

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Efecto del tamaño del biodigestor alimentado con estiércol
bovino a temperaturas psicrófilas sobre la producción de biogás**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Mónica Silvia Sucasara Adco

Asesor:

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, noviembre de 2024


DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EFECTO DEL TAMAÑO DEL BIODIGESTOR ALIMENTADO CON ESTIÉRCOL BOVINO A TEMPERATURAS PSICRÓFILAS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS”** del autor **Mónica Silvia Sucasara Adco** tiene un índice de similitud de 6% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 04 días del mes de noviembre del año 2024.



Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 04 día(s) del mes de noviembre del año 2023, siendo las 11:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del

(de la) presidente(a):

Msc. Miguel Angel Salgado Enriquez el (la) secretario(a): Msc. Soayda Abigail

Yondori Zurpe y los demás miembros: Mg Franklyn Elard Zapana

Yucra - Ing Verónica Hydú Pasi Mamani y el (la) asesor(a) Mtro Juan Eduardo Vigo

Rivera con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

Efecto del tamaño del biodigestor alimentado con estiércol bovino a temperaturas psicrófilas sobre la producción de biogás

del(los) bachiller(es): a) Mónica Silvia Sucasara Adco

b) _____

c) _____

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Mónica Silvia Sucasara Adco

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Buena</u>	<u>Muy Buena</u>

Bachiller (b): _____

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Bachiller (c): _____

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]
Presidente/a

[Firma]
Asesor(a)

[Firma]
Bachiller (a)

[Firma]
Miembro

Bachiller (b)

[Firma]
Secretario/a

[Firma]
Miembro

Bachiller (c)

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. METODOLOGÍA.....	7
2.1. Ubicación experimental.....	7
2.2. Biodigestores tubulares de bajo costo.....	7
2.3. Mediciones y monitoreo.....	9
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
3.1. Diseño bioclimático de los biodigestores.....	9
3.2. Estabilidad del proceso de DA.....	9
3.3. Operación de los biodigestores.....	11
4. CONCLUSIÓN.....	13
REFERENCIAS.....	14

Efecto del tamaño del biodigestor alimentado con estiércol bovino a temperaturas psicrófilas sobre la producción de biogás

RESUMEN

Cuando se realiza la exploración de un nuevo sustrato para la producción de biogás (metano) por digestión anaerobia, es prescindible una implementación inicial de un biodigestor a escala piloto, y una posterior implementación a escala real para brindar una solución más aproximada a la realidad. Con base en esto, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del tamaño del biodigestor alimentado con estiércol bovino a temperaturas psicrófilas sobre la producción de biogás. La investigación se realizó en el altiplano peruano, a 3,824 msnm, ciudad de Juliaca (Puno). Se instalaron dos biodigestores tubulares de 8 y 16 m³, con diseño bioclimático, lo cual brindó una solución efectiva para la gestión del estiércol bovino en regiones con temperaturas ambientales bajas (~10 °C). El biodigestor de 8 m³ fue alimentado diariamente con una mezcla de estiércol bovino y agua en una relación 1:3, para un tiempo de retención hidráulico (HRT) de 60 días. Gracias al diseño bioclimático, se incrementó la temperatura del lodo en el biodigestor hasta 23.24 °C (12.02°C superior a la temperatura media ambiental), condición que permitió una adecuada remoción de sólidos volátiles (SV) y demanda química de oxígeno (COD) del 86.43 % y 72.68 %, y una producción de 1.27 Nm³ biogás/día con un contenido de metano del 64 %. Mientras tanto, el biodigestor de 16 m³ fue alimentado bajo las mismas condiciones del sustrato. La temperatura del lodo en este biodigestor fue 11.23°C superior a la temperatura media ambiental. En cuanto a la producción, se obtuvo 2.43 Nm³ biogás/día con un contenido de metano del 64.6%, y se logró una remoción SV y COD del 88.33 y 80.57%. Esta investigación provee un soporte técnico para la utilización de biodigestores de bajo costo en regiones de clima frío.

Palabras clave: diseño bioclimático, biodigestor rural, condiciones psicrófilas, escalamiento

Effect of biodigester size fed with bovine manure at psychrophilic temperatures on biogas production

