



## Biodigestor anaeróbico para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos porcinos

Anaerobic biodigester for the production of biogas and biofertilizer from pig waste

*Biodigestor anaeróbico para produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos suínos*

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil  
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.340>

Edwin Orlando Pino Panchi<sup>1</sup>   
edwinpino1@yahoo.com

Jhonny Wilmer Pilay Mero<sup>2</sup>   
dr.jpilay@gmail.com

Andrés Enrique Drouet Candell<sup>3</sup>   
andresdrouet.upse@gmail.com

Adriana Vanessa Tomalá Tomalá<sup>3</sup>   
adriavantomala@yahoo.com

<sup>1</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sangolquí, Ecuador

<sup>2</sup>Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil, Ecuador

<sup>3</sup>Universidad Estatal Península de Santa Elena. La Libertad, Ecuador

Artículo recibido: 20 de noviembre 2024 / Arbitrado: 30 de diciembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

### RESUMEN

El biodigestor anaeróbico se ha convertido en una solución efectiva para el manejo sostenible de residuos orgánicos, especialmente en la industria porcícola. Objetivo: El objetivo del estudio es evaluar de un biodigestor anaeróbico para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos porcinos en la Provincia de Santa Elena. Materiales y Métodos: Es un estudio cuantitativo, tipo descriptivo transversal, diseño experimental. La muestra estuvo compuesta por 65 cerdos. Se utilizó la técnica de observación directa a través de registros de todo el proceso en el biogestor. Resultados: La implementación de un biodigestor en la granja porcícola Santa Marianita demostró ser una solución efectiva para gestionar los residuos orgánicos y promover la sostenibilidad. Con un volumen total de 39 m<sup>3</sup>, el biodigestor procesó diariamente 219.52 kg de estiércol y 655.1 litros de agua residual. Después de 33 días de operación, se obtuvieron resultados prometedores se produjeron 9.57 m<sup>3</sup> de biogás, un recurso energético renovable que puede utilizarse para cocinar o generar electricidad; y 24.09 m<sup>3</sup> de biofertilizante, un producto rico en nutrientes que puede mejorar la calidad del suelo y reducir la dependencia de fertilizantes químicos. Se concluye que la implementación del biogestor, redujo significativamente malos olores y se evitó la contaminación del suelo y del agua, lo que demuestra el potencial de esta tecnología para mitigar los impactos ambientales asociados a la producción porcina. Estos resultados confirman que los biodigestores pueden ser una herramienta valiosa para promover la agricultura sostenible y la gestión eficiente de los residuos orgánicos.

**Palabras clave:** Biodigestor; Biofertilizante; Biogás; Porcinos; Residuos

### ABSTRACT

The anaerobic biodigester has become an effective solution for the sustainable management of organic waste, especially in the pig industry. Objective: The objective of the study is to evaluate an anaerobic biodigester for the production of biogas and biofertilizer from pig waste in the Province of Santa Elena. Materials and Methods: It is a quantitative study, descriptive cross-sectional type, experimental design. The sample consisted of 65 pigs. The direct observation technique was used through records of the entire process in the biodigester. Results: The implementation of a biodigester in the Santa Marianita pig farm proved to be an effective solution to manage organic waste and promote sustainability. With a total volume of 39 m<sup>3</sup>, the biodigester processed 219.52 kg of manure and 655.1 liters of wastewater daily. After 33 days of operation, promising results were obtained: 9.57 m<sup>3</sup> of biogas, a renewable energy resource that can be used for cooking or generating electricity, and 24.09 m<sup>3</sup> of biofertilizer, a nutrient-rich product that can improve soil quality and reduce dependence on chemical fertilizers, were produced. It is concluded that the implementation of the biomanager significantly reduced bad odors and prevented soil and water contamination, demonstrating the potential of this technology to mitigate the environmental impacts associated with pig production. These results confirm that biodigesters can be a valuable tool to promote sustainable agriculture and efficient management of organic waste.

