

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



**¿Es posible generar más biogás en un digestor tubular a escala  
de granja de lo que predice la prueba BMP?**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Diyane Blanca Mango Mamani  
Liz Yaneth Quispe Pizarro

**Asesor:**

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, febrero 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: “**¿ES POSIBLE GENERAR MÁS BIOGÁS EN UN DIGESTOR TUBULAR A ESCALA DE GRANJA DE LO QUE PREDICE LA PRUEBA BMP?**” de los autores **Diyane Blanca Mango Mamani** y **Liz Yaneth Quispe Pizarro**, tiene un índice de similitud de 5% 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 28 días del mes de febrero del año 2024.



---

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 19 día(s) del mes de febrero del año 2024 siendo las 12:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Ing Enrique Mamani Luela el (la) secretario(a): Ing Nancy Lurasi  
Rafael y los demás miembros: Ing Verónica Haydee Pani Mamani  
Msc Franklyn Elard Zapana Yucra y el (la) asesor(a) Mtro. Juan Eduardo Vigo  
Rivera con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

¿Es posible generar más biogás en un digestor tubular a escala de granja de lo que produce la prueba BMP?

del(los) bachiller(es): a) Diyane Blanca Mango Mamani  
 b) Liz Yaneth Quipe Rizarro  
 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): Diyane Blanca Mango Mamani

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literar	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (b): Liz Yaneth Quipe Rizarro

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literar	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (c): .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literar	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  
[Firma]  
 Bachiller (b)

[Firma]  
 Secretario/a  
[Firma]  
 Miembro  
 Bachiller (c)

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE ANEXOS.....	v
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. METODOLOGÍA.....	9
2.1. El digestor a escala granja.....	9
2.2. Puesta en marcha y funcionamiento del digestor a escala granja.....	10
2.3. Producción de biogás a escala de granja.....	11
2.4. Prueba BMP mesófila y psicrófila.....	12
2.5. Métodos analíticos.....	13
2.6. Análisis estadístico.....	13
3. Resultados.....	14
3.1. Rendimiento térmico del digestor.....	14
3.2. Producción de biogás en digestores a escala granja.....	15
3.3. Resultados de las pruebas operativas BMP.....	18
3.4. Comparación de la PEM a partir de la monitorización del digestor a escala de granja y los resultados de las pruebas BMP.....	20
4. DISCUSIÓN.....	22
5. CONCLUSIÓN.....	24
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25
7. ANEXOS.....	28

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Caracterización del afluente y efluente del digestor a escala de granja para diferentes días de muestreo.....	16
<b>Tabla 2.</b> Parámetros operacionales y de rendimiento del digestor a escala de granja durante el periodo monitoreado. ....	17
<b>Tabla 3.</b> Resultado de la prueba de BMP a 35 y 23 °C para el afluente y resultados residuales de BMP a 35 y 23 °C para el efluente, para los diferentes días muestreados.	19

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Rendimiento térmico del digestor durante la alimentación continua.....	15
<b>Figura 2.</b> Resultados de la prueba BMP para el afluente recolectados en diferentes días, se ejecutan a 35 °C (a), y a 23 °C (b). ....	18
<b>Figura 3.</b> Comparación de la producción específica de metano entre el seguimiento del digestor a escala de granja y la prueba BMP realizada en el laboratorio a 23 y 35 °C para el afluente (en condiciones normales). ....	21

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo A.</b> Evidencia de Sumisión del artículo en una revista de prestigio .....	28
<b>Anexo B.</b> Copia de la resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad.....	29

## ¿Es posible generar más biogás en un digestor tubular a escala de granja de lo que predice la prueba BMP?

### RESUMEN

Este estudio investiga la producción específica de metano de un digestor tubular psicrófilo a escala real en comparación con las pruebas de Potencial Bioquímico de Metano (BMP) realizadas en el afluente del digestor, utilizando el efluente como inóculo, tanto a 35 °C como a 23 °C. El digestor de 8 m<sup>3</sup>, situado en una zona de clima frío, se adaptó con un diseño de calefacción solar pasiva (temperatura del estiércol era de 21,5 °C mientras que la temperatura ambiente era de 10,6 °C). La producción de metano del digestor a escala real (0,36 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV), superó los resultados de las pruebas BMP por lotes (0,19 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV a 35 °C y 0,18 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV a 23 °C). Esto demuestra que la producción específica de metano de las pruebas BMP en afluente no coincide con la del digestor a escala real. Las pruebas BMP a temperaturas mesófilas y psicrófilas arrojan resultados similares en cuanto al potencial de metano, pero con una cinética más lenta en condiciones psicrófilas. El estudio subraya la importancia de la aclimatación del inóculo y la adaptación del sustrato en la digestión anaerobia psicrófila.

**Palabras clave:** digestor a escala real, biogás, digestión anaerobia, psicrófilo y clima frío.

## Is it possible to generate more biogas in a farm-scale tubular digester than predicted by BMP test?

### ABSTRACT

This study investigates the specific methane production of a full-scale psychrophilic tubular digester compared to Biochemical Methane Potential (BMP) tests conducted on the influent of the digester, using the effluent as inoculum, at both 35 °C and 23 °C. The 8 m<sup>3</sup> digester, located in a cold climate zone was adapted with passive solar heating design (slurry temperature of 21.5 °C while ambient was 10.6°C). The full-scale digester methane production (0.36 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgVS), surpassed the results of batch BMP tests (0.19 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgVS at 35°C and 0.18 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgVS at 23 °C). This demonstrates that the specific methane production from BMP tests on influent does not align with that of the full-scale digester. BMP test at mesophilic and psychrophilic temperatures yields similar results on methane potential, but with slower kinetic in psychrophilic conditions. The study underscores the significance of inoculum acclimation and substrate adaptation in psychrophilic anaerobic digestion.

**Key words:** full-scale digester; biogas; anaerobic digestion; psychrophilic; cold climate.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la gestión de residuos y la demanda de energías renovables se han convertido en aspectos que requieren un estudio y un análisis exhaustivo (Sharma et al., 2023). La digestión anaerobia (DA) es una tecnología de tratamiento de residuos orgánicos para generar bioenergía en forma de biogás. El biogás puede servir como recurso energético sostenible, sobre todo en muchas regiones remotas donde hay abundancia de sustratos para digerir. Es el caso de las zonas rurales, principalmente de Asia, África y América Latina, con una parte importante de sus tierras dedicadas a la ganadería y la agricultura (Garfí et al., 2016).

