

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



**Evaluación del comportamiento térmico del biodigestor tubular
operado en el altiplano Peruano**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Shakira Lisseth Canaza Chambi

Yassenit Deysi Coaquira Yucra

Asesor:

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, agosto de 2025

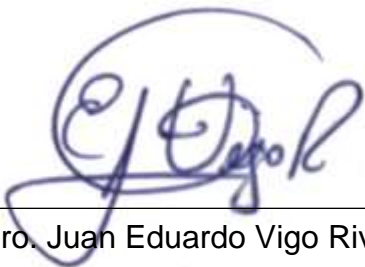
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

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: **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL BIODIGESTOR TUBULAR OPERADO EN EL ALTIPLANO PERUANO”** de los autores **Shakira Lisseth Canaza Chambi** y **Yassenit Deysi Coaquira Yucra** 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 21 días del mes de agosto del año 2025.



Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 21 día(s) del mes de agosto del año 2025 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):

Ing. Enrique Mamani Buela el (la) secretario(a): Ing. Verónica Haydee Pari Mamani y los demás miembros: Msc. Franklyn Elard Zapana Yucra Msc. Leayda Abigail Pando Turpo y el (la) asesor(a) Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: "Evaluación del comportamiento térmico del biodigestor tubular operado en el altiplano Peruano"

del(los) bachiller(es): a) Shaxira Lisseth Banaza Ghambi
 b) Yasmit Deysi Boaquira Yucra
 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): Shaxira Lisseth Banaza Ghambi

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>14</u>	<u>C</u>	<u>Aceptable</u>	<u>Bueno</u>

Bachiller (b): Yasmit Deysi Boaquira Yucra

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>14</u>	<u>C</u>	<u>Aceptable</u>	<u>Bueno</u>

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
[Firma]
 Bachiller (b)

[Firma]
 Secretario/a
[Firma]
 Miembro

 Bachiller (c)

AGRADECIMIENTO

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía y mi fuente de fortaleza. Su sabiduría, fe y apoyo me han acompañado en cada reto, dándome la perseverancia necesaria para seguir adelante.

A mis padres, por su amor sin límites, por estar siempre a mi lado y por todo el esfuerzo que han dedicado a mi formación. Su ejemplo ha sido la mayor motivación para alcanzar esta meta.

A mi hermano, por sus palabras llenas de ánimo, que me dieron fuerzas en los momentos más complicados.

Con todo mi cariño, dedico este logro a todos ustedes.

Yassenit Deysi Coaquira Yucra

DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza, llenándome de sabiduría, fé y perseverancia para superar cada desafío.

A mis padres, Guzmán Canaza y Ana Chambi, les debo todo lo que soy. Su dedicación, sacrificio y enseñanza sobre la importancia del trabajo constante y la perseverancia han sido los cimientos sobre los cuales he construido mis sueños.

Cada palabra de aliento y cada gesto de cariño han sido impulsores en momentos de incertidumbre. Este logro también es suyo.

A mis hermanos, Ronald y Daniel, con la esperanza que este logro sea una fuente de inspiración para que sigan sus propios sueños con determinación, confianza y les motive a luchar por sus sueños con valentía y esfuerzo. Su apoyo, motivación y las innumerables risas compartidas han hecho de este proceso algo más llevadero y memorable.

A los ingenieros Juan Eduardo Vigo Rivera y Glen Madrigal Pérez, por su orientación, dedicación y confianza. Sus enseñanzas y apoyo fueron fundamentales para culminar con éxito este proyecto, dejando en mí valiosas lecciones que fortalecerán mi desarrollo profesional.

Finalmente, quiero extender mi gratitud a todas las personas que han estado a mi lado durante este proceso, cada uno de ustedes ha dejado una huella en mi vida y mi carrera profesional, ya que han contribuido a este logro de manera que jamás podré expresar completamente.

Sin el amor, la paciencia y el apoyo de todos ustedes, todo esto no habría sido posible. Gracias por acompañarme en este viaje, por creer en mí y por ser parte de mi historia.

A todos ustedes, con mucho amor, cariño y orgullo; les dedico este logro. Los llevo conmigo siempre.

Con todo mi corazón, les dedico este triunfo.

“Porque cada paso dado con fé, amor y perseverancia, nos acerca a los sueños que alguna vez parecieron imposibles.”

Shakira Lisseth Canaza Chambi

A Dios, por ser mi guía en todo momento, por iluminar mi camino cuando las dificultades parecían imposibles de superar y por brindarme la fortaleza necesaria para continuar. Gracias por llenarme de sabiduría, paciencia y fe, recordándome siempre que los sueños se alcanzan con esfuerzo, humildad y perseverancia.

A mis amados padres, Richard Coaquira y Georgina Yucra, pilares fundamentales en mi vida. Gracias por su amor incondicional, por sus consejos sabios y por cada sacrificio que hicieron para que yo pudiera llegar hasta aquí. Su ejemplo de lucha, responsabilidad y entrega me ha impulsado a seguir adelante con determinación. Este logro es tanto mío como suyo, porque sin su apoyo y comprensión nada de esto habría sido posible.

A mi hermano Jhon, por su constante apoyo, por sus palabras de ánimo en los momentos en que más las necesitaba y por su confianza en mis capacidades. Gracias por acompañarme con cariño, paciencia y alegría a lo largo de este proceso, siendo una motivación silenciosa pero poderosa.

A los ingenieros Juan Eduardo Vigo Rivera y Glen Madrigal Pérez, por su orientación, profesionalismo y compromiso durante el desarrollo de esta tesis. Sus enseñanzas, consejos y exigencia académica fueron esenciales para fortalecer mi formación y culminar con éxito este proyecto.

Finalmente, dedico este trabajo a todos aquellos que creen en sus sueños y trabajan con esfuerzo para alcanzarlos. Que nunca falte la fe, la constancia y el amor por lo que se hace, porque cada meta alcanzada es el reflejo de la perseverancia y del valor de no rendirse, incluso cuando el camino se vuelve difícil.

Con todo mi cariño, dedico este triunfo todos ustedes.

Porque cuando se confía en Dios, los sueños se hacen posibles

Yassenit Deysi Coaquira Yucra

ÍNDICE

Resumen	8
Abstract	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
2.1 Lugar experimental.....	11
2.2. Control térmico en biodigestores tubulares.....	12
2.3. Etapas del proceso de digestión anaerobia	13
2.3.1. <i>Etapa de hidrólisis</i>	13
2.3.2. <i>Etapa acidogénica</i>	13
2.3.3. <i>Etapa acetogénica</i>	13
2.3.4. <i>Etapa metanogénica</i>	14
2.4. Diseño y condiciones operacionales del biodigestor tubular e invernadero	14
2.5. Monitoreo de temperaturas.....	15
2.6. Monitoreo del biodigestor tubular.....	16
2.7. Análisis estadístico	16
3. RESULTADOS Y DISCUSION	16
3.1. Cambios en los parámetros de control del biodigestor tubular	16
3.2. Comportamiento de las temperaturas en el biodigestor tubular	18
3.3. Balance energético del biodigestor	20
3.4. Consideraciones finales.....	24
4. CONCLUSION.....	25
5. REFERENCIAS	26
6. ANEXOS.....	30