**Key words:** Biodigester; Biofertilizer; Biogas; Pigs; Waste

### RESUMO

O biodigestor anaeróbico tornou-se uma solução eficaz para o gerenciamento sustentável de resíduos orgânicos, especialmente na indústria suína. Objetivo: O objetivo do estudo é avaliar um biodigestor anaeróbico para produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos suínos na Província de Santa Elena. Materiais e Métodos: Trata-se de um estudo quantitativo, do tipo descritivo transversal, com delineamento experimental. A amostra foi composta por 65 porcos. Foi utilizada a técnica de observação direta por meio de registros de todo o processo no biomanager. Resultados: A implantação de um biodigestor na granja suína Santa Marianita mostrou-se uma solução eficaz para gerenciar resíduos orgânicos e promover a sustentabilidade. Com um volume total de 39 m<sup>3</sup>, o biodigestor processou diariamente 219,52 kg de esterco e 655,1 litros de efluentes. Após 33 dias de operação, resultados promissores foram obtidos, produzindo 9,57 m<sup>3</sup> de biogás, uma fonte de energia renovável que pode ser usada para cozinhar ou gerar eletricidade; e 24,09 m<sup>3</sup> de biofertilizante, um produto rico em nutrientes que pode melhorar a qualidade do solo e reduzir a dependência de fertilizantes químicos. Conclui-se que a implementação do biomanager reduziu significativamente os maus odores e evitou a contaminação do solo e da água, o que demonstra o potencial desta tecnologia para mitigar os impactos ambientais associados à produção de suínos. Esses resultados confirmam que os biodigestores podem ser uma ferramenta valiosa para promover a agricultura sustentável e o gerenciamento eficiente de resíduos orgânicos.

**Palavras-chave:** Biodigestor; Biofertilizante; Biogás; Porcos; Desperdício

## INTRODUCCIÓN

La creciente demanda mundial de alimentos, sumada a la intensificación de las actividades agrícolas, ha generado una presión sin precedentes sobre los recursos naturales y el medio ambiente (1). La gestión inadecuada de los residuos orgánicos, especialmente en la producción porcina, contribuye significativamente a la contaminación del agua, del suelo y del aire.

En este contexto, la digestión anaeróbica es una tecnología ampliamente utilizada para tratar residuos orgánicos, ya que permite transformar la materia orgánica en biogás y digestato, este último con potencial para ser empleado como biofertilizante. Según Mosisa et al. (2022), la co-digestión de diferentes tipos de residuos, como los generados en la agricultura y la ganadería, no solo incrementa la eficiencia en la producción de biogás, sino que también mejora las características nutricionales del digestato. Esto lo convierte en un recurso valioso para su uso como fertilizante orgánico en sistemas agrícolas sostenibles. Este enfoque no solo favorece un manejo más eficiente de los desechos, sino que también representa una alternativa renovable a los combustibles fósiles, contribuyendo a la mitigación del cambio climático mediante la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (2, 3).

Por otra parte, el tratamiento del estiércol porcino mediante biodigestores anaeróbicos ha demostrado ser una solución eficaz para

incrementar la generación de biogás y producir biofertilizantes con alto valor nutricional. Wong Arguelles et al. (4) señalan que el digestato obtenido contiene niveles significativos de nitrógeno, fósforo y potasio, nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas. Esto permite su aplicación directa en actividades agrícolas, mejorando la fertilidad del suelo y reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos. Además, el uso de esta tecnología fomenta prácticas agropecuarias sostenibles al optimizar los recursos disponibles y minimizar el impacto ambiental asociado a los residuos orgánicos (4, 5).

Además, la biodigestión anaeróbica emerge como una tecnología prometedora para abordar estos desafíos a nivel global y local. En Ecuador, y específicamente en la provincia de Santa Elena, la implementación de biodigestores en granjas porcícolas representa una oportunidad para mitigar los impactos ambientales, promover la producción sostenible y contribuir a la seguridad alimentaria (6).

Sobre el tema, Durazgo realizó una investigación con el objetivo de evaluar la producción de biogás a partir del estiércol bovino y porcino en un biogestor de producción por etapas. Se planteó el diseño de un biogestor cilíndrico de producción por etapas con volumen de carga de 233 litros. Los resultados obtenidos a partir de un tiempo de retención de 50 días para cada tipo de estiércol determinaron una producción de biogás

de 48.8 litros y 65.9 litros tanto para el estiércol bovino como porcino a una temperatura ambiente de 14.27°C y 14.53°C. Igualmente, el bioabono generado se aplicó al suelo evidenciándose el desarrollo de biomasa vegetal en grandes cantidades, lo que sería el efecto de su alto valor nutricional de acuerdo con el análisis químico del mismo (7).