Mientras que la producción de biogás se ha estudiado ampliamente en condiciones mesófilas (30 - 40°C) y termófilas (40 - 60°C), la investigación en condiciones psicrófilas (10 - 20°C) es limitada (Akindolire et al., 2022; Tiwari et al., 2021). Además, la mayor parte de la investigación sobre DA se ha realizado a escala de laboratorio o piloto, faltando datos sobre digestores a escala completa (Tavera-Ruiz et al., 2023). El monitoreo de la producción de biogás es crucial para evaluar la eficiencia y anticipar el desarrollo o comportamiento de los digestores psicrófilos a escala real, asegurando así su óptimo rendimiento. Usualmente, la producción de biogás en digestores a escala real se mide utilizando un flujómetro de biogás (Scano et al., 2014; Martí-Herrero et al., 2014; Jaimes-Estévez et al., 2022) durante un periodo de tiempo representativo. Sin embargo, se han observado diversos problemas cuando estos dispositivos no se revisan periódicamente. La condensación de la humedad del biogás puede acumularse dentro del dispositivo, afectando a las mediciones, al sistema y provocando una presión excesiva que fuerce la salida de los purines del biodigestor (Martí-Herrero et al., 2016). Así, el monitoreo de la producción de biogás en digestores a escala real necesita un mantenimiento del flujómetro de biogás, difícil de atender cuando los digestores a monitorizar se encuentran en el medio rural. Por lo tanto, existe una demanda de

métodos alternativos que puedan aplicarse para estimar los resultados de biogás y proporcionar una evaluación adecuada del rendimiento del biodigestor.

Este estudio aborda estas dificultades investigando un método indirecto de medición del biogás para caracterizar el rendimiento de los digestores a escala real en zonas rurales. La metodología de medición alternativa propuesta son las pruebas de Potencial Bioquímico de Metano (BMP), una técnica que implica la medición de la producción de biogás y su composición en condiciones de laboratorio (Holliger et al., 2016). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es evaluar la producción de biogás de un biodigestor a escala real en comparación con las pruebas BMP realizadas sobre el afluente del digestor utilizando el efluente como inóculo, a dos temperaturas (23 y 35°C).

## **METODOLOGÍA**

Con el objetivo de comparar la producción de metano entre un digestor a escala real y las pruebas de potencial bioquímico de metano (BMP), se instaló un biodigestor tubular de 8 m<sup>3</sup> y se realizaron dos series de pruebas BMP. El digestor se adaptó para funcionar en una zona de clima frío mediante un diseño solar pasivo (color negro, aislamiento e invernadero). Las pruebas BMP se realizaron a dos temperaturas (23°C y 35°C).

### **2.1. El digestor a escala granja**

La investigación se llevó a cabo en el campus de la Universidad Peruana Unión, situado a una altitud de 3.824 metros sobre el nivel del mar en la ciudad de Juliaca, Perú, con coordenadas 15° 30' 56,0898" S y 70° 11' 13,0462" O. Se instaló un digestor en la granja universitaria, que alberga 40 cabezas de ganado. El digestor se alimentó con los excrementos producidos por el ganado mezclados con agua. El digestor es un digestor

tubular hecho con una geomembrana de polietileno de baja densidad de color negro (1,5 mm de espesor). El digester estaba semienterrado en una zanja de 1 m de profundidad, 2,2 m de anchura y 3 m de longitud. Tiene un volumen total de 8 m<sup>3</sup>, con 5,9 m<sup>3</sup> de volumen operativo y 2,1 m<sup>3</sup> para almacenamiento de biogás. El digester se aisló de la zanja con 10 cm de poliestireno expandido. Dado que el digester se instaló en una zona de clima frío (sierra peruana), se construyó un invernadero a su alrededor, orientado de este a oeste, con el techo inclinado hacia el norte, y con paredes de adobe, siguiendo la adaptación del diseño de calefacción solar pasiva de Perrigault et al. (2012) y Martí-Herrero et al. (2014). En la parte superior del digester hay una tubería para la salida del biogás producido durante el bioproceso. El biogás pasa por la tubería a través de un gasómetro, posteriormente a una trampa de agua, un filtro de H<sub>2</sub>S, y finalmente se entrega a la estufa de la cocina para su combustión.

## **2.2. Puesta en marcha y funcionamiento del digester a escala granja**

El digester comenzó su funcionamiento llenándose con una mezcla de agua y estiércol fresco de vaca en una proporción de 3 partes de agua por 1 parte de estiércol. Con esta carga inicial, el digester se dejó en modo discontinuo durante 2 meses, para permitir la mejora del contenido de microorganismos anaerobios en el sistema. Tras el modo discontinuo, se inició un patrón de alimentación diaria de lunes a viernes. La carga diaria fue de 25 kg de estiércol fresco de vaca mezclado con 75 L de agua buscando durante 60 d el tiempo de retención hidráulica (TRH). Considerando que durante los fines de semana no hubo carga, la alimentación media diaria del digester fue de 17,9 kg/d de estiércol y 53,6 l/d de agua. Después de un ciclo completo de TRH (considerando 60 d), con 5/7 alimentaciones diarias, se tomó una muestra del afluente (una mezcla de agua y estiércol) y del efluente de salida cada 15 días (día 60, día 75 y día 90) para caracterizarlos y utilizarlos en la prueba de BMP.

### 2.3. Producción de biogás a escala de granja

La producción de biogás del digestor se midió diariamente de lunes a viernes utilizando un medidor de flujo de gas comercial (Goldcard JK/C1.6) situado antes de la trampa de agua (Martí-Herrero et al., 2016). Del mismo modo, el contenido de metano en el biogás se cuantificó mediante la técnica de desplazamiento alcalino con una solución de NaOH a 2N (Sponza, 2003). Para normalizar estas medidas (a 101,325 kPa y 273,15 K), se empleó la ecuación 1.

$$VN = \frac{V \cdot (P_{atm} - P_{H_2O})}{(T_b + 273.15)} \cdot \frac{273.15}{101.325}$$

Donde  $VN$  es el volumen normalizado,  $V$  el volumen local medido,  $P_{atm}$  es la presión atmosférica media en Juliaca (considerada como 65 kPa a 3,824 m sobre el nivel del mar),  $P_{H_2O}$  es la presión del agua de vapor y  $T_b$  es la temperatura del biogás al pasar por el medidor de flujo de gas (Martí-Herrero et al. , 2016).