Evaluación del comportamiento térmico del biodigestor tubular operado en el altiplano peruano

Resumen

En Juliaca (Puno), las bajas temperaturas limitan el funcionamiento de los biodigestores, lo que reduce la producción de biogás y dificulta el tratamiento del estiércol bovino, agravando la contaminación ambiental. Este estudio evaluó el comportamiento térmico de un biodigestor tubular de 16 m³ instalado en un invernadero de adobe con techo de policarbonato, ubicado a 3800 msnm. El biodigestor fue alimentado inicialmente con 1600 kg de estiércol y 5600 L de agua, y posteriormente con una alimentación diaria de 73.8 kg de estiércol y 221.3 L de agua (relación 1:3), con un tiempo de retención hidráulico de 60 días. Durante 86 días se monitorearon temperaturas en siete puntos mediante sensores Arduino. La temperatura promedio del lodo fue de 23.05 °C, mientras que la temperatura ambiente promedio fue de 11.01 °C, reflejando un aumento térmico promedio de +12.05 °C debido al efecto invernadero y al aislamiento térmico del sistema. La temperatura interior del invernadero alcanzó un máximo de 38.5 °C y no descendió por debajo de 17 °C durante el día. La producción de biogás fue de 1.92 Nm³/día con un contenido promedio de metano del 55%, suficiente para cubrir las necesidades básicas de energía de una familia rural. Además, se logró una reducción del 74.3% en sólidos volátiles y del 70.4% en demanda química de oxígeno (DQO). El pH se mantuvo estable en un rango óptimo y los parámetros relacionados con la estabilidad del proceso anaerobio mejoraron. Este estudio concluye que el uso de invernaderos con aislamiento térmico es una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia de biodigestores en climas fríos de zonas altoandinas.

Palabras clave: temperatura, biogás, digestión anaerobia y clima altiplánico.

Evaluation of the thermal behavior of the tubular biodigester operated in the Peruvian highlands

Abstract

In Juliaca (Puno), low temperatures limit the operation of biodigesters, which reduces biogas production and hampers the treatment of bovine manure, aggravating environmental pollution. This study evaluated the thermal behavior of a 16 m³ tubular biodigester installed in an adobe greenhouse with a polycarbonate roof, located at 3,800 meters above sea level. The biodigester was initially fed with 1,600 kg of manure and 5,600 L of water, and subsequently with a daily feed of 73.8 kg of manure and 221.3 L of water (1:3 ratio), with a hydraulic retention time of 60 days. Temperatures were monitored at seven locations using Arduino sensors for 86 days. The average sludge temperature was 23.05°C, while the average ambient temperature was 11.01°C, reflecting an average thermal increase of +12.05°C due to the greenhouse effect and the system's thermal insulation. The greenhouse interior temperature reached a maximum of 38.5°C and did not drop below 17°C during the day. Biogas production was 1.92 Nm³/day with an average methane content of 55%, sufficient to cover the basic energy needs of a rural family. Furthermore, a 74.3% reduction in volatile solids and a 70.4% reduction in chemical oxygen demand (COD) was achieved. The pH remained stable within an optimal range, and parameters related to the stability of the anaerobic process improved. This study concludes that the use of thermally insulated greenhouses is an effective strategy for improving the efficiency of biodigesters in cold climates in the high Andean regions.

Keywords: temperature, biogas, anaerobic digestion and high plateau climate.

1. INTRODUCCIÓN

La digestión anaerobia (DA) es un proceso sostenible para la generación de biogás y gestión de residuos orgánicos (Dev et al., 2019). Esos beneficios hacen que la DA sea una tecnología apropiada como recurso de energía descentralizada para áreas rurales remotas (Perrigault et al., 2012). De este modo, miles de plantas de biogás a pequeña escala fueron instalados en granjas de ganado principalmente a través de los trópicos, pues la temperatura es uno de los factores más importantes que controlan la tasa de crecimiento microbial y su actividad dentro de un biodigestor anaerobio (Pham et al., 2014). La temperatura de operación del proceso de DA puede ser dividido en tres diferentes categorías: psicrófilicos ($<20^{\circ}\text{C}$), mesófilico ($20 - 40^{\circ}\text{C}$) y termófilico ($>40^{\circ}\text{C}$) (Alvarez & Lidén, 2008). Los microorganismos encargados de producir metano (metanógenos) son menos productivos a bajas temperaturas, resultando en baja producción de biogás (Hassanein et al., 2015). De ahí la importancia de aumentar la temperatura del biodigestor para mejorar la eficiencia en el proceso de DA.

Tradicionalmente, los biodigestores son construidos en climas cálidos o tropicales, resultando en una falta de datos de la viabilidad de la DA en climas fríos como el altiplano Boliviano o Peruano (Martí-Herrero et al., 2015). La elevación del altiplano varía entre 3000 a 4000 msnm, con vientos fuertes, clima frío y árido donde la temperatura puede bajar hasta -15°C (Perrigault et al., 2012). Debido a las condiciones de clima frío del altiplano, la viabilidad de producción de biogás depende de mantener la temperatura del lodo por encima de la temperatura ambiente. Existen diferentes métodos para incrementar la temperatura del biodigestor, como calentamiento eléctrico, mezclar con agua caliente la materia prima, calentamiento mediante gas natural o biogás, calentamiento geotérmico, etc (Gaballah et al., 2016). Sin embargo, esas técnicas no son económicamente convenientes para zonas rurales del altiplano con biodigestores a pequeña escala. Utilizar energía solar para calentar los biodigestores a pequeña escala es una buena alternativa pues es ambientalmente amigable y no requiere mucha inversión (Gaballah et al., 2016).

Un nuevo concepto de encerrar el biodigestor dentro de un invernadero se desarrolló especialmente para las condiciones climáticas del altiplano (Perrigault et al., 2012). El uso del invernadero tiene el objetivo de incrementar la temperatura del proceso alrededor de 20°C (Ferrer et al., 2011). En esta adaptación, el biodigestor tubular es separado del suelo mediante un material aislante e integrado a un invernadero construido con paredes de adobe (barro) y cubierto con un techo de plástico transparente (Perrigault et al., 2012). Varias investigaciones indican que el concepto de invernadero es el enfoque más simple y efectivo para mejorar la temperatura del lodo, y así mejorar la producción de biogás (Martí-Herrero et al., 2014; Hassanein et al., 2015; Gaballah et al., 2016).

Entonces, si se quiere aumentar la producción del biogás, es importante mejorar el comportamiento térmico del sistema biodigestor – invernadero en climas fríos y estabilizar la variación de temperatura en el biodigestor. Todo esto podría resultar en la conversión eficiente de materia orgánica a biogás (Martí-Herrero et al., 2015). De este modo es necesario entender la influencia térmica del invernadero en el biodigestor mediante el monitoreo de las temperaturas. Sin embargo, existen pocos estudios que han determinado la efectividad del invernadero en mantener la temperatura de digestión (Hassanein et al., 2015). El objetivo de esta investigación es evaluar el comportamiento térmico de un biodigestor tubular de bajo costo integrado en un invernadero, para así mejorar la temperatura de digestión y aumentar la producción de biogás en el altiplano peruano.

