

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



**Optimización de la co-digestión anaerobia de estiércol de
bovino y de cobaya para la producción de metano**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Brian Junior Carita Pomari
Nelida Matilde Carbajal Pachapuma

Asesor:

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, diciembre de 2024

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

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

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: "**OPTIMIZACIÓN DE LA CO-DIGESTIÓN ANAEROBIA DE ESTIÉRCOL DE BOVINO Y DE COBAYA PARA LA PRODUCCIÓN DE METANO**" de los autores Brian Junior Carita Pomari y Nelida Matilde Carbajal Pachapuma tiene un índice de similitud de 6% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 19 días del mes de diciembre del año 2024.



Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 05 día(s) del mes de diciembre 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):

Msc. Miguel Angel Salcedo Enriquez el (la) secretario(a): Msc. Lourda Abigail Bondon Turpo y los demás miembros: Mg. Franklin Elard Zapana Yura Dr. Mateo Alejandro Salinas Mora y el (la) asesor(a) Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

"Optimización de la co-digestión anaerobia de estiércol de bovino y de cabuya para la producción de metano"

- del(los) bachiller(es): a) Nelida Matilde Barbajal Pachapuma
 b) Brian Junior Barita Pomari
 c) _____

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Ambiental
(Diplomación 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): Nelida Matilde Barbajal Pachapuma

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>18</u>	<u>A-</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (b): Brian Junior Barita Pomari

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>18</u>	<u>A-</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</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)

Dedicatoria

A Dios, fuente de infinita sabiduría,
por guiarme en mi camino.

A mi abuela Micaela,
por su amor incondicional.

A mi madre, Melina,
Por su apoyo incondicional.

A Deysi Coaquira, por su apoyo
y palabras de aliento durante este proceso.

A mi asesor, los discriminadores e Ing. Glen,
por su guía, fueron ayuda fundamental en este trabajo.

Brian Junior Carita Pomari

Agraciado con Dios,
por su guía y bendición diaria.

A mis padres, Martín y Claudia,
por su amor incondicional y apoyo.

A mis hermanos, por su compañía y motivación.

Y a mi asesor, por su orientación
y dedicación en la realización de esta tesis.

Al ingeniero Glen Madrigal por sus guías.

Nelida Matilde Carbajal Pachapuma

Lista de Contenido

Dedicatoria.....	iv
Lista de tablas.....	vii
Lista de Figuras	viii
Índice de anexos	ix
Resumen.....	10
Abstract.....	11
1. Introducción.....	12
2. Materiales y Métodos	14
2.1. Descripción del caso de estudio	14
2.2. Sustrato	14
2.3. Inoculo	15
2.1.3. Parámetros de caracterización.....	15
2.1.3. Biogás	16
2.3 Diseño y configuración experimental	17
2.4 Métodos analíticos	20
2.5 Análisis estadístico	20
2.5.1 Formulas	20
3. Resultados y Discusiones.....	21
3.1 Caracterización de los sustratos	21
3.2 Efectos fisicoquímicos de la co-digestión anaerobia de los tratamientos realizados.....	22
3.3 Volumen de biogás producido en la CoDA de estiércol de cobaya y de bovino	23
3.4 Composición del biogás producido en la CoDA de estiércol de cobaya y de bovino	25

3.5. Resultados estadísticos	27
4. Conclusiones	29
5. Referencias bibliográficas.....	31
Anexos.....	..35

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Relación porcentual de estiércol bovino, estiércol de cobaya e inóculo para cada tratamiento.</i>	17
Tabla 2. <i>Caracterización del estiércol de bovino y cobaya</i>	21
Tabla 3. <i>Valores de pH, AGV y AT obtenidos al inicio y final de las pruebas PBM</i>	22
Tabla 5. <i>Análisis de varianza para los tratamientos de co-digestión anaerobia</i>	27
Tabla 6. <i>Resumen de las medias</i>	27
Tabla 7. <i>Tabla de resultados Duncan</i>	28