Asimismo, Vargas y Villavicencio, realizaron una investigación con el objetivo determinar la eficacia del biogás con estiércol de ganado bovino y porcino, debido a que en este lugar los estiércoles de estos animales no tienen una disposición final adecuada, pues no cuentan con un sistema adecuado de tratamiento de los estiércoles, lo que convierte esto en un problema de contaminación ambiental, por esta razón, se optó por la instalación de tres biodigestores con diferentes capacidades de carga, mezcla y poder generar biogás. Los resultados en generación de biogás demostraron que hay una mayor eficacia en generación de biogás del biodigestor que fue cargado con estiércol porcino seguido por el biodigestor que estaba cargado con una mezcla de estiércol porcino y bovino, teniendo como último lugar el biodigestor que fue cargado con estiércol bovino, indicando que, existe un equilibrio en la reacción anaeróbica de la generación de biogás del segundo biodigestor que estaba compuesto por la mezcla de estiércol bovino y porcino demostrando así su eficacia (8).

El presente estudio, enfocado en la granja porcícola "Santa Marianita", tiene como objetivo evaluar la producción de biogás y biofertilizante de un biodigestor, a partir de residuos porcinos en la Provincia de Santa Elena. Este proceso se logra mediante la descomposición anaeróbica llevada a cabo por un biodigestor (9). El uso de biodigestores, ya implementados en otros países, contribuye a que la actividad ganadera no represente un obstáculo, al estudiar los factores clave que intervienen en la producción. Se evidencia que esta tecnología ofrece ventajas significativas para los productores (10).

Entre estas, se destaca la generación de combustible renovable a bajo costo y fertilizantes orgánicos elaborados a partir de materiales reciclados, como el estiércol porcino (11).

Por ello, en esta investigación surge la pregunta, ¿Es factible que un biodigestor actúe como un sistema de control eficiente para la biomasa generada?

El objetivo de esta investigación fue evaluar la producción de biogás y biofertilizante de un biodigestor, a partir de residuos porcinos en la Provincia de Santa Elena Comuna Prosperidad.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La presente investigación se la realizó desde diciembre del 2023 a enero del 2024, en la finca "Santa Marianita", propiedad de la señora Mariana Santistevan, ubicada en la comuna Prosperidad,

parroquia Ancón perteneciente a la provincia de Santa Elena; la misma está situada a una altitud de 4 msnm ubicando geográficamente el punto central del área de la finca en las siguientes coordenadas: Latitud -2.28726 Sur; Longitud -80.858606' Oeste. Con una temperatura variante entre 22 C a 25 C.

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, ya que se centra en la medición y análisis numérico de variables relacionadas con la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos porcinos. Además, se utilizan datos cuantificables para evaluar la eficiencia del biodigestor anaeróbico.

El tipo de estudio que se implementó fue descriptivo y transversal, ya que los datos se recopilaron en un solo momento durante el período de funcionamiento del biodigestor. De esta manera, se pudo describir las características del proceso de digestión anaeróbica y sus resultados. Se evaluaron las variables relacionadas con la capacidad del biodigestor, la producción diaria de biogás y biofertilizante, así como el consumo de agua.

El diseño de investigación es experimental, ya que se llevó a cabo en condiciones controladas en las instalaciones de la finca Santa Marianita, donde se implementó un biodigestor anaeróbico para observar y medir su rendimiento en la producción de biogás y biofertilizante a partir del uso de estiércol porcino.

Para el estudio la población estuvo compuesta por animales porcinos de la granja, se contabilizaron 65 cerdos, distribuidos en diferentes estados fisiológicos: 20 hembras no gestantes, 4 hembras lactantes, 1 macho reproductor y 40 lechones.

Para recoger la información se utilizó la observación directa a través de registros de todo el proceso en el biodigestor. El registro fue manual de los datos sobre la cantidad de estiércol generado y el consumo diario de agua.

Para el análisis cuantitativo, se recurrió al cálculo numérico y estadística descriptiva, para determinar la producción diaria de biogás y biofertilizante utilizando fórmulas específicas basadas en los datos recolectados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado, se presentan los resultados obtenidos a partir de la implementación y operación del biodigestor anaeróbico en la granja "Santa Marianita", situada en la Provincia de Santa Elena. Se analizaron las variables clave relacionadas con la producción de biogás y biofertilizante, así como el consumo de agua y la generación de estiércol por parte de los animales. Los datos fueron recolectados mediante un seguimiento continuo del proceso de digestión anaeróbica, donde se evaluó el rendimiento del biodigestor en función de su capacidad, el tiempo de retención hidráulico y la eficiencia en la conversión de residuos orgánicos. A través de cálculos precisos

y análisis detallados, se busca ofrecer una visión clara sobre el impacto ambiental y económico de esta tecnología sostenible en la gestión de residuos porcinos.