ABSTRACT

When exploring a new substrate for biogas (methane) production by anaerobic digestion, it is essential to initially implement a pilot-scale biodigester, followed by a later full-scale implementation to provide a solution closer to reality. Based on this, the objective of this study was to determine the effect of the size of the biodigester fed with bovine manure at psychrophilic temperatures on biogas production. The research was carried out in the Peruvian highlands, at 3,824 meters above sea level, in the city of Juliaca (Puno). Two tubular biodigesters of 8 and 16 m³ were installed, with a bioclimatic design, which provided an effective solution for the management of bovine manure in regions with low ambient temperatures (~10 °C). The 8 m³ biodigester was fed daily with a mixture of bovine manure and water in a 1:3 ratio, for a hydraulic retention time (HRT) of 60 days. Thanks to the bioclimatic design, the sludge temperature in the biodigester was increased to 23.24 °C (12.02 °C higher than the average ambient temperature), a condition that allowed an adequate removal of volatile solids (VS) and chemical oxygen demand (COD) of 86.43 % and 72.68 %, and a production of 1.27 Nm³ biogas/day with a methane content of 64 %. Meanwhile, the 16 m³ biodigester was fed under the same substrate conditions. The sludge temperature in this biodigester was 11.23 °C higher than the average ambient temperature. In terms of production, 2.43 Nm³ biogas/day was obtained with a methane content of 64.6%, and a SV and COD removal of 88.33 and 80.57% was achieved. This research provides technical support for the use of low-cost biodigesters in cold climate regions.

Keywords: bioclimatic design, rural biodigester, psychrophilic conditions, scaling

1. INTRODUCCIÓN

La digestión anaerobia (DA) es una tecnología que brinda energía limpia (biogás) y un fertilizante orgánico (digestato) útiles en áreas rurales de países en desarrollo (Ferrer et al., 2011). La DA es una tecnología limpia que mejoran la calidad de vida de las familias rurales (Gaballah et al., 2020). En Latinoamérica, el modelo más empleado es el biodigestor tubular (Martí-Herrero, Alvarez, et al., 2014). Gran parte de la experiencia en el uso de biodigestores tubulares se da en regiones de climas cálidos o en el trópico (Pham et al., 2014). Sin embargo, últimamente, se está poniendo un gran esfuerzo en adaptar los biodigestores tubulares para que trabajen en condiciones de climas fríos.

La DA es un proceso dependiente de la temperatura (Hassanein et al., 2015). La DA se clasifica en cuatro rangos de temperatura: psicrófilo (10–27 °C), mesofílico bajo (30 °C), mesofílico (35°C) y termofílico (55 °C) (Pham et al., 2014). A bajas temperaturas, los microorganismos metanogénicos tienen bajas tasas de crecimiento, resultando en una baja producción de biogás (Hassanein et al., 2015). Se han propuesto diferentes métodos para aumentar la temperatura interna de un biodigestor: calentamiento eléctrico, o calentamiento utilizando gas natural y biogás (Gaballah et al., 2020; Perrigault et al., 2012). La implementación de estos métodos no es económicamente conveniente. Otra opción es un diseño de calentamiento solar pasivo (aislamiento e invernadero) (Jaimes-Estévez et al., 2020). El uso de invernaderos ayuda a incrementar la temperatura del proceso de DA, y mejora los resultados de producción de biogás. El invernadero permite la absorción y preservación del calor proveniente del sol, y evita pérdidas de calor al ambiente y suelo (Garfí et al., 2016; Martí-Herrero, Alvarez, et al., 2014).

Martí-Herrero & Cipriano (2012) desarrollaron un biodigestor de bajo costo diseñado para climas fríos. El biodigestor fue aislado del suelo con poliestireno e integrado a un invernadero con paredes de adobe y cubierta plástica transparente. El diseño aumentó la temperatura del lodo 8.4 °C encima de la temperatura ambiente. Se ha demostrado la efectividad del invernadero para aumentar la temperatura de los biodigestores (Martí-Herrero, 2007, 2011). Sin embargo, mejoras en el diseño térmico del invernadero podría ser una solución clave para aumentar la producción de biogás de biodigestores, y hoy en día son aspectos muy poco estudiados. Por tanto, esta investigación tuvo por objetivo determinar el efecto del tamaño de biodigestores tubulares de bajo costo alimentados con estiércol bovino sobre la producción de biogás a temperaturas psicrófilas en el altiplano peruano.