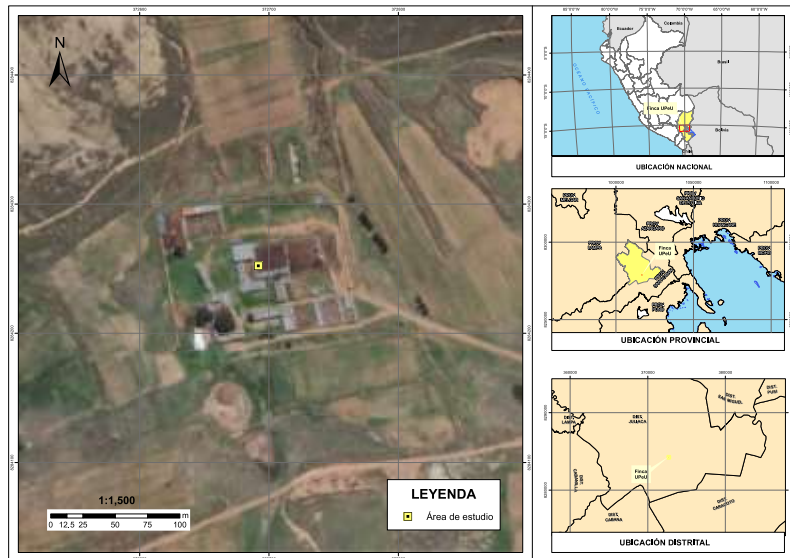
2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Lugar experimental

Esta investigación se realizó la ciudad de Juliaca (Figura 1) a una altitud de 3800 msnm en el altiplano peruano (Sur de Perú). La temperatura promedio máxima y mínima en esta zona es de 17.1°C y -0.9°C respectivamente. En la zona de estudio se cría ganado bovino, las vacas

están 22 horas en campo y solo se les lleva a ordeño por 2 horas. En este sentido, para la alimentación del biodigestor tubular se utilizó el estiércol generado por el ganado.

Figura 1. Mapa de ubicación experimental.



2.2. Control térmico en biodigestores tubulares

Esta investigación evalúa la aplicación de una técnica de calentamiento del lodo del biodigestor tubular en base al aprovechamiento de calentamiento solar y las bacterias anaerobias. Esta técnica consiste en integrar un invernadero con el propósito de calentar el lodo que se encuentra en el interior del biodigestor para incrementar la temperatura del lodo a un rango óptimo. Las temperaturas se midieron utilizando sensores Arduino durante 3 meses. Sin embargo, antes del monitoreo de temperaturas, se realizó la construcción del invernadero e instalación del biodigestor después de realizado este proceso, se llenó el biodigestor con una mezcla de estiércol bovino (1600kg) y agua (5600 L) hasta que se estabilice por unos 60 días. Luego, el biodigestor se empezó a alimentar diariamente a una relación 1 de estiércol y 3 de agua por 2 tiempos de retención hidráulico (1 TRH = 60 días). Una vez culminado todos estos procesos, se empezó con el registro de temperaturas.

2.3. Etapas del proceso de digestión anaerobia

La digestión anaerobia es una secuencia de reacciones biológicas llevadas a cabo por microorganismos en un entorno libre de oxígeno. Su propósito principal es descomponer la materia orgánica en compuestos más simples, generando como producto final una mezcla gaseosa rica en metano (biogás) y un residuo estabilizado. Este proceso se desarrolla en cuatro etapas principales que, aunque diferenciadas, ocurren de forma simultánea e interdependiente (Appels et al., 2008).

2.3.1. Etapa de hidrólisis

En esta fase inicial, los compuestos orgánicos complejos presentes en los residuos (como los polisacáridos, lípidos y proteínas) son degradados en moléculas más pequeñas y solubles, tales como azúcares simples, aminoácidos y ácidos grasos. Esta transformación es facilitada por enzimas extracelulares producidas por bacterias especializadas. La eficiencia de esta etapa depende en gran medida del tipo de sustrato y su accesibilidad (Zhen et al., 2017).

2.3.2. Etapa acidogénica

Los productos generados durante la hidrólisis son posteriormente convertidos en una variedad de compuestos intermedios como ácidos orgánicos, alcoholes, hidrógeno y dióxido de carbono. Esta fase es llevada a cabo por bacterias fermentativas, que transforman los compuestos solubles en metabolitos más sencillos bajo condiciones reductoras (Deublein & Steinhauser, 2008).

2.3.3. Etapa acetogénica

En esta etapa, las sustancias obtenidas en la fase anterior, principalmente los ácidos grasos volátiles, son convertidas en ácido acético, dióxido de carbono y gas hidrógeno. Estas

transformaciones son fundamentales, ya que proporcionan los sustratos principales para la siguiente fase, la cual es responsable de la producción de metano (Cheng & Liu, 2021).

2.3.4. Etapa metanogénica

Finalmente, microorganismos del grupo de las arqueas utilizan el ácido acético y el hidrógeno como fuentes de energía para sintetizar metano. Existen dos rutas principales: una que transforma directamente el ácido acético en metano y dióxido de carbono (ruta acetoclástica), y otra que combina hidrógeno con dióxido de carbono para formar metano (ruta hidrogenotrófica). Esta fase es sensible a las condiciones del entorno, como el pH, la temperatura y la concentración de inhibidores (Angelidaki et al., 2011).

Cada una de estas etapas cumple un rol clave en la conversión de materia orgánica en biogás, y su correcto equilibrio es esencial para el funcionamiento eficiente de los digestores anaerobios.

2.4. Diseño y condiciones operacionales del biodigestor tubular e invernadero

El biodigestor tubular de 16 m³ compuesto por geomembrana de baja densidad (biobolsa), tiene una capacidad líquida del 70 y 30% para el biogás generado. La alimentación se realizó diariamente de lunes a domingo, con una mezcla de 73.8 kg de estiércol bovino y 221.3 L de agua, el TRH fue 60 días. El biodigestor fue puesto en una zanja de profundidad 1m. Para mantener caliente el biodigestor, este se aisló del suelo con capas de poliestireno de 8 cm de espesor y geotextil. Además, el biodigestor se integró a un invernadero construido de paredes de adobe y techo de policarbonato.

