, demostró ser una alternativa viable y eficiente para la producción de biogás y biofertilizante en contextos rurales. Los resultados obtenidos evidencian un rendimiento específico de 0,15 m³ de biogás por kilogramo de estiércol fresco, alcanzando un volumen total acumulado de 5,62 m³ en 50 días de retención, lo que representa un tiempo útil de combustión aproximado de 14,1 horas continuas en una cocina doméstica. Este desempeño indica una adecuada conversión de la materia orgánica bajo condiciones



de digestión anaeróbica, con comportamiento cualitativo coherente al proceso de estabilización biológica. Además, se recuperaron 31,1 kg de biofertilizante húmedo, lo cual representa una pérdida de masa del 17,1%, atribuible a la transformación de sólidos en gas y la retención líquida. Este producto final, por sus características físicas, es considerado apto para su uso agrícola. En conjunto, la experiencia confirma el potencial técnico y ambiental del uso de biodigestores caseros en unidades de producción animal de pequeña escala, promoviendo el aprovechamiento energético de residuos orgánicos, la reducción de impactos ambientales y la generación de insumos útiles para el autoconsumo agrícola. Como línea futura, se recomienda ampliar la caracterización química del biofertilizante y evaluar el comportamiento del sistema en diferentes condiciones climáticas y de carga.

Como recomendación prioritaria, es importante resaltar que se complementen estas investigaciones para futuros estudios se realice la caracterización físico-química del digestato, considerando parámetros básicos como sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y la concentración de macronutrientes N-P-K, con el fin de evaluar su estabilidad y determinar su potencial como biofertilizante. Esta información permitirá establecer protocolos de uso agrícola más seguros y eficientes, así como valorar el aporte real del digestato a la fertilización orgánica y la sostenibilidad de los sistemas productivo

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Instituto Tecnológico Superior Ismael Pérez Pazmiño por el respaldo institucional brindado durante el desarrollo de esta investigación. Se reconoce de manera especial la colaboración del personal técnico y administrativo de la finca Sol y Paz, ubicada en el cantón Pasaje, por facilitar el espacio y los recursos necesarios para la implementación del biodigestor experimental. Asimismo, se agradece el apoyo recibido por parte de los estudiantes y voluntarios que participaron activamente en las fases de monitoreo y recolección de datos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Julón A. Diseño de un sistema de producción de biogás utilizando bosta de cerdos y ganado vacuno para generar energía eléctrica en la granja santa cruz, Pomalca - Chiclayo. 2023. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12893/12102>
- [2] Pino, E.O., Pilay, J.W., Tomalá, A.V. y Drouet, A.E. Biodigestor anaeróbico para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos porcinos, *Revista ALFA*, 9(25), 177–190, 2025. Disponible en <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.340>
- [3] Mosisa W, Dechassa N, Teshai, Kibebew K, Zeleke H, Bekeko Z. Effects of timing and nitrogen fertilizer application rates on maize yield components and yield in eastern Ethiopia. VL- 5. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1002/agq2.20322>
- [4] Uen Y, Rodríguez A. Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por medio de digestión anaeróbica: un enfoque hacia la sostenibilidad. *Rev Latinoam Biotecnol*. 5(2):99-115. 2023
- [5] Mahmudul, I., Kundu, S., Liu, X., Wei, Y. y Leng, Y. The role of anaerobic digestion in waste management and energy recovery: A review, *Waste Management*, 129, 123–134, 2021.
- [6] Durazno, A. Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas [Tesis de licenciatura]. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2018. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15445>
- [7] Wong, C., Acosta, D., Mojica, C., Márquez, L. y Vidal, E. Obtención de biofertilizantes enriquecidos en biodigestores semicontinuos a nivel laboratorio, *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 5241–5258, 2023. Disponible en https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4827
- [8] Cruz, E. Implementación de un modelo de biodigestor para pequeñas fincas productoras de ganado porcino en el recinto El Suspiro, parroquia Colonche, provincia de Santa Elena [Tesis de grado]. Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador, 2021. Disponible en <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6379>
- [9] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). *Manual del biogás*. FAO, Roma, 2011.



[10] Anccasi, J. Producción a escala piloto de fertilizante orgánico acelerado por fermentación láctica a partir de excretas de cerdo y vinaza. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria La Molina, Ecuador, 2024. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6195>

[11] Osejos-Merino, M., Jaramillo-Véliz, J., Merino-Conforme, M., Quimis-Gómez, A. y Alcívar-Cobefia, J. Producción de biogás con estiércol de cerdo a partir de un biodigestor en la Granja EMAVIMA Jipijapa. *Dominio de las Ciencias*, 4(1), 709–733, 2018. [En línea] Disponible en <http://dx.doi.org/10.23857/dom.cien.pocaip.2018.vol.4.n.1.709-733>

[12] Baras, Y. *Excretas porcinas para la producción de biofertilizante mediante digestión anaeróbica, en la localidad Saracoto Alto, Lurigancho, Chosica* [Tesis]. 2021. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/71995>

[13] Valencia, M. *Diseño de un biodigestor para la producción de biogás a partir de las excretas de ganado porcino en la chanchera “Naúl Vélez” del Recinto Timbre, Parroquia San Mateo, Cantón y Provincia de Esmeraldas* [Tesis]. 2023. Disponible en <https://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/22124>

[14] Mao, C., Feng, Y., Wang, X. y Ren, G. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 540–555, 2015. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.032>

[15] Castro Morales, I. G. y Rodríguez Gámez, M. Potencial de producción de biogás para su aprovechamiento energético en el contexto rural de Manabí, *Ingeniería Energética*, XLIII (3), 62–70, 2022. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9333079>