2. METODOLOGÍA

2.1. Ubicación experimental

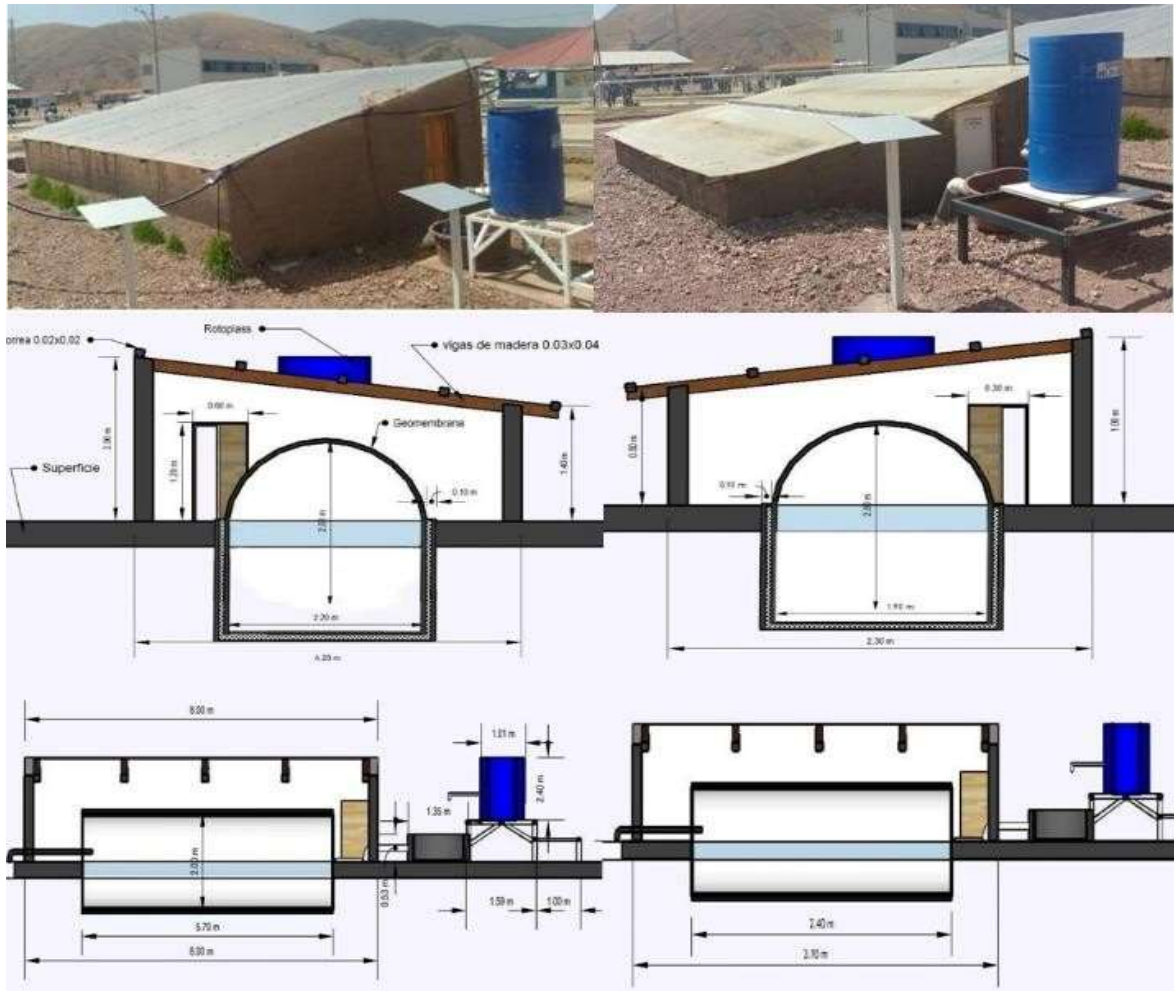
La investigación se desarrolló a una altitud de 3,829 msnm en la región de Puno, al sur de Perú, en la cual el promedio máximo de temperatura durante el día es de 20 °C y el promedio mínimo es de -10 °C, con una presión atmosférica de 450 mmHg.

2.2. Biodigestores tubulares de bajo costo

Se instalaron dos biodigestores tubulares de bajo costo, con volúmenes de 8 m³ y 16 m³ (Figura 1). El de 8 m³ es el más recomendado para familias rurales (3 a 5 personas), mientras que el de 16 m³ se utilizó para comparar el efecto del tamaño.

Figura 1

Diseño de los biodigestores de 8 y 16 m³



Fuente: Elaboración propia.

Ambos biodigestores fueron construidos con el mismo material y diseño, siguiendo la metodología de Martí-Herrero & Cipriano (2012), con modificaciones en los materiales y aislamiento. Se usó geomembrana de 1.5 mm de espesor, y los biodigestores fueron semienterrados a 1 m de profundidad, aislados con tres capas: plástico azul tipo manga, poliestireno (Tecnopor) de 10 cm y geotextil. Alrededor, se construyó un invernadero con paredes de adobe (23 cm de espesor) y techo de policarbonato, orientado de este a oeste. Los biodigestores se alimentaron de lunes a viernes con estiércol bovino y agua en una relación de 1:3 (Martí-Herrero, Alvarez, et al., 2014), operando con un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 60 días. Se instalaron sensores de temperatura en el lodo y el exterior del invernadero, cuya precisión se verificó con el sensor del equipo Hach HQ40, registrando datos cada hora.

2.3. Mediciones y monitoreo

Los biodigestores fueron monitoreados por 75 días. La producción de biogás fue medida de lunes a viernes con un medidor de diafragma de baja presión (G2.5 Metrix). Se tomaron muestras de biogás en bolsas herméticas de aluminio para analizar la concentración de CH₄, usando un analizador de biogás (MULTITEC 545). La producción de biogás se normalizó a condiciones estándar (1 atm y 0 °C).