Se inició el proceso mediante una socialización con el personal encargado, explicando las labores a realizar y estableciendo los procedimientos. Posteriormente, se llevó a cabo un reconocimiento de las zonas de trabajo, identificando los corrales y el número de animales que formarían parte del estudio. A su vez, se delimitaron los puntos específicos del lugar de investigación y se tomaron notas detalladas

de cada componente del biodigestor. Una vez recopilados los datos de campo, se clasificó la información y se organizó en una hoja Excel, para calcular la generación diaria de estiércol, se empleó la producción de excretas en cerdos según su peso vivo y estado fisiológico (12). En la granja “Santa Marianita”, se utilizaron los siguientes valores: hembras vacías con una producción de 4,5 kg, hembras lactantes con 7,72 kg, machos reproductores con 2,81 kg y lechones lactantes con 8,02 kg. A partir de estos valores, se aplicó la fórmula:

### *Producción diaria de estiércol*

$$\text{peso promedio de cerdos} \times \text{producción de excretas} \times \text{por cada 100kg de peso vivo}$$

El resultado se multiplicó por el número de cerdos en cada estado fisiológico para sacar los datos finales.

Además, se calculó el consumo diario de agua por cada cerdo, diferenciando entre adultos y lechones, cada cerdo adulto utilizó 15 litros de agua y 7 litros los cerdos pequeños.

$$\text{Suma total} = \text{estiércol} + \text{cantidad de agua (adultos)} + \text{cantidad de agua (lechones)}$$

A continuación, se presenta la Tabla 1, que detalla el tiempo de retención hidráulico del biodigestor, un factor crucial para optimizar el proceso de digestión anaeróbica.

**Tabla 1.** Tiempo de retención del biodigestor.

Tiempo de retención hidráulico	Características
30-40 días	Clima tropical con regiones planas.
40-60 días	Regiones cálidas con invierno fríos cortos. Ej. India, Filipinas, Etiopía
60-90 días	Clima temperado con inviernos fríos. Ej. China, Corea, Turquía

\*Tomado de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO (12).

El tiempo de retención utilizado fue de 33 días.

$$VT = (\text{estiércol} + \text{agua de adultos} + \text{agua de lechones}) \times \text{tiempo de retención (33 días)}$$

### Cálculo de biogás

La cantidad de biogás producido diariamente depende del tipo de animal y la cantidad de estiércol generado (13), como se detalla en la

Tabla 2. Esta tabla muestra la relación entre el volumen de biogás generado por cada kilogramo de estiércol fresco, según el tipo de animal.

**Tabla 2.** Relación biogás generado por cada kg de estiércol.

Tipo de animal	Estiércol		Volumen de biogás	
	Disponibile kg/día	c/n	Relación m <sup>3</sup> /kg	húmedo m <sup>3</sup> /día/año
Bovino (500kg)	10.00	25:1	0.004	0.0400
<b>Porcino (50kg)</b>	<b>2.25</b>	<b>13:1</b>	<b>0.003</b>	<b>0.0675</b>
Aves (2kg)	0.18	19:1	0.008	0.0014
Ovino (32kg)	1.50	35:1	0.005	0.0080
Caprino (50kg)	2.00	40:1	0.005	0.0100
Equino (450kg)	10.00	50:1	0.004	0.0400
Conejo (3kg)	0.35	13:1	0.006	0.0021
Excretas humanas	0.40	3:1	0.006	0.0025

\*Tomado de Osejos-Merino et al. (14).

A continuación, se estimó la generación diaria de gas en la granja y para sacar el valor aproximado se utiliza la Tabla 2, en la que asegura que por cada 50kg de peso vivo de animal produce 2,25kg en estiércol fresco y que este produce de gas 0.003 m<sup>3</sup>/kg.

$$\text{Biol obtenido} = EF - (EF * 0,17)$$

Dónde:

EF es el estiércol fresco.

0,17 representa el porcentaje de sol

Por último, se calculó el volumen diario de biofertilizante generado en el biodigestor.

$$\text{Biofertilizante diario} = (\text{kg de estiércol fresco} * 1 \text{ L/kg}) + \text{litros de agua (3)}$$

Estos cálculos permitieron obtener valores precisos sobre la cantidad de biogás y biofertilizante que se puede generar a partir de los residuos de la granja, proporcionando así una solución sostenible para el manejo de desechos y una fuente alternativa de energía y fertilizante.