La presión del agua de vapor se consideró siguiendo la ecuación de Alduchov y Eskridge (1996) (Ecuación 2):

$$P_{H_2O} = 0.61094 \cdot e^{\frac{17.625 \cdot T_b}{243.04 + T_b}}$$

La producción específica de metano (PEM;  $m^3CH_4/kgSV$ ), de la producción de biogás del digestor a escala de granja, se calculó utilizando la pendiente de la producción normalizada acumulada de metano ( $m^3CH_4/d$ ) dividida por la media de  $kgSV/d$ , considerando que el digestor se carga 5/7 d por semana. Este cálculo se ha realizado utilizando las mediciones completas de datos de biogás desde el día 60 hasta el día 90 y el SV medio en el afluente considerando las tres muestras recogidas en el periodo. Como análisis alternativo de los datos para su discusión, también se ha calculado la PEM para

cada muestra de afluente recogida, considerando la pendiente del metano normalizado acumulado durante 15 días después y antes y utilizando el valor único de SV.

#### **2.4. Prueba BMP mesófila y psicrófila**

Las pruebas BMP se llevaron a cabo siguiendo el protocolo sugerido por Holliger et al. (2016). Para lograr el objetivo planteado en este estudio, las pruebas BMP se realizaron a dos temperaturas diferentes: la primera serie de pruebas a 35 °C (temperatura estándar), y la segunda a 23 °C para simular la temperatura media de funcionamiento del digestor. El sustrato utilizado fue una muestra de la alimentación del digestor a escala de granja (mezcla de estiércol de vaca y agua). El inóculo fue el efluente del digestor (digestato), obtenido el mismo día que el sustrato. Se recogieron tres muestras de sustrato y de inóculo los días 60, 75 y 90 después de iniciarse la pauta de alimentación diaria. Las muestras de sustrato se almacenaron a 4°C hasta los respectivos análisis. Las muestras de inóculo se incubaron en el laboratorio durante tres días a 23°C y 35°C en dos recipientes diferentes antes de la instalación del BMP.

Los ensayos de biodegradación se asentaron en botellas de vidrio de 120 ml con un volumen de trabajo del 50%. La cantidad de inóculo se mantuvo constante en cada botella para reducir la variación potencial entre diferentes experimentos. La relación inóculo-sustrato (RIS) fue de 2 (basada en SV). Para medir la producción endógena de metano, se incluyeron ensayos en blanco (sólo con inóculo). En este caso, el ensayo en blanco corresponde al potencial bioquímico de metano residual (BMP<sub>r</sub>) del digestato. Una vez llenas las botellas, se purgó el espacio de cabeza con gas nitrógeno de alta pureza (99%) durante 30s y, a continuación, se sellaron con tapones de goma y engarces de aluminio. Por último, las botellas se incubaron a 35°C y 23°C. Todos los experimentos se realizaron por triplicado. Durante el proceso de recogida de datos, todos los frascos se agitaron manualmente cada día durante un periodo de 30s. Las pruebas BMP se

realizaron cada 15 días a 35°C y 23°C; en consecuencia, el conjunto de experimentos se denomina: D-60, D-75 y D-90.

La cuantificación del metano producido en cada botella BMP se midió al menos una vez a la semana mediante el método de la densidad del gas (DG - BMP), siguiendo la metodología propuesta por Justesen et al. (2019). El método DG - BMP consiste en medir la pérdida de masa y el volumen de biogás ventilado, a partir de los cuales se determinan la densidad y la composición del biogás.

Por último, las pruebas BMP y BMP<sub>r</sub> concluyeron cuando el volumen de metano acumulado fue indetectable o inferior al 1% del total producido. El resultado de las BMPs es la producción específica de metano (PEM, m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV), normalizada a condiciones estándar de temperatura (273,15 K) y presión (101,325 kPa). La PEM del afluente se calcula restando los resultados de la prueba en blanco (inóculo) a los resultados de la producción de metano de la prueba BMP del sustrato (afluente + inóculo).

## **2.5. Métodos analíticos**

Las muestras de sustrato y de inóculo se analizaron en términos de sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y pH. El contenido de ST y SV se determinó calentando la muestra en un horno (BINDER) a 105°C durante 24 hr y después en un horno de mufla (PROTHERM) a 550°C durante 1 h (métodos 2540B y 2540C; APHA-AWWA-WEF, 2023). El pH se midió con un potenciómetro de sobremesa (HORIBA) siguiendo los métodos estándar (métodos 4500H; APHA-AWWA-WEF, 2023).

## **2.6. Análisis estadístico**

La significación estadística de los experimentos se evaluó con el programa Microsoft Excel. Los datos se analizaron mediante ANOVA unidireccional con un nivel de

confianza del 95%, considerándose significativo un valor  $p < 0,05$ . Los datos mostrados en las tablas y figuras representan medias y desviaciones estándar.