Para la caracterización del influente y efluente, se tomaron muestras cada 15 días, las cuales se refrigeraron y almacenaron hasta los análisis. Los análisis se hicieron por triplicado. Los sólidos volátiles (SV) y la demanda química de oxígeno (DQO) fueron medidos con procesos estandarizados (Gaballah et al., 2020). El pH se midió usando un pH-metro HORIBA, mientras que la alcalinidad total (AT) y ácidos grasos volátiles (AGV) se midieron por titulación con el método descrito por (Martí-Herrero, Chipana, et al., 2014a). Los datos se analizaron con un análisis estadístico descriptivo, complementado con un análisis de varianza ANOVA ($p < 0.05$), utilizando una comparación de medias Tukey \pm error estándar.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Diseño bioclimático de los biodigestores

Las condiciones climáticas del altiplano peruano han conducido a la adaptación de los biodigestores tubulares. Perrigault et al. (2012) evaluaron un biodigestor tubular adaptado a condiciones de clima frío en Perú a 3,400 msnm, mostrando un incremento en la temperatura del lodo de 8.4 °C respecto a la temperatura ambiente. El biodigestor se construyó con membrana PVC, aislado del suelo con paja y alrededor un invernadero con paredes de adobe y techo en polietileno de invernadero. En Bolivia se utilizaron materiales similares en la construcción de los biodigestores (Martí-Herrero, Alvarez, et al., 2014; Martí-Herrero & Cipriano, 2012). En nuestra investigación, los biodigestores se instalaron a más de 3,800 msnm, por este motivo se usaron materiales resistentes y se mejoró el aislamiento. Los biodigestores fueron de geomembrana, se emplearon tres capas de aislamiento suelo-biodigestor (plástico, poliestireno y geotextil), y los techos de los invernaderos fueron de policarbonato que retiene el calor y tiene larga vida útil. Todas estas mejoras aportaron en el funcionamiento y estabilidad de los biodigestores tubulares.

3.2. Estabilidad del proceso de DA

La estabilidad de los biodigestores se analizó con los parámetros pH, AGV, AT y AGV/AT (Tabla 1). En la entrada del biodigestor de 8 m³, el pH se mantuvo estable, con una ligera fluctuación al inicio. Los AGV en la entrada aumentaron hacia el día 45, indicando un mayor contenido de materia orgánica degradable en ese momento. A pesar de ello, la AT también se incrementó, permitiendo una amortiguación de los ácidos. La relación AGV/AT se mantuvo cerca de 1 durante todo el período, lo que indicó un proceso de DA estable.

En la salida del biodigestor de 8 m³, el pH se incrementó progresivamente, alcanzando un máximo de 8.40 en el día 75, indicando una mayor alcalinidad al final del

proceso. Los AGV disminuyeron de manera constante, reflejando una degradación eficiente de los AGV con el tiempo. Además, la relación AGV/AT disminuyó de forma constante, alcanzando 0.49 en el día 75, lo que indica la estabilidad del sistema (Callaghan et al., 2002) y una conversión eficaz de la materia orgánica a biogás.

Tabla 1

Parámetros de estabilidad en el proceso de digestión anaerobia

	<i>Biodigestor</i>	<i>pH</i>	<i>AGV</i>		<i>AT</i>	<i>AGV/AT</i>
			<i>mg CH₃COOH</i>	<i>mg CaCO₃H</i>		
D-0	8m³	Entrada	7.55 ± 0.14 A	1230.00 ± 42.43 B	1325.00 ± 35.36 C	0.93 ± 0.06 AB
		Salida	7.98 ± 0.01 A	828.00 ± 16.97 B	1625.00 ± 35.36 C	0.51 ± 0.02 AB
	16m³	Entrada	7.87 ± 0.21 B	916.00 ± 70.31 A	906.67 ± 68.07 B	1.01 ± 0.08 A
		Salida	7.77 ± 0.15 B	616.00 ± 104.84 A	730.00 ± 95.39 AB	0.84 ± 0.05AB
D-15	8m³	Entrada	7.87 ± 0.04 B	864.00 ± 24.00 A	960.00 ± 10.00 A	0.90 ± 0.03 A
		Salida	8.35 ± 0.03 B	624.00 ± 31.75 A	1286.67 ± 11.55 B	0.48 ± 0.02 A
	16m³	Entrada	6.84 ± 0.05 A	1072.00 ± 54.11 A	1403.00 ± 140.4 C	0.77 ± 0.10 A
		Salida	7.23 ± 0.07 A	500.00 ± 38.57 A	1033.3 ± 5.7 C	0.48 ± 0.04 A
D-45	8m³	Entrada	7.88 ± 0.02 B	1656.00 ± 20.78 C	1650.00 ± 26.46 D	1.00 ± 0.02 B
		Salida	8.32 ± 0.01 B	648.00 ± 63.50 A	1186.67 ± 46.19 A	0.55 ± 0.03 B
	16m³	Entrada	7.75 ± 0.07 B	1144.00 ± 124.9 A	613.33 ± 32.1 A	1.86 ± 0.10 B
		Salida	7.86 ± 0.04 BC	620.00 ± 56.7 A	600.00 ± 52.92 A	1.03 ± 0.04 AB
D-75	8m³	Entrada	7.87 ± 0.00 B	1248.00 ± 24 B	1253.33 ± 5.77 B	1.00 ± 0.02 B
		Salida	8.40 ± 0.01 C	560.00 ± 6.93 A	1133.33 ± 11.55 A	1.00 ± 0.02 A
	16m³	Entrada	7.84 ± 0.05 B	1088.00 ± 190.6 A	613.33 ± 25.2 A	1.78 ± 0.32 B
		Salida	8.04 ± 0.02 C	1264.00 ± 78.5 B	823.33 ± 101.2 B	1.48 ± 0.73 B