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Procedimiento de montaje experimental para la determinación de volumen de biogás y metano mediante ensayos de PBM.</i>	18
Figura 2. <i>Procedimiento del método de densidad del gas DG-PBM</i>	19
Figura 3. <i>Producción de Biogás</i>	24
Figura 4. <i>Porcentaje de biogás acumulado</i>	26

Índice de anexos

Anexo A. Evidencia de sumisión en la Revista Internacional de Contaminación Ambiental	35
Anexo B. Copia de Resolución de inscripción del perfil del proyecto de tesis	36
Anexo C. Panel fotográfico del proceso de obtención de biogás	37
Anexo D. Resultados de laboratorio	38

Optimización de la co-digestión anaerobia de estiércol de bovino y de cobaya para la producción de metano

Resumen

La problemática en los Andes peruanos radica en el uso de combustibles no limpios, como madera y estiércol, para cocinar, lo cual afecta la salud debido al humo en interiores. Este estudio se enfoca en la co-digestión anaerobia (CoDA) de estiércol de bovino y cobaya para generar biogás, una fuente de energía renovable. Los objetivos son evaluar la producción de biogás mediante la mezcla de estos estiércoles y determinar la proporción óptima que maximice la generación de metano. Para lograr esto, se realizaron experimentos batch en condiciones mesofílicas utilizando cinco proporciones de mezcla (0%-100%, 25%-75%, 50%-50%, 75%-25%, 100%-0%). Se analizaron parámetros como sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), ácidos grasos volátiles (AGV), alcalinidad total (AT) y pH. El biogás y el metano producido se cuantificaron empleando el método de densidad de gases (GD-BMP). Los resultados indican que la mezcla 50-50% de estiércol de bovino y cobaya produce el mayor volumen de biogás (330 ml/gSV), evidenciando la importancia de la CoDA para mejorar la eficiencia. Las mezclas presentan mayor estabilidad de pH y AT, promoviendo un entorno óptimo para la actividad microbiana. En conclusión, la co-digestión de ambos estiércoles, especialmente la proporción de 50%-50%, mejora la producción de biogás y representa una solución sostenible para las comunidades rurales de los Andes. Este estudio proporciona evidencia la viabilidad de utilizar residuos de estiércol de bovino y de cobaya en la CoDA y destaca la importancia de considerar factores como la proporción de mezcla de estiércoles para optimizar la producción de biogás.

Palabras clave: metano, co-digestión anaerobia, biogás, estiércol de bovino y cobaya.

Optimization of anaerobic co-digestion of bovine and guinea pig manure for methane production

Abstract

The problem in the Peruvian Andes lies in the use of unclean fuels, such as wood and dung, for cooking, which affects health due to indoor smoke. This study focuses on the anaerobic co-digestion (CoDA) of bovine and guinea pig manure to generate biogas, a renewable energy source. The objectives are to evaluate the production of biogas by mixing these manures and determine the optimal proportion that maximizes the generation of methane. To achieve this, batch experiments were performed under mesophilic conditions using five mixing ratios (0%-100%, 25%-75%, 50%-50%, 75%-25%, 100%-0%). Parameters such as total solids (ST), volatile solids (SV), volatile fatty acids (VFA), total alkalinity (TA) and pH were analyzed. The biogas and methane produced were quantified using the gas density method (GD-BMP). The results indicate that the 50-50% mixture of bovine and guinea pig manure produces the highest volume of biogas (330 ml/gSV), evidencing the importance of CoDA to improve efficiency. The mixtures have greater pH and AT stability, promoting an optimal environment for microbial activity. In conclusion, the co-digestion of both manures, especially the 50-50 ratio, improves biogas production and represents a sustainable solution for rural communities in the Andes. This study provides evidence of the feasibility of using bovine and guinea pig manure residues in CoDA and highlights the importance of considering factors such as the manure mixing ratio to optimize biogas production.