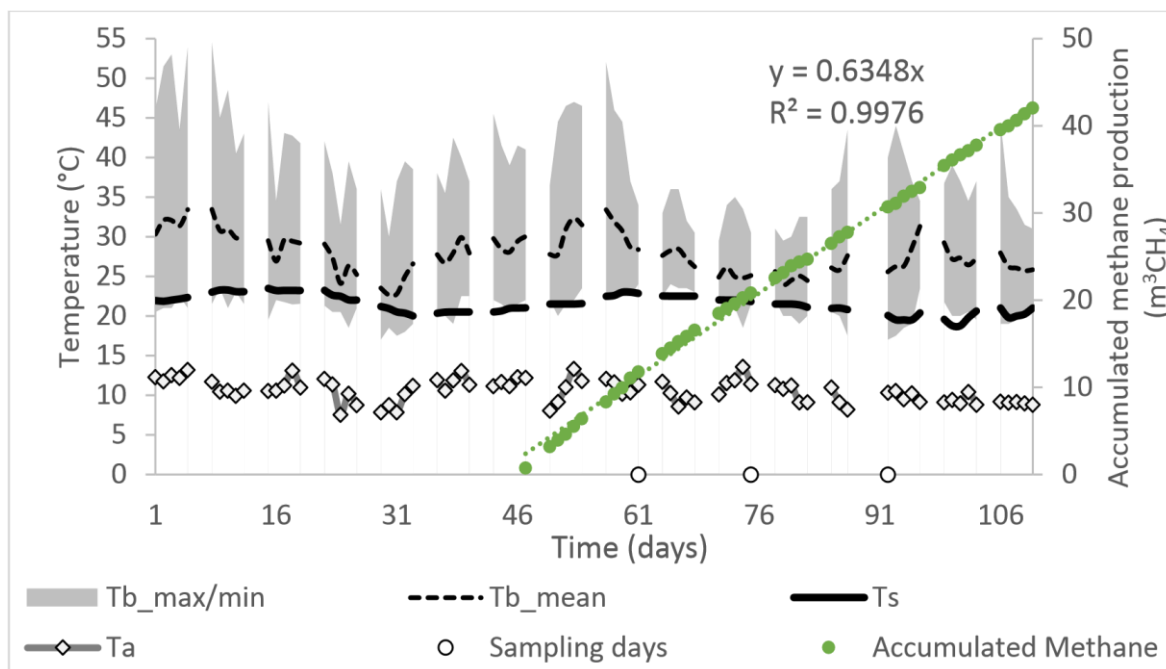
## RESULTADOS

### 3.1. Rendimiento térmico del digestor

En la figura 1. se muestra el rendimiento térmico del digestor durante el periodo de seguimiento. La temperatura media diaria en el interior del digestor (temperatura de los purines,  $T_p$ ) osciló entre 18,8 y 22,8 °C, mientras que la temperatura ambiente lo hizo entre 7,6 y 13,6 °C. Esto significa que el diseño solar pasivo implementado en el digestor mejora el rendimiento térmico incrementando la temperatura del purín 10,9 °C, por encima de la temperatura ambiente media, sin necesidad de dispositivos activos de calentamiento, lo que mejora la eficiencia energética del proceso. Este incremento de temperatura está en concordancia con otros casos presentados en la literatura que consideran al color negro para el reactor, aislamiento en zanja e invernadero con paredes de adobe. Como ejemplo Perrigault et al. (2012) y Martí-Herrero et al. (2014) alcanzaron mejoras de las condiciones de temperatura en el digestor respecto al ambiente en torno a 8,4 °C y 6,1 °C respectivamente. La configuración utilizada en el presente estudio muestra mejores resultados que publicaciones recientes con una configuración similar para digestor tubular psicrófilo, pero sin paredes de adobe para el invernadero y aislamiento más delgado (3 cm de lana de vidrio en lugar de poliestireno en la zanja), donde la temperatura de los purines se eleva sólo 3 °C por encima de la temperatura ambiente media (Gaballah et al., 2023).

**Figura 1**

*Rendimiento térmico del digestor durante la alimentación continua.*



Tb\_max/min representa el rango de temperatura del biogás dentro de la campana de biogás del digestor; Tb\_media es la temperatura media del biogás; Ts es la temperatura del purín; y Ta es la temperatura ambiente. La producción acumulada de metano (condiciones normales) se representa desde 15 días antes de la primera muestra y 15 días después de la última muestra; también se muestran los días de muestreo (D60, D75, D90).

### **3.2. Producción de biogás en digestores a escala granja.**

La caracterización del afluente y el efluente del digestor a escala de granja para los días muestreados se muestra en la Tabla 1. Los ST y SV en el afluente corresponde a una mezcla de estiércol de vaca y agua (1:3) lo que significa que el estiércol de vaca fresco es 12,9% ST y 9,8% SV (w.w.), valores típicos para el altiplano andino (Martí-Herrero et al., 2014). El afluente presenta mayor dispersión en los valores, mientras que la característica del efluente es más homogénea con menor desviación. La remoción de

materia orgánica dentro del digestor es de alrededor del 80,5 % (base SV) para el periodo monitoreado, similar al 83% reportado (base DQO) por Jaimes-Estévez et al. (2022) para un sistema similar.

**Tabla 1**

*Caracterización del afluente y efluente del digestor a escala de granja para diferentes días de muestreo.*

	<b>D60</b>	<b>D75</b>	<b>D90</b>	<b>D60-90</b>
<b>Afluente</b>				
ST (g/kg)	35.70 ± 0.19	32.27 ± 0.31	28.68 ± 0.41	32.2
SV (g/kg)	28.14 ± 0.15	24.14 ± 0.25	21.55 ± 0.35	24.6
pH	7.9 ± 0.02	7.87 ± 0.00	6.88 ± 0.09	7.55
<b>Efluente</b>				
ST (g/kg)	7.82 ± 0.02	7.35 ± 0.01	6.88 ± 0.09	7.35
SV (g/kg)	5.18 ± 0.02	4.84 ± 0.04	4.41 ± 0.08	4.81
pH	8.22 ± 0.002	8.40 ± 0.01	7.16 ± 0.02	7.93
<b>Remoción (% SV)</b>	81.6	80.0	79.5	80.5