Fuente: Elaboración propia.

El biodigestor de 16 m³ mostró mayor variabilidad en los parámetros evaluados. El pH de entrada disminuyó el día 15, indicando acidificación. Los AGV fluctuaron, alcanzando un máximo el día 45, mientras que la AT se mantuvo constante, pero a niveles más bajos que en el biodigestor de 8 m³. La relación AGV/AT mostró inestabilidad, con un pico de 1.86 el día 45. Sin embargo, el pH de salida se mantuvo estable, con un ligero aumento hacia el día 75. Los AGV disminuyeron irregularmente y, en ocasiones, la AT fue inferior a la entrada, lo que sugiere una menor capacidad buffer en comparación con el biodigestor de 8 m³. Aunque la relación AGV/AT tendió a disminuir hacia el día 75, mostró alta variabilidad, indicando inestabilidad en el proceso de digestión anaerobia (DA).

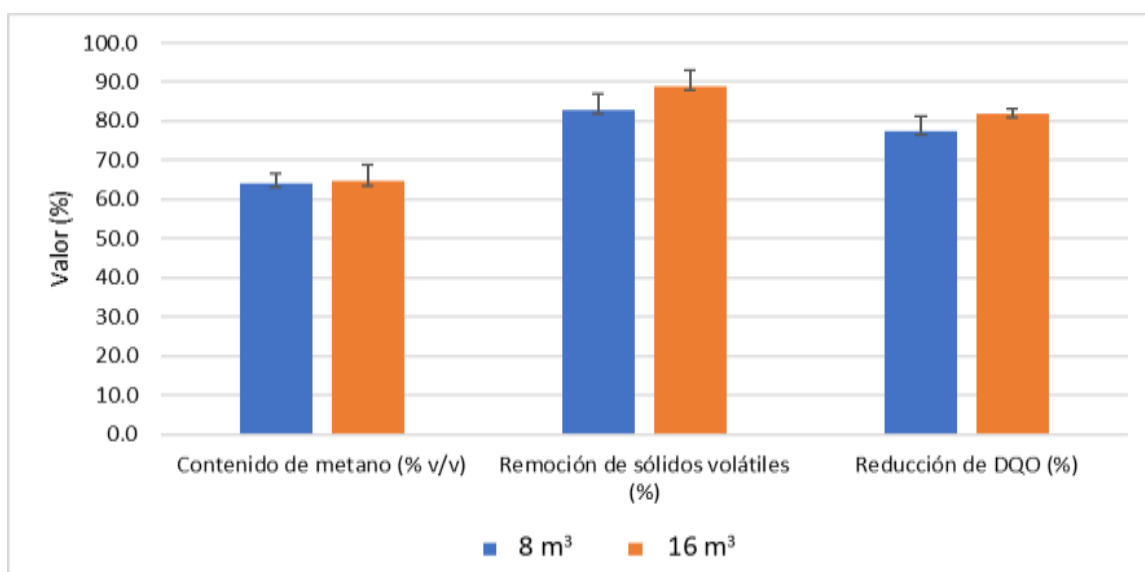
Las variaciones observadas en los parámetros de estabilidad pueden atribuirse a ligeros cambios en la composición del sustrato y en la calidad del agua de dilución. Sin embargo, las inestabilidades en pH, AGV y AT no afectaron el desempeño de los biodigestores. Los valores de pH de salida fueron de 7.23–8.4, adecuados para la digestión anaerobia (DA) (Alvarez & Lidén, 2008). Se ha reportado que a mayor temperatura en el proceso de DA, el pH aumenta y se estabiliza (Zhong et al., 2015). Los resultados sugieren una influencia positiva del diseño bioclimático en la temperatura del proceso. Además, las concentraciones de AGV fueron inferiores al límite inhibitorio (1,500 mg/L), lo que facilitó el progreso del proceso de DA (Gaballah et al., 2020).