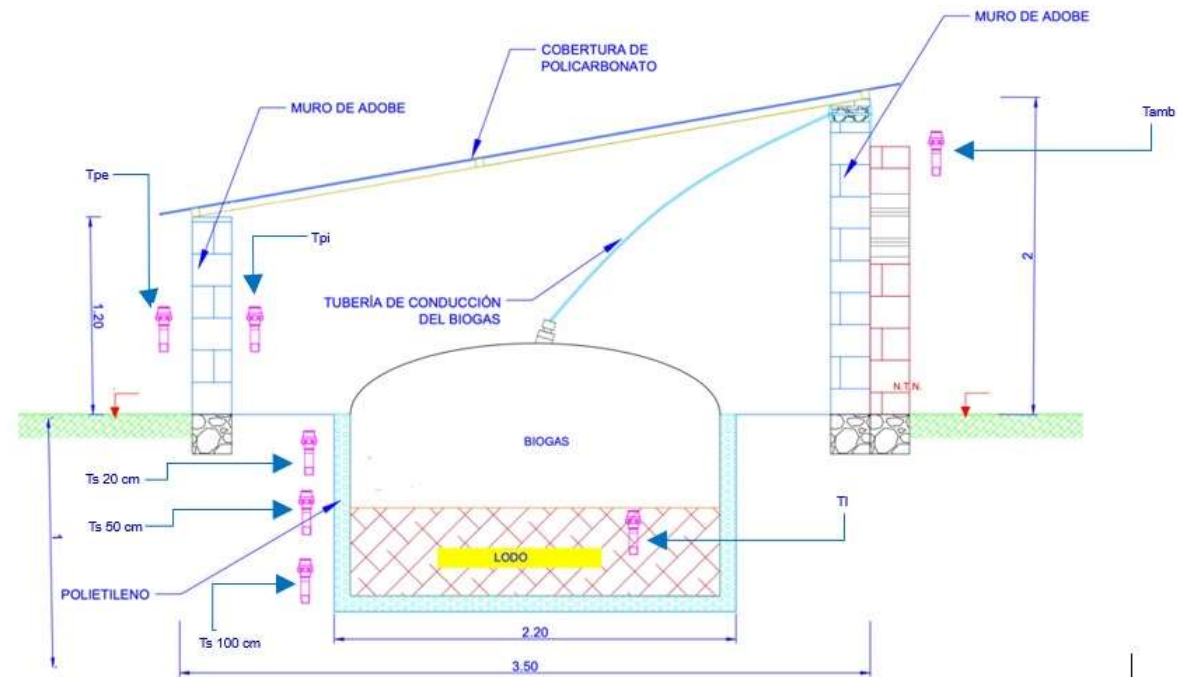
El invernadero se construyó de acuerdo con Quino et al. (2016), las dimensiones del invernadero fueron de 9 m largo y 6.1 m ancho. La forma de prisma rectangular del invernadero está en concordancia a la forma del biodigestor. En este sentido, la orientación longitudinal fue de oeste a este. Las paredes de adobe cuentan con un espesor de 21 cm. La pared sur tiene

una altura de 1.2 m y la pared norte tiene una altura de 1.7 m. El techo de policarbonato de cuatro capas fue de 6.77 m de ancho y 9.5 m de largo, manteniendo una caída hacia el recorrido del sol.

2.5. Monitoreo de temperaturas

Las temperaturas del biodigestor e invernadero se monitorearon en 7 distintos puntos utilizando sensores Arduino. En la Figura 2 se muestran las ubicaciones de los distintos sensores de temperatura. Tres sensores se colocaron en el suelo (T_s) a profundidades de 20, 50 y 100 cm. Un sensor se colocó en el lodo (T_l). Dos sensores en la pared del invernadero, tanto en el interior (T_{pi}) como en el exterior (T_{pe}) y un sensor fuera del invernadero para monitoreo de la temperatura ambiente (T_a). Los 7 sensores registran automáticamente la temperatura cada hora. Los datos registrados se promediaron y procesaron.

Figura 2. Ubicación de los sensores de temperatura.



2.6. Monitoreo del biodigestor tubular

Para la caracterización del afluente y efluente, una vez que el biodigestor se estabilizó se tomaron muestras a intervalos de tiempo regulares durante todo el periodo experimental de 15 días. Se analizaron sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y demanda química de oxígeno (DQO) usando métodos estandarizados APHA. pH, Ácidos grasos volátiles (AGV) y Alcalinidad total (AT) se analizaron de acuerdo con ng et al., (2014). El volumen de biogás se registró cada día usando un gasómetro (G2.5 Metrix). Se tomaron muestras de biogás en bolsas de aluminio herméticos para determinar el contenido de metano. la composición de biogás se analizó utilizando una solución de NaOH 2N (Khadka et al, 2022).

2.7. Análisis estadístico

Los resultados están representados como promedio, la significancia estadística de los resultados experimentales se evaluó mediante análisis de varianza de una vía (ANOVA), con nivel de probabilidad ($p \leq 0.05$). Las Figuras 3, 4, 5 y 6 fueron graficados usando Microsoft Excel.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Cambios en los parámetros de control del biodigestor tubular

La tabla 1 muestra la caracterización del afluente y el efluente del biodigestor tubular

Tabla 1.

Caracterización fisicoquímica del afluente y efluente del biodigestor tubular

Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente
ST	g/kg	39.41 ± 1.81	10.56 ± 0.00
SV	g/kg	30.37 ± 1.45	7.80 ± 0.02
DQO	g/L	30.71 ± 1.56	9.09 ± 0.06
pH		7.55 ± 0.14	7.98 ± 0.01
AGV	mg CH ₃ COOH/L	1230.00 ± 42.43	828.00 ± 16.97
AT	mg CaCO ₃ H/L	1395.00 ± 24.36	1625.00 ± 35.36

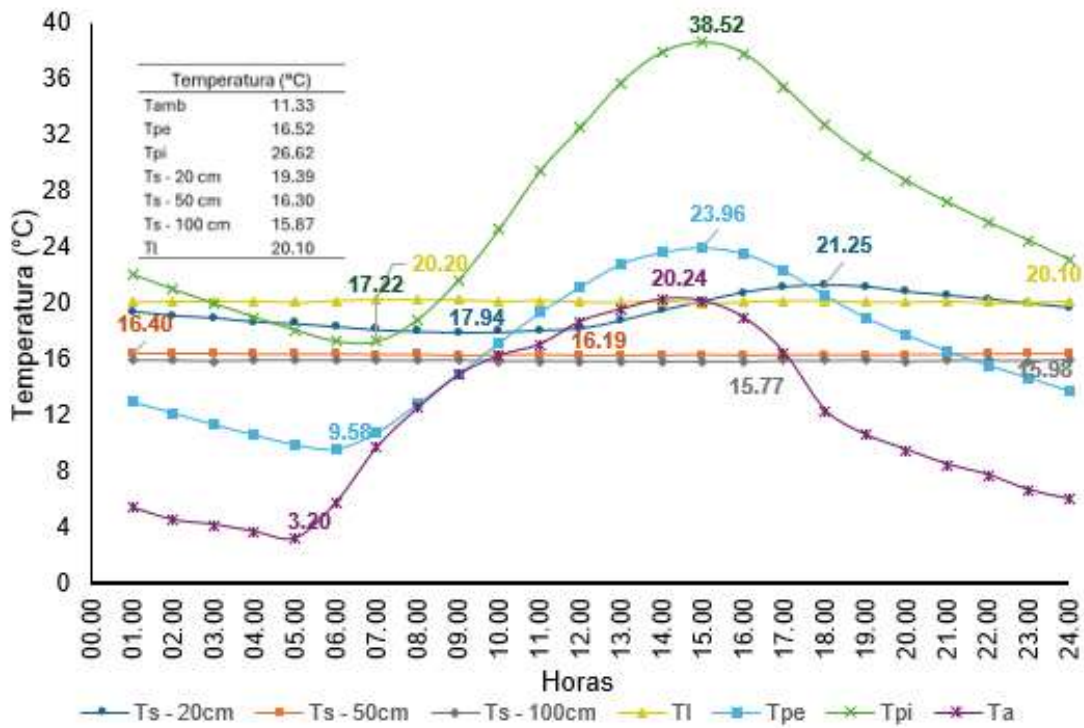
El impacto del aumento de las temperaturas se puede apreciar en la producción de biogás, pues la relación es directa, a mayor temperatura mayor producción de biogás (Álvarez & Lidén, 2008). Se registro una producción promedio de 1.92 Nm³ biogás/día, con un porcentaje de metano promedio de 55%. Considerando que solo se utilizó un biodigestor de volumen total 16 m³, la producción de biogás es suficiente para cubrir las necesidades energéticas (cocina) de una familia promedio de la región. En cuanto a los análisis del afluente y efluente (Tabla 1), se muestran reducciones elevadas en SV y DQO. El promedio, el contenido de SV disminuyo de 30.37 g SV/kg (afluente) a 7.80 g SV/kg (efluente) indicando una remoción de 74.3%. Respecto a la DQO, disminuyo de 30.71 g/L (afluente) a 9.09 g/L (efluente) indicando una remoción de 70.4%. Esta reducción en SV y DQO implica una gran transformación del estiércol bovino, asegurando la anaerobiosis en el biodigestor tubular de bajo costo (Castro et al., 2017). Estudios previos en donde también utilizaron biodigestores tubulares muestran remociones de SV entre 22 y 80% (Lansing et al., 2008; Garfi et al., 2011). Los resultados obtenidos indican que se pueden obtener elevadas remociones de materia orgánica, aun cuando el biodigestor es operado en condiciones de clima frio.