La Tabla 2. muestra los parámetros operativos y de rendimiento del digestor a escala de granja durante el periodo monitoreado. El digestor tuvo una producción local media de biogás de 1,757 m<sup>3</sup>/d, que cuando se normaliza día a día, y considerando el contenido de metano (media de 64,2 % CH<sub>4</sub> durante todo el periodo evaluado), se obtiene 0,634 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/d, variando de 0,600 a 0,725 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/d cuando se calculó para 30 días alrededor del tiempo de recolección de muestras de afluente y efluente (Figura 1). La tasa

de carga orgánica (TCO) varió de 0,26 a 0,34 kgSV/m<sup>3</sup>-d con un valor medio para todo el periodo de 0,30 kgSV/m<sup>3</sup>-d. La PEM varió de 0,35 a 0,40 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV con un valor medio de 0,36 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV. Se trata de valores elevados si se comparan con otros resultados obtenidos con estiércol de vaca en estas condiciones climáticas frías y a gran altitud, pero es importante tener en cuenta que este digester alcanza una temperatura de los purines de 23°C debido a la eficiencia del diseño de la calefacción solar pasiva. Un digester similar situado en Bolivia (dentro de un invernadero, pero con menos aislamiento) y alimentado con estiércol de vaca, cuya temperatura de los purines era de 16,6 °C, registró 0,11 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV (Martí-Herrero et al., 2014), mientras que Jaimes-Estévez et al. (2022) registraron 0,34 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV para un digester a escala de granja alimentado con estiércol de vaca a 21 °C, en concordancia con los resultados actuales. La remoción (% SV) en el digester tiene resultados similares independientemente del día de muestreo, con un valor medio de 79,34 %. La tasa de producción de metano (TPM, m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>-d) del digester actual a escala de granja es de 0,11 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>-d para todo el periodo monitoreado, mostrando un rendimiento del reactor similar respecto a otros digestores psicrófilos a escala de granja alimentados con estiércol de vaca como el reportado por Jaimes-Estévez et al. (2022) con 0,12 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>-d para 21 °C.

**Tabla 2**

*Parámetros operacionales y de rendimiento del digester a escala de granja durante el periodo monitoreado.*

<b>Digester escala granja</b>	<b>D60</b>	<b>D75</b>	<b>D90</b>	<b>D60-90</b>
Carga orgánica diaria(kgSV/d)	2.01	1.72	1.54	1.76
Contenido de metano (% CH <sub>4</sub> )	64	57	75	65

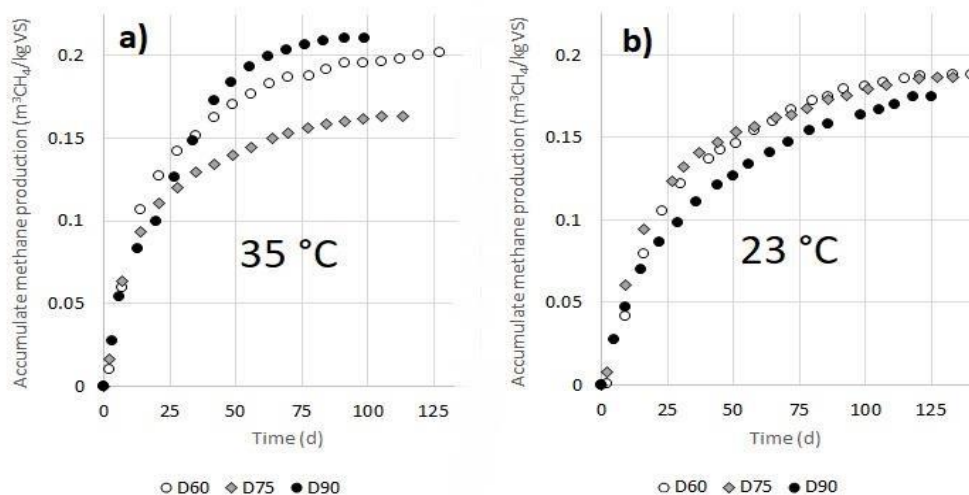
Producción diaria de metano (CH <sub>4</sub> /d)	0.725	0.601	0.611	0.635
TCO (kgSV/m <sup>3</sup> ·d)	0.338	0.290	0.259	0.296
PEM (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kgSV)	0.361	0.348	0.397	0.361
TPM (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> ·d)	0.122	0.101	0.103	0.107

### 3.3. Resultados de las pruebas operativas BMP

Desde el punto de vista del laboratorio, los resultados de la prueba BMP se muestran en la Figura 2. La PEM (tomados como BMPs) del afluyente se realizaron a 35 °C para tres muestras: día 60, día 75 y día 90, obteniéndose 0,20, 0,16 y 0,21 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV respectivamente, siendo el valor medio 0,19 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV (Figura 2 y Tabla 3). Estos resultados concuerdan con el valor de referencia dado por Kafle y Chen (2016) para estiércol de vaca de 0,20 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV a partir de un ensayo BMP realizado a 36,5 °C.

**Figura 2**

*Resultados de la prueba BMP para el afluyente recolectados en diferentes días, se ejecutan a 35 °C (a), y a 23 °C (b).*



Con el fin de considerar la aclimatación del consorcio metanogénico, la PEM del afluyente también se realizaron a 23 °C, obteniéndose 0,17 - 0,19 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV. Xu et al

(2023) informaron valores de PEM para estiércol de ganado a partir de una BMP a 20 °C, lo que resultó en 0.16 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV cuando se usó semilla de bioaumentación psicrotrofica, por lo que puede considerarse un consorcio anaeróbico adaptado y aclimatado. Jaimes-Estévez et al. (2022) reportaron 0.14 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV para estiércol de vaca de una prueba BMP a 15°C con inóculo aclimatado.

**Tabla 3**

*Resultado de la prueba de BMP a 35 y 23 °C para el afluente y resultados residuales de BMP a 35 y 23 °C para el efluente, para los diferentes días muestreados.*

<b>Pruebas BMP</b>	<b>D60</b>	<b>D75</b>	<b>D90</b>	<b>D60-90</b>
<b>Afluente</b>				
BMP (35 °C)	0.20	0.16	0.21	0.19
(m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kgSV)				
BMP (23 °C)	0.19	0.19	0.17	0.18
(m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kgSV)				
<b>Efluente</b>				
BMP <sub>r</sub> (35°C)	0.09	0.09	0.09	0.09
(m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kgSV)				
BMP <sub>r</sub> (23 °C)	0.07	0.07	0.08	0.07
(m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kgSV)				