3.3. Operación de los biodigestores

El contenido de CH₄, la remoción de SV y la reducción de DQO en los biodigestores de 8 y 16 m³ se muestra en la Figura 2. El contenido de CH₄ fue similar: 64.0 % en el biodigestor de 8 m³ y 64.6 % en el de 16 m³. A pesar de la inestabilidad en el biodigestor de 16 m³ en parámetros como AGV y pH, el contenido de CH₄ se mantuvo estable en ambos sistemas, consistente con un proceso de DA eficiente, donde se espera un contenido de CH₄ del 60–65% (Tavera-Ruiz et al., 2023). Los valores obtenidos son similares a los reportados por (Gaballah et al., 2020) y (Ferrer et al., 2011) (60–67 %), pero superiores a los de (Alvarez & Lidén, 2009) (39 –61 %) y (Martí-Herrero, Alvarez, et al., 2014) (47 %). Los resultados más altos posiblemente se deben a variaciones en las condiciones operacionales y en el diseño.

Figura 2

Operación de los biodigestores de 8 y 16 m³



Fuente: Elaboración propia.

El biodigestor de 16 m³ mostró mayor eficiencia en la remoción de SV (89.03 %) que el de 8 m³ (82.85 %), a pesar de variaciones en algunos parámetros de estabilidad. Esta eficiencia es superior a la reportada por Castro et al. (2017) (76 %) en condiciones mesófilicas. En cuanto a la reducción de DQO, el biodigestor de 16 m³ alcanzó un 81.8 %, comparado con el 77.4 % del de 8 m³, indicando una mayor descomposición de la materia orgánica y un efluente con menor carga contaminante. La remoción de DQO también fue significativamente mayor que la obtenida para estiércol bovino (51–79 %) (Gaballah et al., 2020). La adaptación del biodigestor tubular a las condiciones del altiplano peruano resultó en una mayor eficiencia en la remoción de SV y DQO, en comparación con otros estudios

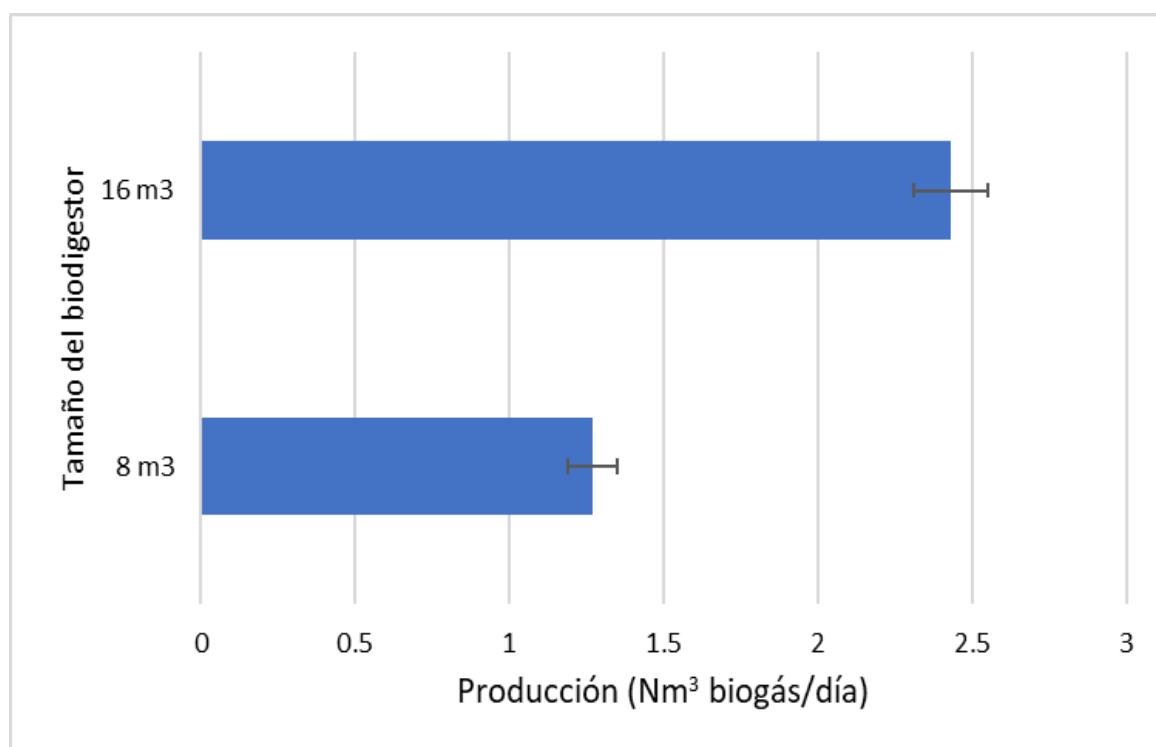
donde se utilizaron biodigestores tubulares en condiciones similares (Castro et al., 2017; Ferrer et al., 2011; Martí-Herrero, Alvarez, et al., 2014; Perrigault et al., 2012).