Keywords: methane, anaerobic co-digestion, biogas, bovine and guinea pig manure.

1. Introducción

En los Andes peruanos, aproximadamente el 92% de la población habita en áreas rurales donde la disponibilidad de combustibles limpios para la cocina es insuficiente (Garfí, et al., 2011). Tradicionalmente, se emplean recursos como la madera o estiércol seco de animales como materia prima para la cocción de alimentos, lo que genera emisiones tóxicas en el interior de los hogares, creando un entorno de riesgo para la salud humana (Huarza, 2022). Además, la estructura económica de las comunidades rurales en las zonas andinas del Perú se fundamenta principalmente en la ganadería y la agricultura. La ganadería está compuesta mayormente por bovinos, llamas, alpacas y cobayas (Garfí, et al., 2011). En la región de Cusco, la actividad ganadera se orienta primordialmente hacia la crianza de cobayas y bovinos. La cobaya, apreciada por su sabor y empleada en la gastronomía local, es una especie fácil de criar, que requiere poco espacio y se alimenta de restos orgánicos, contribuyendo tanto a la economía familiar como a la sostenibilidad del entorno. Por otro lado, los bovinos son destinados a la producción de leche y carne (Carhuavilca, 2017).

No obstante, la gestión inadecuada de los estiércoles provenientes de bovinos y cobayas genera impactos ambientales negativos, especialmente la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). En este contexto, la digestión anaerobia (DA) ha ganado relevancia en las últimas décadas como una tecnología efectiva para el reaprovechamiento de residuos orgánicos, tales como los estiércoles. Mediante la biotransformación de estos residuos, se puede obtener biogás, una fuente de energía renovable, y biofertilizantes de alta calidad, los cuales funcionan como mejoradores de suelos (Lee et al., 2024; Álvarez et al., 2006). En los últimos años, se ha evidenciado un creciente interés por aplicar este proceso en el tratamiento de diversos residuos, debido a las propiedades de los productos obtenidos, en especial el biogás, que tiene un alto potencial energético derivado de la predominancia del metano (60-70%) en su composición (Cárdenas et al., 2016).

Sin embargo, la gestión inadecuada de los estiércoles generados por estos animales tiene impactos ambientales negativos, especialmente la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Según el IPCC (2010), el manejo del estiércol es una fuente significativa de emisiones de metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). La FAO (2013) también destaca que prácticas inadecuadas en la gestión del estiércol pueden aumentar estas emisiones, contribuyendo al cambio climático.

Por otro lado, la co-digestión anaerobia (CoDA), en comparación con la digestión anaerobia convencional (mono digestión), emerge como una alternativa más atractiva para el reaprovechamiento de residuos orgánicos. Esto se debe a que permite aprovechar los beneficios de distintos sustratos, lo que aumenta la eficiencia del proceso, favorece la diversidad microbiana y optimiza el balance de nutrientes, mejorando la producción y calidad del biogás obtenido (Lee et al., 2024). La digestión anaerobia implica la interacción coordinada de diversos grupos de microorganismos a lo largo de cuatro etapas: 1) Hidrólisis, en la que la materia orgánica se descompone en compuestos simples, como monómeros; 2) Acidogénesis, que genera ácidos orgánicos; 3) Acetogénesis, que forma compuestos como acetatos, propionatos y butiratos; y 4) Metanogénesis, donde los microorganismos producen metano a través de las rutas acetotrófica e hidrogenotrófica (Gonzales Sánchez et al., 2015).

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la co-digestión anaerobia tipo batch de estiércol bovino y estiércol de cobaya, en diferentes proporciones de mezcla, bajo condiciones mesofílicas, con la finalidad de determinar la relación óptima de mezcla que permita maximizar la producción de metano en el biogás generado.