Se esperaría que la prueba BMP del afluente a 35 °C tuviera el valor PEM más alto respecto a las condiciones psicrófilas a escala de granja o laboratorio, debido a que es el máximo potencial de producción de metano en condiciones óptimas para el sustrato, en este caso una mezcla de agua y estiércol de vaca. El uso del efluente como inóculo despeja la duda sobre la falta de adaptación del inóculo al sustrato, confirmada por la ausencia de periodo de latencia en las BMPs. Asimismo, los resultados similares obtenidos para la prueba BMP a 35 y 23 °C despejan la duda de la falta de aclimatación a

la temperatura operativa. Los resultados de la prueba de BMP muestran que el potencial de metano a 23 °C (0,18 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV) es sólo un 5% inferior que a 35 °C (0,19 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV), pero se necesita un 14% más de tiempo a 23 °C para lograr resultados similares de producción específica de metano respecto a 35 °C (ver Figura 2). Las BMP psicrófilas muestran unos resultados más uniformes, mientras que las mesófilas presentan un potencial final de metano más disperso en función del día de muestreo. Este rendimiento, en el que las BMP mesófilas y psicrófilas obtienen valores de PEM similares, ya ha sido reportado por Dolejs et al (2018) y Martí-Herrero et al (2023) para otros sustratos, resaltando la importancia de la aclimatación del inóculo, y la necesidad de tomarse el tiempo suficiente para medir las BMP psicrófilas, ya que va a ser más largo que el de las mesófilas.

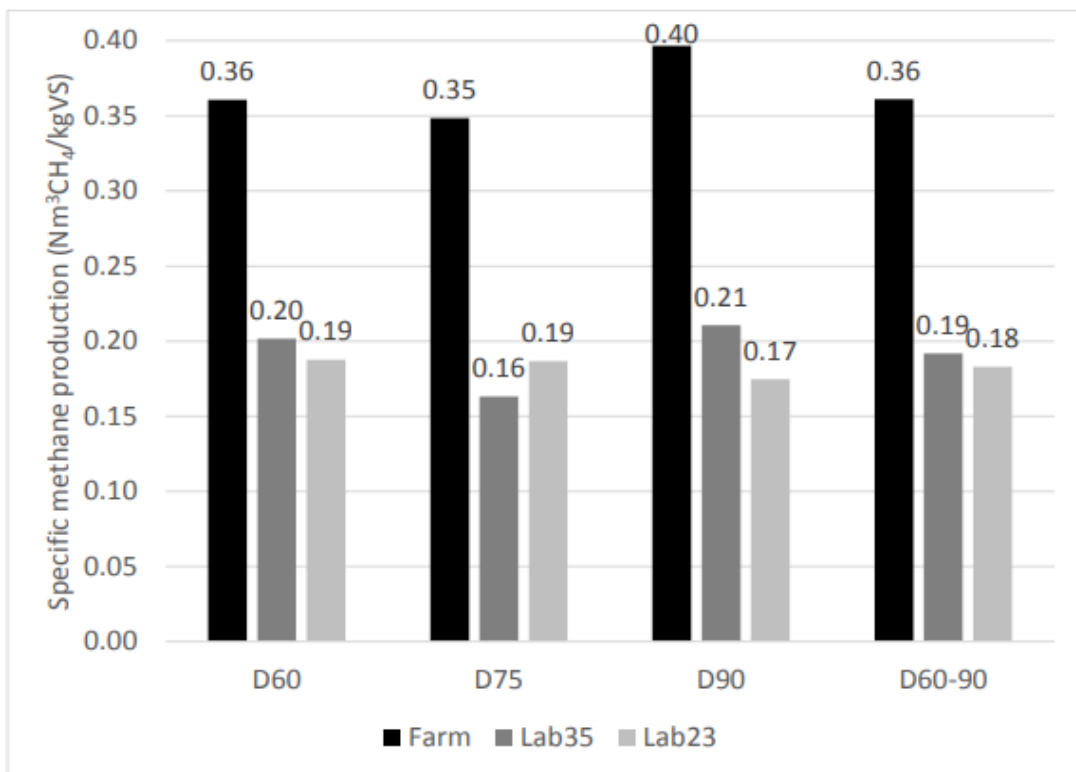
#### **3.4. Comparación de la PEM a partir de la monitorización del digestor a escala de granja y los resultados de las pruebas BMP**

Se esperaba que la diferencia entre la producción potencial total de metano del afluente menos el metano total del efluente (BMP residual) representara el metano específico producido dentro del digestor a escala de granja. Estas diferencias corresponden a los resultados de la prueba BMP obtenidos para el afluente (Tabla 3). Para tener cuidado con la adaptación y aclimatación adecuadas, el inóculo seleccionado fue el efluente del digestor a escala de granja, por lo que la producción de metano residual del efluente (prueba BMP<sub>r</sub>) se utilizó para la prueba BMP. Por lo tanto, se esperaba que las PEM de las BMPs del afluente representaran el metano específico producido dentro del digestor a escala de granja. Pero, a partir del digestor real a escala de granja, donde el consorcio metanogénico ya está adaptado al sustrato y aclimatado a la temperatura, se obtuvieron valores de PEM mucho más altos respecto a las pruebas de BMP (ver Figura 3). Los resultados BMP a 35 °C representan el 52 a 64% de los PEM

obtenidos para el digestor a escala de granja, mientras que para 23 °C representan el 44 a 60% de los PEM del digestor a escala de granja. Este comportamiento en el que el reactor tubular psicrófilo de alimentación continua obtiene mejores PEM respecto al ensayo BMP en condiciones mesófilas, se puede ver también en Jaimes-Estévez et al (2022). En esa investigación la prueba BMP a 35 °C de estiércol de vaca resultó en 0,32 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV, mientras que la PEM de un digestor a escala de granja operado a 21,3 °C resultó en 0,34 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV.

**Figura 3.**

*Comparación de la producción específica de metano entre el seguimiento del digestor a escala de granja y la prueba BMP realizada en el laboratorio a 23 y 35 °C para el afluente (en condiciones normales).*



## DISCUSIÓN

Estos resultados sugieren, en primer lugar: que la prueba BMP a partir del afluente utilizando el efluente como inóculo no es factible para estimar la producción real de biogás de un digestor tubular, ya que la subestima. La prueba BMP mide la producción potencial final de metano en condiciones discontinuas, pero no explica la producción de biogás en condiciones operativas reales en un digestor tubular continuo a escala real.