La producción de biogás en ambos biodigestores se ilustra en la Figura 3. Se observó un rendimiento comparable por unidad de volumen, lo que indica que el tamaño del biodigestor influye en la producción de biogás. A pesar de las diferencias de volumen, la eficiencia en la conversión de materia orgánica a biogás fue similar en ambos sistemas, lo que resalta la consistencia tanto en las condiciones operacionales como en el diseño de los biodigestores.

Asu vez, la producción de biogás difiere del tamaño del biodigestor, ya que la producción neta de 8m³ es de 1,2 (Nm³ biogás/días) y la de 16 m³ es de 2.4 (Nm³ biogás/días), indicándonos que la producción de biogás es según tamaño, sin embargo, la calidad de metano es similar para ambos tamaños de los biodigestores.

Figura 3

Producción de biogás en biodigestores tubulares



Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que la vida útil estimada de un digestor tubular es de 10 años, dependerá del material y las condiciones ambientales, siendo los más apropiados en tecnologías de bajo costo, su elección correcta depende de los factores locales (social, técnico y económico) y de las circunstancias ambientales particulares para su uso (Martí-Herrero, Chipana, et al., 2014).

4. CONCLUSIÓN

Los resultados de esta investigación resaltan la adaptabilidad de los biodigestores tubulares en el altiplano peruano, donde un diseño adecuado puede mejorar la producción de biogás y la eficiencia en la remoción de residuos orgánicos en climas fríos. A pesar de las diferencias en tamaño, la producción de biogás por unidad de volumen fue comparable en ambos biodigestores, lo que sugiere una consistencia en los factores operativos y en el diseño bioclimático de los sistemas.

Estos hallazgos pueden influir en el diseño futuro de biodigestores en climas fríos, enfatizando la importancia del aislamiento y el uso de materiales que retengan el calor. La implementación de geomembranas, capas de aislamiento y estructuras de invernadero resultaron efectivas en mejorar el rendimiento de los biodigestores en altitudes elevadas. Si se diseñan e implementan adecuadamente, estos sistemas pueden ser altamente eficientes y sostenibles para la producción de biogás, contribuyendo a una mejor gestión de residuos orgánicos y a la generación de energía renovable.

REFERENCIAS

- Alvarez, R., & Lidén, G. (2008). The effect of temperature variation on bimethanation at high altitude. *Bioresource Technology*, 99(15), 7278–7284. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.055>
- Alvarez, R., & Lidén, G. (2009). Low temperature anaerobic digestion of mixtures of llama, cow and sheep manure for improved methane production. *Biomass and Bioenergy*, 33(3), 527–533. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.08.012>
- Callaghan, F. J., Wase, D. A. J., Thayanithy, K., & Forster, C. F. (2002). Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure. *Biomass and Bioenergy*, 22(1), 71–77. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(01\)00057-5](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(01)00057-5)
- Castro, L., Escalante, H., Jaimes-Estévez, J., Díaz, L. J., Vecino, K., Rojas, G., & Mantilla, L. (2017). Low cost digester monitoring under realistic conditions: Rural use of biogas and digestate quality. *Bioresource Technology*, 239, 311–317. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.035>
- Ferrer, I., Garfí, M., Uggetti, E., Ferrer-Martí, L., Calderon, A., & Velo, E. (2011). Biogas production in low-cost household digesters at the Peruvian Andes. *Biomass and Bioenergy*, 35(5), 1668–1674. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.036>
- Gaballah, E. S., Abdelkader, T. K., Luo, S., Yuan, Q., & El-Fatah Abomohra, A. (2020). Enhancement of biogas production by integrated solar heating system: A pilot study using tubular digester. *Energy*, 193, 116758. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116758>
- Garfí, M., Martí-Herrero, J., Garwood, A., & Ferrer, I. (2016). Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 599–614. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.071>
- Hassanein, A. A. M., Qiu, L., Junting, P., Yihong, G., Witorsa, F., & Hassanain, A. A. (2015). Simulation and validation of a model for heating underground biogas digesters by solar energy. *Ecological Engineering*, 82, 336–344. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.05.010>
- Jaimes-Estévez, J., Zafra, G., Martí-Herrero, J., Pelaz, G., Morán, A., Puentes, A., Gomez, C., Castro, L. del P., & Escalante Hernández, H. (2020). Psychrophilic Full Scale Tubular Digester Operating over Eight Years: Complete Performance Evaluation and Microbiological Population. *Energies*, 14(1), 151. <https://doi.org/10.3390/en14010151>
- Martí-Herrero, J. (2007). Transfer of low-cost plastic biodigester technology at household level in Bolivia. *Livestock Research for Rural Development*, 12–19.
- Martí-Herrero, J. (2011). Reduced hydraulic retention times in low-cost tubular digesters: Two issues. *Biomass and Bioenergy*, 35(10), 4481–4484. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.07.020>
- Martí-Herrero, J., Alvarez, R., Rojas, M. R., Aliaga, L., Céspedes, R., & Carbonell, J. (2014). Improvement through low cost biofilm carrier in anaerobic tubular digestion in cold climate regions. *Bioresource Technology*, 167, 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.115>
- Martí-Herrero, J., Chipana, M., Cuevas, C., Paco, G., Serrano, V., Zymla, B., Heising, K., Sologuren, J., & Gamarra, A. (2014). Low cost tubular digesters as appropriate technology for widespread application: Results and lessons learned from Bolivia. *Renewable Energy*, 71, 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.036>