El biodigestor tiene una capacidad de 39 000 litros equivalentes a 39 m<sup>3</sup> esto significa que se establecerá la utilización del indicador 3:1. La Tabla 5, señala que por cada 1 kg de estiércol se utilizará 3kg de agua equivalente a tres litros de agua (12), por tanto, el biodigestor llegará a su nivel máximo de capacidad utilizando el 25% de estiércol fresco y un 75% de agua. A su vez se indica q esa es la capacidad total y que para su funcionamiento correcto debe ser cargado hasta un 75 % de la capacidad máxima del biodigestor para que pueda dar lugar a la producción del biogás. Y que en este caso utilizable fue 29 250 m<sup>3</sup> del total.

Total:

VD = Volumen del digestor = 39 000L (39 m<sup>3</sup>)

VL = Volumen del líquido = 29 250 L (29.25 m<sup>3</sup>)

VG = Volumen del gas = 9 750 (9.75 m<sup>3</sup>)

Tras evaluar la capacidad del biodigestor, se inició el proceso de digestión anaeróbica y se realizó un seguimiento continuo. Los resultados indican que el tiempo óptimo de retención para la descomposición de la materia orgánica en la granja es de 33 días. Además, se observó una alta producción de biogás y una notable reducción del olor del estiércol, lo que confirma la eficiencia del proceso de biodegradación.

Para determinar la cantidad de estiércol generado diariamente en la granja porcícola, se realizó un cálculo detallado considerando la población porcina. Se contabilizaron 20 hembras sin gestación, 4 hembras lactantes, 1 macho reproductor y 40 lechones. Utilizando datos de producción de estiércol por cerdo y día, obtenidos de la FAO (12), se efectuó el cálculo correspondiente, Tabla 3.

**Tabla 3.** Cálculos producción total de estiércol en la granja "Santa Marianita"

Estado fisiológico	Producción de estiércol cómo % de peso vivo	No. de animales	Peso promedio, kg	Estiércol kg /cabeza/día	Producción total estiércol
Hembra vacía	4,50	20	160	7,20	<b>144,00</b>
Hembra lactante	7,72	4	190	14,67	<b>58,67</b>
Macho reproductor	2,81	1	200	5,62	<b>5,62</b>
Lechón lactante	8,02	40	3,5	0,28	<b>11,23</b>
<b>Total</b>		<b>65</b>	<b>554</b>	<b>27,77</b>	<b>219.52</b>

**Calculo hembra vacía**

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos

$$= 160 \text{ kg} \times 4.50\% \\ = 7.20 \text{ kg}$$

Cantidad total de excretas producida por día

$$= 7.20 \text{ kg} \times 20 \text{ cerdos} \\ = 144.0 \text{ kg/día}$$

**Cálculo hembra lactante**

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos

$$= 190 \text{ kg} \times 7.72\% \\ = 14.67 \text{ kg}$$

Cantidad total de excretas producida por día

$$= 14.67 \text{ kg} \times 4 \text{ cerdos} \\ = 58.68 \text{ kg/día}$$

**Calculo macho reproductor**

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos

$$= 200 \text{ kg} \times 2.81\% \\ = 5.62 \text{ kg}$$

Cantidad total de excretas producida por día

$$= 5.62 \text{ kg} \times 1 \text{ cerdo} \\ = 5.62 \text{ kg/día}$$

**Calculo lechón lactante**

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos

$$= 3.5 \text{ kg} \times 8.02\% \\ = 0.28 \text{ kg}$$

Cantidad total de excretas producida por día

$$= 0.28 \text{ kg} \times 40 \text{ cerdos} \\ = 11.2 \text{ kg/día}$$

**Calculo hembra vacía**

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos

$$= 160 \text{ kg} \times 4.50\% \\ = 7.20 \text{ kg}$$

Cantidad total de excretas producida por día

$$= 7.20 \text{ kg} \times 20 \text{ cerdos} \\ = 144.0 \text{ kg/día}$$

**Cálculo hembra lactante**

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos

$$= 190 \text{ kg} \times 7.72\% \\ = 14.67 \text{ kg}$$

Cantidad total de excretas producida por día  
 = 14.67 kg x 4 cerdos  
 = 58.68 kg/día