Segundo: la DA dentro del digestor tubular, incluso en condiciones psicrófilas, parece ser más eficiente que en condiciones discontinuas, incluso en condiciones mesófilas. Esto último podría explicarse por el incremento del tiempo de retención de sólidos en el interior del digestor, pero la prueba BMP también considera este aspecto, por lo que no es una explicación válida. Otra posibilidad es que dentro del digestor el consorcio metanogénico sea más fuerte, quizás porque ha colonizado, consolidando una capa de biofilm sobre la superficie interior del reactor, sobre los sólidos retenidos en el fondo, incluso sobre los trozos de paja y material lignocelulósico que flotan dentro del digestor y quedan retenidos. La producción de biogás en digestores tubulares en condiciones psicrófilas es muy sensible al incremento de superficie apta para la formación de biopelículas (Marti-Herrero, et al, 2014). En ese caso, se añadieron portadores de biopelícula de bajo coste en el interior del digestor, y posteriormente se demostró que está más relacionado con el efecto de formación de biopelícula que con el incremento en el tiempo de retención de sólidos que podría producirse por la introducción del material portador.

Y, en tercer lugar, es posible que la mayor producción de biogás en el digestor a escala de granja en comparación con la escala de laboratorio se deba a la separación de las fases del proceso anaerobio, lo que permite que los microorganismos se especialicen en cada una de las etapas posteriores (hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y

metanogénesis) logrando así una mayor eficiencia en comparación con el proceso por lotes (Escalante-Hernández, et al.2017).

Por último, la prueba BMP trata de evaluar la producción potencial de metano de un sustrato. Los resultados actuales confirman que el potencial final de metano de un sustrato no depende de la temperatura, sino que afecta a la cinética. Entonces, si este es el caso, ¿por qué el digestor de bajo coste alimentado en continuo es capaz de extraer más metano del mismo sustrato? En el ensayo BMP el inóculo + sustrato comienzan la DA en un reactor higiénico y sin colonizar, mientras que, en el digestor de alimentación continua, el reactor ya está colonizado y se ha formado biopelícula en la superficie interior de las paredes del reactor. ¿Esta diferencia permite extraer más metano del mismo sustrato? Se necesitan más investigaciones para confirmar los resultados de este estudio, y en la relación entre reactor alimentado por lotes y continuo.

## CONCLUSIÓN

La digestión anaerobia psicrófila en un digestor tubular a escala de granja produce más metano específico que la digestión anaerobia mesófila por lotes. Las pruebas BMP del afluente, utilizando el efluente como inóculo para evitar la influencia de la adaptación al sustrato y la aclimatación a la temperatura, subestiman la producción real de biogás en la DA psicrófila en aproximadamente un 54-57% en un digestor tubular a escala de granja de alimentación continua. Estos resultados indican que las pruebas BMP no son una técnica adecuada para estimar con precisión el rendimiento real de los digestores tubulares a escala real. El uso de inóculo aclimatado y adaptado para las pruebas BMP psicrófilas arroja resultados de producción de metano similares a las pruebas BMP mesófilas, pero con tiempos más largos. Estos resultados subrayan la necesidad de una revisión crítica de las investigaciones sobre DA psicrófilas realizadas a escala de laboratorio, teniendo en cuenta la importancia de una adecuada aclimatación a la temperatura y adaptación del sustrato para el inóculo utilizado. Asimismo, la necesidad de revisar el escalado de los resultados de laboratorio a escala real.

Es esencial seguir investigando para confirmar los resultados presentados en este estudio y comprender mejor los mecanismos que subyacen a la mayor producción específica de metano observada en los digestores tubulares de alimentación continua a escala real en comparación con la estimación de prueba BMP.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA-AWWA-WEF (2023). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 24th ed.* American Public Health Association USA.
- Akindolire, M. A., Rama, H., & Roopnarain, A. (2022). *Psychrophilic anaerobic digestion: A critical evaluation of microorganisms and enzymes to drive the process.* *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112394.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112394>.
- Alduchov O. A. and Eskridge R. E. (1996). *Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure.* *Journal of Applied Meteorology*, 35(4):601–609.  
[https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1996\)035%3C0601:IMFAOS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1996)035%3C0601:IMFAOS%3E2.0.CO;2).
- Dolejs, P., El Tayar, G., Vejmelkova, D., Pecenka, M., Polaskova, M., & Bartacek, J. (2018). *Psychrophilic anaerobic treatment of sewage: biomethane potential, kinetics and importance of inoculum selection.* *Journal of Cleaner Production*, 199, 93-100.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.134>.
- Escalante-Hernández, H., Castro-Molano, L., Besson, V., & Jaimes-Estévez, J. (2017). *Feasibility of the anaerobic digestion of cheese whey in a Plug Flow Reactor (PFR) under local conditions.* *Ingeniería, investigación y tecnología*, 18(3), 265-277.  
<https://www.redalyc.org/pdf/404/40453142004.pdf>.
- Gaballah, E. S., Yuan, Q., & Abdelkader, T. K. (2023). *Improving Biogas Production by Integrated Solar Greenhouse Technique: A Pilot Study Using Semi-buried Tubular Digester in Cold Climate Regions.* *Waste and Biomass Valorization*, 1-13.  
<https://doi.org/10.1007/s12649-023-02206-4>.
- 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, 312 599-614.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.071>.
- Holliger, C., Alves, M., Andrade, D., Angelidaki, I., Astals, S., Baier, U., Bougrier, C., Buffiere, P., Carballa, M., de Wilde, V., Ebertseder, F., Fernandez, B., Ficara, E., Fotidis, I., Frigon, J.-C., de Lacroix, H.F., Ghasimi, D.S.M., Hack, G., Hartel, M., Heerenklage, J., Horvath, I.S., Jenicek, P., Koch, K., Krautwald, J., Lizasoain, J., Liu, J., Mosberger, L., Nistor, M., Oechsner, H., Oliveira, J.V., Paterson, M., Pauss, A., Pommier, S., Porqueddu, I., Raposo, F., Ribeiro, T., Rusch Pfund, F., Stromberg, S., Torrijos, M., van Eekert, M., van Lier, J., Wedwitschka, H., Wierinck, I. (2016).