- Martí-Herrero, J., & Cipriano, J. (2012). Design methodology for low cost tubular digesters. *Bioresource Technology*, 108, 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.12.117>
- Perrigault, T., Weatherford, V., Martí-Herrero, J., & Poggio, D. (2012). Towards thermal design optimization of tubular digesters in cold climates: A heat transfer model. *Bioresource Technology*, 124, 259–268. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.08.019>
- Pham, C. H., Triolo, J. M., & Sommer, S. G. (2014). Predicting methane production in simple and unheated biogas digesters at low temperatures. *Applied Energy*, 136, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.057>
- Tavera-Ruiz, C., Martí-Herrero, J., Mendieta, O., Jaimes-Estévez, J., Gauthier-Maradei, P., Azimov, U., Escalante, H., & Castro, L. (2023). Current understanding and perspectives on anaerobic digestion in developing countries: Colombia case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 173, 113097. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113097>
- Zhong, Y., Bustamante Roman, M., Zhong, Y., Archer, S., Chen, R., Deitz, L., Hochhalter, D., Balaze, K., Sperry, M., Werner, E., Kirk, D., & Liao, W. (2015). Using anaerobic digestion of organic wastes to biochemically store solar thermal energy. *Energy*, 83, 638–646. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.070>

ANEXOS

Anexo 1.

Evidencia de sumision del articulo

2/10/24, 2:41 p.m.

Correo: Mónica Silvia Sucasara Adco - Outlook



RV: CIIA 2024 · Submission of your paper 016

Desde Glen Bryan Madrigal Perez <glenmadrigal@upeu.edu.pe>

Fecha Mié 02/10/2024 14:20

Para Mónica Silvia Sucasara Adco <monica.sucasara@upeu.edu.pe>

De: equinocs-admins@springernature.com <equinocs-admins@springernature.com> en nombre de EquinOCS <equinocs-admins@springernature.com>

Enviado: jueves, 26 de setiembre de 2024 11:32

Para: Glen Bryan Madrigal Perez <glenmadrigal@upeu.edu.pe>

Asunto: CIIA 2024 · Submission of your paper 016

This message has been sent by the EquinOCS system

<https://equinocs.springernature.com/>

PLEASE DO NOT REPLY

=====

Dear Glen Bryan Madrigal Perez,

We are pleased to inform you that your paper

016: "Efecto del tamaño del biodigestor alimentado con estiércol bovino a temperaturas psicrófilas sobre la producción de biogás"

has been successfully submitted to

CIIA 2024

by Glen Bryan Madrigal Perez (@glenmadrigal).

To access the paper:

- log into your EquinOCS account
- navigate to CIIA 2024
- access the paper 016 via the 'Your Submissions' page

If you have no EquinOCS account yet, register with EquinOCS using the email address at which you have been receiving this notification.

This way, the paper can be associated with your account.

You will also find the licencing information there.

<https://outlook.office.com/mail/inbox/id/AAQkADc1MWVVMdAyLTe0OTQhNGVY505ZDk1LTA4ZmJiODQwOWNmNAQAk4gMpbMnlpjInDEX5BzTGk...> 1/2

Anexo 2.

Copia de resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad correspondiente



"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

RESOLUCIÓN N° 0236-2024/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Naña 23 de abril de 2024

VISTO:

El expediente de **Monica Silvia Sucasara Adco**, identificado(a) con Código Universitario N° 201720121, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Monica Silvia Sucasara Adco**, ha solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Evaluación de la dinámica de arranque a corto plazo en un biodigestor a escala real en condiciones del altiplano peruano" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 23 de abril de 2024, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

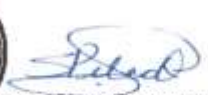
Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "Evaluación de la dinámica de arranque a corto plazo en un biodigestor a escala real en condiciones del altiplano peruano" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar como asesor a **Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera** para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Mg. Franklyn Elard Zapana Yucra** y **Ing. Veronika Haydeé Pari Mamani** otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Ph.D. Silvia Pilco Quesada
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:
-Interesado
-Asesor
-Dirección General de Investigación
-Archivo

Anexo 3.

Panel fotográfico de la ejecución del proyecto de investigación