Otros parámetros clave que influyen enormemente el desarrollo de la DA es el pH, AGV y AT. El pH debería estar en el rango de 6.5 a 8 para brindar un ambiente sostenible y los microorganismos anaerobios, principalmente las arqueas metanogénicas, puedan degradar la materia orgánica y producir metano (Zhong et al., 2015). el pH en este estudio se mantuvo entre 7.55 y 7.98. La AT pudo haber ayudado en estabilizar el pH y en consecuencia mejorar el proceso de DA (Wilson et al., 2008). Respecto a la concentración de AGV, hubo una reducción en el efluente (828 mg/L) respecto al afluente (1230 mg/L). Elevada concentración de AGV (>1500 mg/L) puede ser perjudicial para los microorganismos en el proceso de DA, inhibiendo la fase metanogénica y reduciendo de esta manera la producción de metano (Fan et al., 2024).

3.2. Comportamiento de las temperaturas en el biodigestor tubular

La figura 3 muestra el comportamiento de variación de un día entero 24 h

Figura 3. Comportamiento térmico de Ts (20, 50 y 100 cm), TI, Tpe y Tpi durante las 24 horas del día.



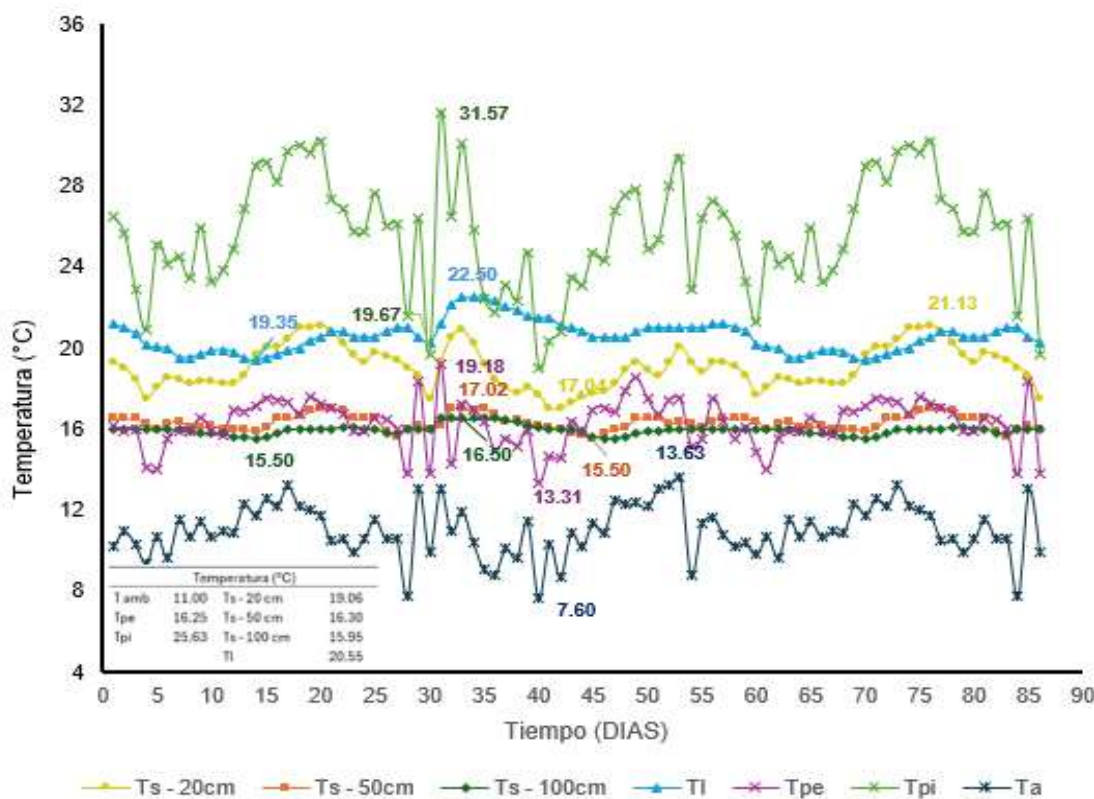
El periodo de registro de datos fue durante 90 días. Los valores de temperatura del lodo, suelo y paredes se muestran en la Figura 3 y 4.

Los sistemas de calentamiento en biodigestores son necesarios para reducir las fluctuaciones de temperatura e incrementar la producción de biogás (Hassanein et al., 2015). El invernadero y el aislamiento ayudaron a que la temperatura de trabajo del biodigestor sea elevada en una zona con condiciones climáticas extremas (clima frío y elevada altitud). De acuerdo con los datos registrados experimentalmente, se puede apreciar una diferencia entre la temperatura del lodo y la temperatura ambiente. El valor promedio de TI durante un periodo de medición de 24 horas fue de 22.6°C (Figura 3), mientras que la temperatura ambiente promedio fue de 11.56°C. La temperatura promedio en 24 h de TI es 11.04°C más elevada que Ta. Un

comportamiento similar ocurre en las temperaturas durante los 86 días (Figura 4). TI muestra una temperatura promedio de 23.05°C y la temperatura promedio de Ta fue de 11°C, representado una diferencia de TI respecto a Ta de 12.05°C.

La figura 4 representa la temperatura durante los 86 días de experimentación.

Figura 4. Comportamiento térmico de Ts (20, 50 y 100 cm), TI, Tpe y Tpi durante 90 días.