- Towards a standardization of biomethane potential tests. Water Science and Technology, 74(11), 2515-2522.* <https://doi.org/10.2166/wst.2016.336>.
- Jaimes-Estévez, J., Mercado, E. V., Jaramillo, J. G., Rodríguez, P., Martí-Herrero, J., Escalante, H., & Castro, L. (2022). *From laboratory to farm-scale psychrophilic anaerobic co-digestion of cheese whey and cattle manure.* *Bioresource Technology Reports, 19,* 101168. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101168>.
- Justesen, C. G., Astals, S., Mortensen, J. R., Thorsen, R., Koch, K., Weinrich, S., Triolo, J. N. & Hafner, S. D. (2019). *Development and validation of a low-cost gas density method for measuring biochemical methane potential (BMP).* *Water, 11(12),* 2431. <https://doi.org/10.3390/w11122431>.
- Kafle, G. K., & Chen, L. (2016). *Comparison on batch anaerobic digestion of five different livestock manures and prediction of biochemical methane potential (BMP) using different statistical models.* *Waste management, 48,* 492-502. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.021>.
- 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., Flores, T., Alvarez, R., & Perez, D. (2016). *How to report biogas production when monitoring small-scale digesters in field.* *Biomass and Bioenergy, 84,* 31-36. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.11.004>.
- Martí-Herrero, J., Castro, L., Jaimes-Estévez, J., Grijalva, M., Gualatoña, M., Aldás, M. B., & Escalante, H. (2022). *Biomethane potential test applied to psychrophilic conditions: Three issues about inoculum temperature adaptation.* *Bioresource Technology Reports, 20,* 101279. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101279>.
- 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>.
- Scano, E. A., Asquer, C., Pistis, A., Ortu, L., Demontis, V., & Cocco, D. (2014). *Biogas from anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes: Experimental results on pilot-scale and preliminary performance evaluation of a full-scale power plant.* *Energy conversion and management, 77,* 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.09.004>.

- Sharma, V., Sharma, D., Tsai, M. L., Ortizo, R. G. G., Yadav, A., Nargotra, P., Chen C. W., Sun P.P. & Dong, C. D. (2023). *Insights into the recent advances of agro-industrial waste valorization for sustainable biogas production*. *Bioresource Technology*, 129829. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129829>.
- Sponza, D. T. (2003). *Toxicity and treatability of carbontetrachloride and tetrachloroethylene in anaerobic batch cultures*. *International biodeterioration & biodegradation* 51(2), 119-127 [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(02\)00095-1](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(02)00095-1).
- 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>.
- Tiwari, B. R., Rouissi, T., Brar, S. K., & Surampalli, R. Y. (2021). *Critical insights into psychrophilic anaerobic digestion: Novel strategies for improving biogas production*. *Waste Management*, 131, 513-526. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.07.002>.
- Xu, X., Yan, M., Sun, Y., & Li, Y. (2023). *Bioaugmentation with cold-tolerant methanogenic culture to boost methane production from anaerobic co-digestion of cattle manure and corn straw at 20 °C*. *Chemical Engineering Journal*, 466, 143183. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.143183>.

## ANEXOS

### Anexo A. Evidencia de Sumisión del artículo en una revista de prestigio

#### Bioresource Technology

#### Is it possible to generate more biogas in a farm-scale tubular digester than predicted by BMP test?

--Manuscript Draft--

<b>Manuscript Number:</b>	BITE-D-24-00401
<b>Article Type:</b>	Original research paper
<b>Section/Category:</b>	Biological wastewater treatment
<b>Keywords:</b>	full-scale digester; biogas; anaerobic digestion; psychrophilic; cold climate
<b>Corresponding Author:</b>	jaime marti-herrero, Ph.D. Amazon Regional University IKIAM Terrassa, SPAIN
<b>Author:</b>	Liz Quispe Diyane Mango
<b>Abstract:</b>	This study investigates the specific methane production of a full-scale psychrophilic tubular digester compared to Biochemical Methane Potential (BMP) tests conducted on the influent of the digester, using the effluent as inoculum, at both 35 °C and 23 °C. The 8 m <sup>3</sup> digester, located in a cold climate zone was adapted with passive solar heating design (slurry temperature of 21.5 °C while ambient was 10.6 °C). The full-scale digester methane production (0.36 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kgVS), surpassed the results of batch BMP tests (0.19 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kgVS at 35 °C and 0.18 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kgVS at 23 °C). This demonstrates that the specific methane production from BMP tests on influent does not align with that of the full-scale digester. BMP test at mesophilic and psychrophilic temperatures yields similar results on methane potential, but with slower kinetic in psychrophilic conditions. The study underscores the significance of inoculum acclimation and substrate adaptation in psychrophilic anaerobic digestion.
<b>Suggested Reviewers:</b>	<p>stephanie langsing University of Maryland slansing@umd.edu She has experience with laboratory and full scale farm tubular digesters</p> <p>sergi astals University of Barcelona sastals@ub.edu he has huge experience in AD research</p> <p>davide poggio The University of Sheffield d.poggio@sheffield.ac.uk has experience in biogas production</p> <p>maria angeles de la rubia Autonomous University of Madrid angeles.delarubia@uam.es She has a lot of experience at laboratory work on AD</p>

**Anexo B.** Copia de la resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad.



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

**RESOLUCIÓN N° 0268-2023/UPeU-FIA-CF-T**

Lima, Naña 13 de junio de 2023

**VISTO:**

El expediente de **Diyañe Blanca Mango Mamani**, identificado(a) con Código Universitario N° 201812050 y **Liz Yaneth Quispe Pizarro**, identificado(a) con Código Universitario N° 201810507, 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 **Diyañe Blanca Mango Mamani** y **Liz Yaneth Quispe Pizarro**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Producción de biogás y metano de un biodigestor tubular a escala Real a través de Pruebas de Potencial Bioquímico de Metano" 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 13 de junio de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

**SE RESUELVE:**

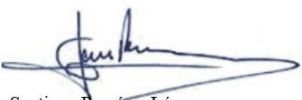
Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Producción de biogás y metano de un biodigestor tubular a escala Real a través de Pruebas de Potencial Bioquímico de Metano**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera** como **ASESOR** para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani** y **MSc. Franklyn Elard Zapana Yucra**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



  
Dra. Erika Inés Acuña Salinas  
**DECANA**



  
Dr. Santiago Ramírez López  
**SECRETARIO ACADÉMICO**

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