2. Materiales y Métodos

2.1. Descripción del caso de estudio

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el impacto de distintas combinaciones de estiércol de cobaya y bovino en el proceso de digestión anaeróbica. Las materias primas empleadas, el estiércol bovino y el estiércol de cobaya, provienen de los residuos generados por las actividades productivas de los ganaderos establecidos en el distrito de San Pedro, en el departamento de Cusco, Perú (coordenadas E 335371.3, N 8354820.8, a una altitud de 3,907 msnm). En esta zona, la crianza de ganado bovino y cobayas constituye la principal actividad económica, donde cada familia cría, en promedio, 400 unidades de cobaya y 9 cabezas de ganado bovino. Estas prácticas generan, a diario, aproximadamente 90 kg de estiércol bovino y 800 kg de estiércol de cobaya, los cuales son dispuestos directamente sobre el suelo sin tratamiento previo. Según Barreda et al. (2022), estudios sobre la co-digestión de estiércol de vaca, cuy y cerdo en Perú han demostrado que la combinación de estos estiércoles genera un mayor volumen de biogás, lo cual podría ser relevante para evaluar el impacto de la digestión anaeróbica de estiércol de cobaya y bovino.

2.2. Sustrato

Los sustratos utilizados en este estudio fueron el estiércol bovino y el estiércol de cobaya, ambos originados de las actividades ganaderas del distrito de San Pedro. El estiércol de cobaya fue almacenado en bolsas Ziploc de 1 L a una temperatura constante de 4°C hasta su utilización, siguiendo el procedimiento descrito por Deering et al. (2023). Por su parte, el estiércol bovino fue recolectado en envases plásticos de 1 L y almacenado a 4°C hasta su uso posterior, conforme a los protocolos establecidos por Justesen et al. (2019). Además, estudios previos han comparado la riqueza nutricional de los estiércoles de diferentes especies animales, incluyendo el de cobaya, lo que respalda la elección de estos sustratos para la presente investigación (Romero Cobos, 2016).

2.3. Inoculo

El inoculo utilizado en este experimento se extrajo de una planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en Cusco, Perú. Este inoculo, caracterizado por su color verdoso oscuro y textura lodosa, fue sometido a una pre-incubación durante 5 días a dos temperaturas (23°C y 35°C) con el fin de minimizar la producción de biogás endógeno, como se recomienda en estudios previos. (López et al., 2017).

2.1.3. Parámetros de caracterización.

Para la caracterización tanto del inoculo como de los sustratos, se utilizaron los siguientes parámetros

- **Sólidos Totales (ST):** Se midieron los sólidos totales con el fin de determinar la cantidad total de materia orgánica e inorgánica presente tanto en el inóculo como en los sustratos. Los sólidos totales comprenden aquellos que están presentes en la muestra, tanto en forma suspendida como disuelta, y se cuantifican mediante un proceso de evaporación a una temperatura controlada, lo que permite obtener una medición precisa de la materia residual (Olivera L., 2022).
- **Sólidos Volátiles (SV):** Se analizaron con el objetivo de determinar la fracción orgánica de los sustratos, ya que esta es la parte que contribuye directamente a la producción de biogás. Según el método descrito por Málaga (2017), los sólidos volátiles representan la proporción de materia orgánica presente en la fracción sólida de una muestra. Esta medición es fundamental, ya que permite evaluar la concentración de compuestos complejos que, al someterse a la fermentación anaeróbica, pueden transformarse en biogás, tal como señala Nuñez L. (2017).
- **Ácidos Grasos Volátiles (AGV):** Los AGV fueron cuantificados como indicadores de la actividad microbiana y el equilibrio del proceso de digestión anaeróbica. Estos compuestos se generan durante la descomposición de la materia orgánica, y su concentración puede influir en la estabilidad del proceso. La medición de los AGV

se realizó siguiendo la metodología de (Jobling et al. 2014), quienes detallaron cómo la acumulación de AGV puede afectar negativamente la producción de metano, indicativo de posibles inhibiciones en el proceso digestivo.