Cantidad total de excretas producida por día  
 = 0.28 kg x 40 cerdos  
 = 11.2 kg/día

### Calculo macho reproductor

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos  
 = 200 kg x 2.81%  
 = 5.62 kg

Cantidad total de excretas producida por día  
 = 5.62 kg x 1 cerdo  
 = 5.62 kg/día

### Calculo lechón lactante

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos  
 = 3.5 kg x 8.02%  
 = 0.28 kg

En la Tabla 4, se presenta el consumo diario de agua utilizado para el lavado de los cerdos en la granja "Santa Marianita", desglosado por estado fisiológico. Este cálculo es fundamental para comprender la gestión del agua en relación con la producción de estiércol y el funcionamiento del biodigestor.

**Tabla 4.** Cantidad de agua usada en lavado.

Estado fisiológico	Litros C/U	Cantidad de cerdos	Consumo
Cerdos adultos	15	25	375
Lechones	7	40	280
Total, consumo de agua			655
Producción de estiércol por estado fisiológico			219,52
Total, producción diaria de líquido en la granja			874.52

Para estimar la producción diaria de biogás en la granja, se siguió el método propuesto por Toala (13). Considerando una población porcina de 20 hembras sin gestación, 4 hembras lactantes, 1 macho reproductor y 40 lechones, utilizando los datos de producción de estiércol por cerdo de la Tabla 2 (2.25 kg de estiércol fresco por cada

50 kg de peso vivo y un rendimiento de 0.003 m<sup>3</sup> de gas por kg de estiércol), se realizó el cálculo correspondiente.

Para determinar la producción de biogás, se consideró únicamente el estiércol generado por el peso vivo de los animales, el cual asciende a 219.5 kg. Este valor, calculado previamente en la Tabla 3.

Entonces realizando la regla de 3:

$$\begin{array}{ccc} 2.25\text{kg} & \nearrow & 0,003 \text{ m}^3 \\ 219,52 \text{ kg} & & x \end{array}$$

$$= \frac{219,52 \times 0.003 \text{ m}^3}{2.25 \text{ kg}}$$

= 0,29 m<sup>3</sup> de biogás diario

= 0.29 m<sup>3</sup> x 33 días es igual a 9,57 m<sup>3</sup>.

Para estimar la cantidad de biofertilizante producido, es necesario considerar que durante el proceso de fermentación se pierde una parte de los sólidos totales del estiércol. Según Ancassi (15), esta pérdida oscila entre el 13% y el 20%, siendo el valor promedio del 17%. Por lo tanto, para calcular el biofertilizante diario, se utilizará una fórmula que considera esta disminución en la cantidad de sólidos.

$$\text{Biol} = \text{EF} - (\text{EF} * 0,17)$$

Donde:

EF= Estiércol Fresco

17%= 0,17 de solidos totales

Entonces:

$$\text{Biol} = 219,5 - (219,5 * 0,17) = 182,27 \text{ kg de estiércol fresco}$$

La cantidad de biofertilizante generado a diario considerando la relación estiércol: agua (1:3) de la mezcla será de:

$$\text{Biol} = 182.27 \text{ kg estiércol fresco } \frac{1\text{L}}{1\text{K}} (1) + 182.27 \text{ agua (3)} = 729.08\text{L de biofertilizante al día}$$

$$729.08/1000 = 0,73 \text{ m}^3$$

A continuación, en la tabla 5 se muestran los cálculos generados de biofertilizante y biogás en la granja Santa Marianita día 33 de acumulación:

**Tabla 5.** Cálculos biofertilizante y biogás generado día 33.

Biofertilizante	0,73 m <sup>3</sup>	33 días	24.09 m <sup>3</sup>
Biogás	0,29 m <sup>3</sup>	33 días	9.57 m <sup>3</sup>

El biodigestor utilizado presenta una estructura dividida en dos secciones: un 25% del volumen total está destinado a la acumulación de biogás, mientras que el 75% restante se ocupa con la mezcla de estiércol y agua en una proporción de 3:1. Gracias a su diseño hermético, el biogás queda confinado en el espacio designado. Para garantizar un proceso de digestión óptimo, se realizó una agitación manual cada dos días, tal como recomienda Ancassi (15), con el objetivo de mantener los sólidos en suspensión y favorecer la actividad microbiana.

## Discusión

Los cálculos realizados demostraron que la capacidad del biodigestor de 39,000 litros resultó adecuada para procesar los residuos orgánicos generados en la granja porcícola "Santa Marianita".