La temperatura del lodo es considerablemente más elevada que la temperatura ambiente. Esto significa que los materiales utilizados en la construcción del invernadero y el aislamiento son eficaces en el proceso de transferencia de calor. El sol calienta el techo de policarbonato, el cual pasa al lodo vía radiación (Perrigault et al., 2012). La temperatura en TI también incrementa debido al efecto en la temperatura del aire dentro del invernadero, esto se puede comprobar porque la temperatura en Tpi fue elevada durante gran parte del día. En la figura 3 se puede

visualizar que la temperatura en Tpi, no bajo de 17°C, incluso se llegó a registrar temperaturas de hasta 38.5°C a las 15:00 horas. Un comportamiento similar se observa en Tpe, pero aproximadamente -9.38°C por debajo de Tpi. Por otro lado, la temperatura promedio del suelo a diferentes profundidades fue de 20.06, 17.3 y 16.95 °C a profundidades de 20cm, 50cm y 1m respectivamente (en ambas condiciones de medición los resultados fueron muy similares). De este modo, como la temperatura del lodo es más elevado que la temperatura del suelo y la temperatura ambiente, el biodigestor tubular adaptado para que funcione en condiciones de clima frio actúo como un almacenador de calor con masa térmica, como fue reportado por (Martí-Herrero et al., 2015).

Comparando este estudio con trabajos previos en biodigestores tubulares de bajo costo adaptados a clima frio, Garfi et al., (2011) reporta temperatura promedio de lodo de 20°C, +2.1°C más elevado que la temperatura ambiente. Martí-Herrero et al., (2014) reporta un incremento de temperatura de +8.5°C. También Perrigault et al., (2012) reporto una temperatura promedio del lodo de 24.5°C, +8.4°C más elevado que la temperatura ambiente promedio. Todos estos incrementos de temperatura son similares a los reportados en el presente estudio. Este comportamiento podría ser explicado por los materiales utilizados para la construcción del invernadero. El grosor y masa de las paredes de adobe almacenan eficazmente el calor, pues en las Figuras 3 y 4 se muestra el comportamiento térmico de las temperaturas en la pared donde estas en promedio se mantienen a 25.63°C para Tpi y 16.25°C para Tpe durante todo el periodo de experimentación. Por otra parte, la orientación del invernadero (este -oeste), la inclinación del techo hacia el norte y el policarbonato del techo también podrían ser factores adicionales que realmente incrementan la temperatura del lodo.

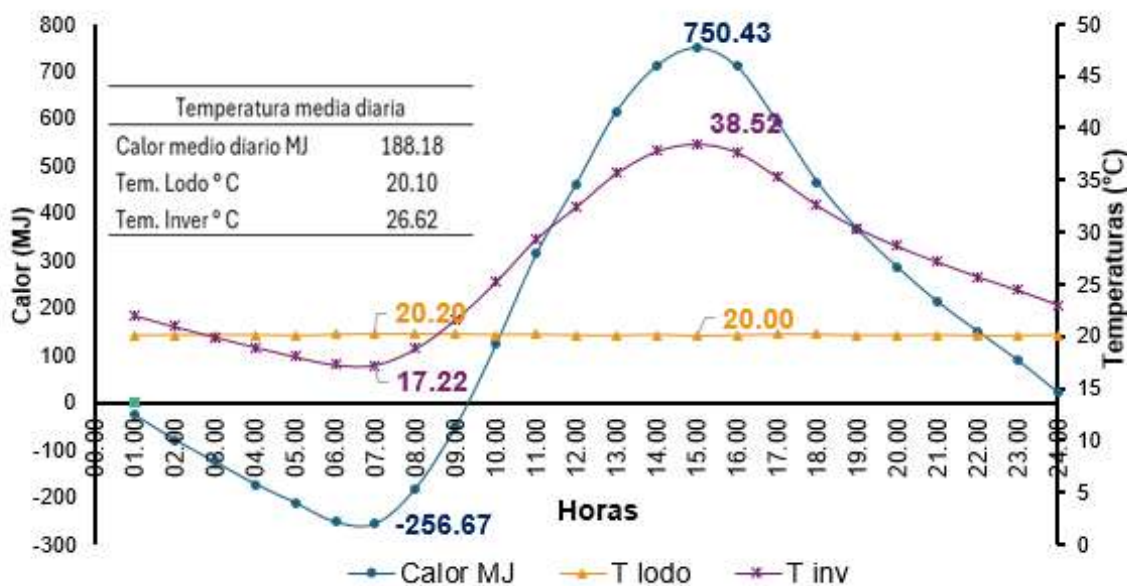
3.3. Balance energético del biodigestor

El principio general de balance de energía establece que la energía que entra a un sistema, menos la energía que sale, es igual al cambio de energía almacenada dentro del sistema

(Çengel & Boles, 2015). El estudio del balance energético en un biodigestor tubular situado en el altiplano Puno, Juliaca implica examinar la energía que ingresa, se convierte y se pierde en el sistema. Este estudio incluye fuentes energéticas tales como la luz solar, la temperatura del ambiente y la materia orgánica empleada, así como igualmente las disminuciones de calor debido al entorno. Analizar este balance es fundamental para comprobar si el biodigestor conserva las condiciones térmicas óptimas para que el proceso de digestión anaeróbica sea efectivo, sobre todo en un clima cambiante y frío como el que prevalece en el altiplano peruano. Un balance de energía es una herramienta fundamental para analizar sistemas termodinámicos, que permite cuantificar la energía que entra, sale y se acumula en un sistema durante un proceso (Moran, Shapiro, Boettner, & Bailey, 2014)

El diagrama muestra el balance energético por hora de un biodigestor tubular, teniendo en cuenta la energía térmica (kJ) y las temperaturas relacionadas con el sistema: temperatura del lodo (T Lodo) y temperatura del invernadero (T inv), en el contexto de las condiciones climáticas del altiplano peruano.

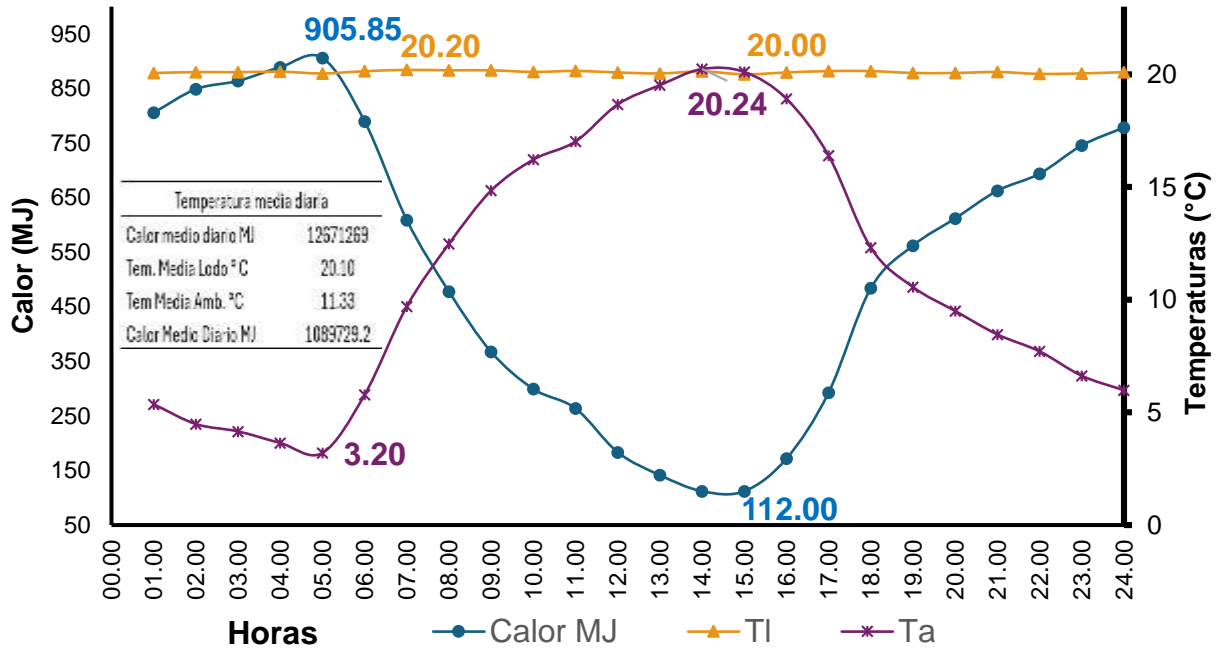
Figura 5. Balance energético horario con variación de temperaturas internas y externas



La curva de calor nos muestra la energía térmica acumulada o perdida por el sistema durante el día, entre las 01:00am y 09:00am, el biodigestor pierde calor, alcanzando un mínimo de -256.67 MJ, debido a las bajas temperaturas nocturnas y matutinas, de igual manera se observa que a partir de las 10:00am, el sistema comienza a acumular calor, alcanzando un máximo de 750.43 MJ a las 14:00pm, gracias al aumento de radiación solar y al efecto del invernadero. Posteriormente se observa que el calor acumulado disminuye hacia la noche. Este comportamiento confirma que el biodigestor requiere de mecanismos de aislamiento o captación solar para evitar pérdidas térmicas significativas durante la noche. La curva de temperatura lodo indica una temperatura estable alrededor de 20 °C durante todo el día, lo cual es óptimo para la digestión anaerobia mesofílica (15–35 °C). Esto indica que el diseño del sistema logra mantener condiciones térmicas estables para el proceso biológico, a pesar de las variaciones climáticas externas. La curva de temperatura del invernadero muestra una variación significativa de temperatura dentro del invernadero, nos indica la temperatura mínima de 17.22 °C a las 07:00am y la temperatura máxima de 38.52 °C a las 15:00pm. Esto indica que el invernadero funciona como una fuente de ganancia térmica pasiva, acumulando calor en las horas de mayor radiación solar y transfiriéndolo al biodigestor

En la figura 6 se muestra el comportamiento térmico y energético de un biodigestor tubular funcionando en las condiciones climáticas del altiplano peruano, durante un ciclo diario de 24 horas. Se identifican tres variables esenciales: la energía acumulada en el sistema (Calor MJ), la temperatura del lodo (TL) y la temperatura del ambiente (Ta), que son fundamentales para medir la eficacia del sistema y la factibilidad del proceso de digestión anaerobia en un clima frío.

Figura 6. Variación del calor transferido de temperaturas internas y externas



Para la obtención de la masa promedio, el área del biodigestor se multiplica por el 70% de líquido acumulado en la biobolsa el cual nos dio un resultado de 11.2 kg este resultado se multiplica por la densidad del agua y nos dio un resultado de 11200 kg de lodo, el comportamiento térmico del biodigestor muestra una variación cíclica influenciada por la temperatura ambiente. Durante la madrugada, el sistema acumula calor, alcanzando su punto máximo a las 05:00 h, mientras que entre las 07:00 y 15:00 h experimenta pérdidas energéticas, con un mínimo de 112.00 MJ. A partir de la tarde, comienza una recuperación térmica. Este patrón evidencia una deficiencia de aislamiento, lo que podría afectar la eficiencia del proceso anaerobio. A pesar de ello, la temperatura del lodo se mantiene estable en torno a los 20.1 °C, lo que indica que el diseño incluye estrategias que favorecen la retención térmica. La amplitud térmica diaria del ambiente, que oscila entre 3.20 °C y 20.24 °C, representa un reto técnico para mantener la eficiencia del sistema en zonas altoandinas.

3.4. Consideraciones finales

Los biodigestores tubulares fueron diseñados originalmente para zonas tropicales. Hacer que estos biodigestores funcionen en zonas andinas o el altiplano es aún un reto tecnológico. Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que la DA en condiciones de clima extremo, utilizando un biodigestor tubular adaptado a clima frío puede funcionar adecuadamente. La producción de biogás y el contenido de metano fueron altos, indicando un buen desarrollo en la población metanogénica del biodigestor (Ferrer et al., 2011). La alta producción de biogás fue debido a la elevada temperatura de lodo, 9.55 °C por encima de la temperatura ambiente. Todo esto indica que el diseño del invernadero es fundamental pues evita que baje la temperatura dentro del biodigestor y se mantenga en un valor adecuado de 20.55°C.

4. CONCLUSION

El digestor tubular funcionó adecuadamente en climas fríos, ya que generó suficiente biogás (1.92 Nm³/día con 55% de metano) para cubrir las necesidades de una familia, además de disminuir significativamente los contaminantes y mantener condiciones estables (pH y ácidos grasos), lo cual favoreció la producción eficiente de biogás. Asimismo, aunque las temperaturas del aire y de la superficie del suelo varían considerablemente durante el día, a mayor profundidad (50 y 100 cm) se mantienen estables, lo que demuestra que el suelo actúa como aislante térmico y protege de cambios bruscos de temperatura. Del mismo modo, durante 90 días la temperatura del lodo dentro del digestor se mantuvo aproximadamente 12 °C más alta que la temperatura ambiente, gracias al invernadero y al aislamiento, lo que evidencia que el diseño del sistema permite conservar un ambiente térmico estable y adecuado para la producción de biogás. Por otra parte, aunque el biodigestor pierde calor durante la noche, logra recuperarlo con la radiación solar desde las 10:00 AM, alcanzando su máximo alrededor de las 2:00 PM, lo que permite mantener el lodo a una temperatura óptima (~20.2 °C) para la digestión anaerobia, siendo el invernadero un factor clave para captar y conservar dicho calor. Finalmente, el balance diario evidencia que, pese a la pérdida de calor nocturna, existe una acumulación durante el día que estabiliza la temperatura del lodo en torno a los 20 °C; en consecuencia, a pesar de las variaciones externas (entre 3.2 °C y 20.24 °C), el invernadero asegura condiciones térmicas adecuadas para la producción de biogás.

5. REFERENCIAS

Alvarez, R., & Lidén, G. (2008). The effect of temperature variation on biomethanation at high altitude. *Bioresource Technology*, 99(15), 7278–7284.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.055>

Angelidaki, I., Treu, L., Tsapekos, P., Luo, G., Campanaro, S., Wenzel, H., & Kougias, P. G. (2011). Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. *Biotechnology Advances*, 29(2), 210–219. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.11.008>

Appels, L., Baeyens, J., Degève, J., & Dewil, R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(6), 755–781. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2008.06.002>

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>

Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Thermodynamics: An Engineering Approach* (8th ed.). McGraw-Hill Education.