La relación estiércol-agua de 1:3, recomendada por la FAO (12), permitió optimizar el proceso de digestión y garantizar una producción eficiente de biogás. Estos resultados concuerdan con los estudios de Maldonado (16), quien indica que un dimensionamiento adecuado del biodigestor es fundamental para maximizar su rendimiento.

En otro hallazgo, el tiempo de retención de 33 días obtenido en este estudio se encuentra dentro del rango recomendado para climas tropicales (30-40 días) según la FAO (12). Este resultado sugiere que las condiciones del biodigestor y la composición de los residuos orgánicos favorecieron un proceso de digestión eficiente. Sin embargo, estudios a largo plazo podrían ser necesarios para confirmar esta tendencia y evaluar el impacto de variaciones estacionales en el tiempo de retención (17).

La producción de biogás de 9.57 m<sup>3</sup> en 33 días indica un buen rendimiento del biodigestor. Este valor se encuentra dentro del rango reportado por Domínguez (18), en estudios similares realizados con biodigestores de tamaño similar. Sin embargo, es importante considerar que la producción de biogás puede verse afectada por factores como la temperatura, el pH y la concentración de nutrientes en el sustrato (19). Futuras investigaciones podrían explorar el efecto de diferentes variables operativas en la producción de biogás.

Por otra parte, la producción de biofertilizante a los 33 días de utilización fue de 24.09 m<sup>3</sup>. Si bien no se cuantificó la concentración exacta de nutrientes en el biofertilizante producido, se espera que sea una fuente rica en materia orgánica y nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, como lo demuestran numerosos estudios como Armijos (20), Baras (21) y Valencia (22). La presencia de materia orgánica estabilizada en el biofertilizante contribuye a mejorar la estructura del suelo, aumentando su capacidad de retención de agua y nutrientes. Además, el biofertilizante puede contener una variedad de micronutrientes y fitohormonas que promueven el desarrollo radicular y la actividad microbiana del suelo.

## CONCLUSIONES

Tras la evaluación del biodigestor anaeróbico de la granja Porcicola "Santa Marianita" para la disminución de residuales contaminantes y el

aprovechamiento de la producción de biogás y Biol, Se llegó a las siguientes conclusiones:

El volumen total del biodigestor, la cantidad de estiércol diario que genera la granja al día y el agua reutilizada del lavado diario fue de 39 m<sup>3</sup>, 219.52kg y 655.1L respectivamente.

Es de resaltar que, el biodigestor generó al trigésimo tercer día 9,57 m<sup>3</sup> de biogás y la producción de Biol en igual etapa de tiempo fue de 24.09 m<sup>3</sup>. Lo que permitió mitigar los malos olores producto de la descomposición de la materia orgánica y proliferación de insectos como moscas y sancudos.

Finalmente, el uso del biodigestor no solo permitió una gestión eficiente de los residuos orgánicos generados en la granja, sino que también demostró ser una solución sostenible al convertir los desechos en recursos valiosos, como energía renovable (biogás) y fertilizante orgánico (Biol).

**CONFLICTO DE INTERESES.** Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

## 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. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/12102>
2. 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. DOI:10.1002/agg2.20322