Cheng, J., & Liu, J. (2021). Anaerobic digestion for waste treatment and energy generation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147, 111233.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111233>

Deublein, D., & Steinhauser, A. (2008). *Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction*. Wiley-VCH.

Dev, S., Saha, S., Kurade, M. B., Salama, E. S., El-Dalatony, M. M., Ha, G. S., ... Jeon, B. H. (2019, April 1). Perspective on anaerobic digestion for biomethanation in cold

environments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.034>

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. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116758>

Garfí, M., Ferrer-Martí, L., Perez, I., Flotats, X., & Ferrer, I. (2011). Codigestion of cow and guinea pig manure in low-cost tubular digesters at high altitude. *Ecological Engineering*, 37(12), 2066–2070. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.08.018>

Hassanein, A. A. M., Qiu, L., Junting, P., Yihong, G., Witarsa, 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>

Jobling Purser, B. J., Thai, S. M., Fritz, T., Esteves, S. R., Dindale, R. M., & Guwy, A. J. (2014). An improved titration model reducing over estimation of total volatile fatty acids in anaerobic digestion of energy crop, animal slurry and food waste. *Water Research*, 61, 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.05.020>

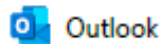
Khadka, A., Parajuli, A., Dangol, S., Thapa, B., Sapkota, L., Carmona, M. A., Ghimire, A. (2022). Effect of substrate to inoculum ratios on biogas production kinetics during mesophilic anaerobic digestion of food waste. *Bioresource Technology - Energías 2022* , 15 (3), 834. <https://doi.org/10.3390/en15030834>

- Lansing, S., Botero, R. B., & Martin, J. F. (2008). Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. *Bioresource Technology*, 99(13), 5881–5890.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.090>
- Martí-Herrero, J., Alvarez, R., Cespedes, R., Rojas, M. R., Conde, V., Aliaga, L., ... Danov, S. (2015). Cow, sheep and llama manure at psychrophilic anaerobic co-digestion with low cost tubular digesters in cold climate and high altitude. *Bioresource Technology*, 181, 238–246. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.063>
- 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>
- Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2014). *Fundamentals of engineering thermodynamics* (8th ed.). Wiley.
- 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>
- Quino, F., Morales, V., Espejo, O., & Martí-Herrero, J. (2016). *2015_BioNati Manual de instalacion en zona andina.pdf* (O. Espejo (ed.); Primera). Oficina Regional HIVOS Sud America. <https://www.beegroup-cimne.com/sistema-bio-nati-manual-de-instalacion-en-zona-andina/>

- Wilson, C. A., Murthy, S. M., Fang, Y., & Novak, J. T. (2008). The effect of temperature on the performance and stability of thermophilic anaerobic digestion. *Water Science and Technology*, 57(2), 297–304. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.027>
- Zhen, G., Lu, X., Kato, H., Zhao, Y., & Li, Y.-Y. (2017). Overview of pretreatment strategies for enhancing sewage sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: Current advances, full-scale application and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 559–577. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.187>
- Zhong, Y., Roman, B. M., Zhong, Y., Archer, S., Chen, R., Deitz, L., ... 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>
- (Fan et al., 2024) <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131304>

6. ANEXOS

Anexo 1. Evidencia de sumisión del artículo.



RV: [RICA] Envío recibido

Desde Juan Eduardo Vigo Rivera <eduardo.vigo@upeu.edu.pe>

Fecha Mié 23/07/2025 15:15

Para shakira.canaza <shakira.canaza@upeu.edu.pe>

De: Claudio M. Amescua Garcia via Revista Internacional de Contaminación Ambiental <rica@atmosfera.unam.mx>

Enviado: miércoles, 23 de julio de 2025 15:14

Para: Juan Eduardo Vigo Rivera <eduardo.vigo@upeu.edu.pe>

Asunto: [RICA] Envío recibido

vigo.rivera:

Gracias por enviarnos su manuscrito "Evaluación del comportamiento térmico del biodigestor tubular operado en el altiplano peruano" a Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito:

<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/authorDashboard/submission/55672>

Nombre de usuario/o: jevr72

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros/as. Gracias por tener en cuenta esta revista para difundir su trabajo.

Claudio M. Amescua Garcia

Revista Internacional de Contaminación Ambiental <https://www.revistascca.unam.mx/rica>

Anexo 2. Resolución de inscripción de perfil del 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° 0653-2024/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 27 de agosto de 2024

VISTO:

El expediente de **Yassent Deysi Coaquira Yucra**, identificado(a) con Código Universitario N° 201811114 y **Shakira Lisseth Canaza Chambi** identificado(a) con Código Universitario N° 201620220, 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 **Yassent Deysi Coaquira Yucra** y **Shakira Lisseth Canaza Chambi**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Evaluación del comportamiento térmico del biodigestor tubular operado en el 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 27 de agosto 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 del comportamiento térmico del biodigestor tubular operado en el altiplano peruano**" 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: **MSc. Franklyn Elard Zapana Yucra** y **MSc. Loayda Abigail Condori Turpo**, 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. Resolución de sustentación del perfil del proyecto de tesis en formato artículo.



"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

RESOLUCIÓN N° 0470-2025/UPeU-FIA-CF

Lima, Naña, 05 de agosto de 2025

VISTO:

El expediente de los (las) bachilleres **Shakira Lisseth Canaza Chambi** identificado(a) con código universitario N° 201620220 y **Yassent Deysi Coaquira Yucra** identificado(a) con código universitario N° 201811114, 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 sustentación de la tesis en formato artículo;

Que el Comité Dictaminador ha emitido su dictamen aprobando el informe de tesis titulado "Evaluación del comportamiento térmico del biodigestor tubular operado en el altiplano peruano", presentado por los (las) bachilleres **Shakira Lisseth Canaza Chambi** y **Yassent Deysi Coaquira Yucra**, reumiendo de esta manera las condiciones previas para la declaratoria de expedito para la programación de la sustentación;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 05 de agosto de 2025, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

1. Declarar expedito a los (las) bachilleres **Shakira Lisseth Canaza Chambi** y **Yassent Deysi Coaquira Yucra**, para que sustenten la tesis en formato artículo titulada "Evaluación del comportamiento térmico del biodigestor tubular operado en el altiplano peruano", conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental, el 21 de agosto a las 11:00 horas, en la modalidad presencial, en el Salón de Actos Wellesley Muir.
2. Designar el Jurado de Sustentación, encargado de gestionar la sustentación respectiva, el mismo que queda constituido por los siguientes miembros:

Presidente: Ing. Enrique Mamani Cuela
Secretario: Ing. Verónica Haydee Pari Mamani
Asesor: Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera
Vocal 1: MSc. Franklyn Elard Zapana Yucra
Vocal 2: MSc. Loayda Abigail Condori Turpo

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dra. Erika Inés Acuña Salinas

DECANA

CC:
-Lima
-Secretaría
-Secretaría General
-Archivos



Lic. Gina Marita Tito Tolentino

SECRETARIA ACADÉMICA

Villa Unión - Naña, altura Km 19 de la Carretera Central, Longarcho - Chocoma, Lima 15 - Perú
Teléfono: (01) 0 98330 - Web: www.upu.edu.pe