3. 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. 2023doi:10.12345/rbl.v5i2.6789.
4. Wong C, Acosta D, Mojica C, Márquez L, Vidal E. Obtención de biofertilizantes enriquecidos en biodigestores semicontinuos a nivel laboratorio. *Ciencia Latina Rev Cient Multidiscip.* 2023;7(1):5241-5258. doi:10.37811/cl\_rcm.v7i1.4827.
5. Mahmudul I, Kundu S, Liu X, Wei Y, Leng Y. The role of anaerobic digestion in waste management and energy recovery: A review. *Waste Manag.* 2021; 129:123-134. doi: 10.1016/j.wasman.2021.04.012.
6. Pereyra C. Biofertilizante a partir de residuos bovinos y porcinos para su uso en la producción agrícola. 2022. <http://repositorio.unach.mx:8080/jspui/handle/123456789/3803>
7. Durazno A. Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas. 2018. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15445>
8. Vargas P, Villavicencio, M. Eficacia del biogás elaborado con estiércol de ganado bovino y porcino del camal municipal de Moyobamba 2019. 2019. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/57726>
9. Bernardo E, Dantas M, Azevedo D, Costa C, Bezerra R, Pedrosa R, Cardoso L, de Souza J. Biodigestor anaeróbico: producción de biogás y biofertilizantes a partir de desechos ganaderos, purificación de biogás e implementación de cultivos de microalgas. 2023. <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/39557>
10. Enríquez M. Diseño de un biodigestor de excretas animales en la comunidad El Calvario, parroquia Veracruz, cantón Pastaza, Ecuador. 2022. <https://doi.org/10.37815/rte.v34n4.928>
11. 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. 2021. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6379/1/UPSE-TIA-2021-0088.pdf>
12. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. Manual del biogás. 2011. <https://www.fao.org/4/as400s/as400s.pdf>
13. Toala E. Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el Rancho Veronica. 2013. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3406/1/236T0100.pdf>
14. Osejos-Merino M, Jaramillo-Véliz J, Merino-Conforme M, Quimis-Gómez A, Alcívar-Cobeña, J. Producción de biogás con estiércol de cerdo a partir de un biodigestor en la Granja EMAVIMA Jipijapa “”. 2018. Ecuador. *Dominio De Las Ciencias*, 4(1), 709–733. <https://doi.org/10.23857/dc.v4i1.788>
15. Ancasi J. Producción a escala piloto de fertilizante orgánico acelerado por fermentación láctica a partir de excretas de cerdo y vinaza. 2024. [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAL\\_a2e5440ad91d5caf93ca294888b5a570/Details](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAL_a2e5440ad91d5caf93ca294888b5a570/Details)
16. Maldonado I. Caracterización fisicoquímica de los efluentes obtenidos de un biodigestor alimentado con excretas porcinas en la Unidad Agroambiental el Tíbar, Ubaté, Cundinamarca. 2024. <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/items/48abe51a-63c0-4f06-a225-0a2ddaa8f9c0>
17. Ramos Y. Dimensionamiento de un biodigestor para el tratamiento de excretas de cerdos. 2021. <https://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/Biodigestor%20-%20efluentes.pdf>
18. Dominguez G. Calidad de subproductos derivados de un biodigestor alimentado con dos cargas orgánicas de residuos porcícolas. 2023. <https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/article/view/160>
19. Poma Y. Propuesta De Implementación de un Biodigestor tubular para el manejo de estiércol de porcino en San Juan De Lurigancho, 2021. <https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/858>

**20.** Armijos A. Análisis de macronutrientes (n, p, k) de un fertilizante orgánico tipo biol proveniente de excretas de cerdo, Tenguel- Guayaquil. 2023. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ARMIJOS%20LEON%20JOSE%20ADRIAN.pdf>

**21.** Baras Y. Excretas porcinas para la producción de Biofertilizante mediante digestión anaeróbica, en la localidad Saracoto Alto, Lurigancho, Chosica – 2021. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/71995>

**22.** 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. 2023. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/22124>

#### ACERCA DE LOS AUTORES

**Edwin Orlando Pino Panchi.** Médico veterinario zootecnista, Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador. Magister en Producción Animal, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador. Docente de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Ecuador. Docente Universidad Estatal de Manabí. Participación en ponencias y en congreso a nivel nacional e internacional; Instructor en cursos de inseminación artificial en bovinos, ginecología y palpación en bovinos, primeros auxilios veterinarios, cursos de gestión ganadera en la empresa Produbiogensa Machachi Ecuador.

**Jhonny Wilmer Pilay Mero.** Médico veterinario zootecnista, Universidad Agraria del Ecuador. Magister en Administración de empresas, Universidad Agraria del Ecuador. Técnico-Instructor en Ministerio de agricultura y ganadería, Magap, Ecuador.

**Andrés Enrique Drouet Candell.** Ingeniero Agrónomo, Universidad Agraria del Ecuador. Magister en Agroecología y Agricultura sostenible, Universidad Agraria del Ecuador. Doctor en Ciencias agrícolas, Universidad Agraria de la Habana Fructuoso Rodríguez Pérez, Cuba. Docente Universidad Estatal Península de Santa Elena. Director Distrital Ministerio Agricultura y Ganadería Provincia de Santa Elena, Ecuador.

**Adriana Vanessa Tomalá Tomalá.** Ingeniera Agropecuaria, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador. Magister en Educación Mención Tecnología e Innovación Educativa, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador. Participación en congresos a nivel nacional e internacional. Docente de contrato en Unidad Educativa 11 de diciembre, la libertad-Ecuador.