- **Alcalinidad Total (AT):** La alcalinidad total se midió para evaluar la capacidad tampón del sistema, es decir, su capacidad para resistir cambios en el pH durante el proceso de digestión anaeróbica. Un valor adecuado de AT es crucial para mantener las condiciones óptimas de pH y evitar la acidificación del sistema. Este parámetro fue analizado siguiendo los protocolos establecidos por Málaga (2017), que han sido fundamentales en estudios sobre la digestión anaeróbica de residuos orgánicos.
- **Potencial de Hidrógeno (pH):** El pH fue monitoreado a lo largo del proceso de digestión anaeróbica para garantizar que se mantuviera dentro de los rangos óptimos para la actividad microbiana, los cuales generalmente se encuentran entre 6.8 y 7.6. Las mediciones del pH fueron realizadas utilizando un pH-metro, siguiendo los métodos descritos por (Jobling et al. 2014). Es importante señalar que, si el pH desciende por debajo de 6, podría indicar que el biogás producido tiene un bajo porcentaje de metano, lo que afecta negativamente la eficiencia del proceso (Ortega, N. M., 2006).
- La medición de estos parámetros fue realizada utilizando el medidor de conductividad HORIBA LAQUA C11000, el cual permitió obtener valores precisos y confiables de los componentes químicos presentes en los sustratos y en el inóculo. según lo descrito por (Málaga ,2017)

2.1.3. Biogás

El biogás es un gas combustible que se origina de forma natural o en sistemas diseñados específicamente, a través de la división de materiales orgánicos. Este proceso

ocurre gracias a la acción de microorganismos en condiciones sin presencia de oxígeno, también conocido como digestión anaeróbica (Avila et al., 2017)

2.3 Diseño y configuración experimental

Este estudio evaluó cinco tratamientos de diferentes proporciones de mezcla de estiércol bovino y de cobaya en la CoDA, así como también se incluyó un ensayo con blanco (inoculo) libre de sustrato para cada tratamiento como se detalla en la Tabla 1 y un control positivo de celulosa para evaluar la calidad del inoculo, cada ensayo fue por triplicado. La temperatura de experimentación fue de 35°C.

Tabla 1

Relación porcentual de estiércol bovino, estiércol de cobaya e inoculo para cada tratamiento.

Ítem	Blanco o inoculo	Estiércol bovino (%)	Estiércol de cobaya (%)
Blanco	100	0	0
Cobaya	-	0	100
Bovino - Cobaya	-	25	75
Bovino - Cobaya	-	50	50
Bovino - Cobaya	-	75	25
Bovino	-	100	0

Los experimentos mostrados en la Tabla 1 se realizaron a temperatura de 35°C. Los experimentos fueron realizados mediante las pruebas de Potencial Bioquímico de Metano (BMP) siguiendo la metodología propuesta por (Holliger et al. 2016). En detalle, todas las pruebas se desarrollaron por triplicado en botellas de vidrio de 120 ml de capacidad, con volumen de trabajo de 60 ml. También se realizó una prueba control positivo para el inoculo utilizando celulosa. Un blanco libre de sustrato fue incluido para medir la producción de metano endógena del inoculo. La relación inoculo – sustrato (RIS) usado en

el presente estudio fue de 2 (en base a SV). Inmediatamente después de agregar a cada botella el sustrato e inculo, el espacio de cabeza fue gaseado con N₂ por 30 s, luego cerrados con tapones de goma de butilo (rubber bv) y sellados con agrafes de aluminio para mantener condiciones anaerobias. Finalmente, todas las botellas se llevaron a incubar a 35°C durante 65 días.

Figura 1

Procedimiento de montaje experimental para la determinación de volumen de biogás y metano mediante ensayos de PBM.



El metano y biogás producido durante las pruebas fueron cuantificados mediante el método de densidad de gases (Gas Density Biochemical Potential Test, GD-BMP) (Justesen et al., 2019). El volumen de metano y biogás se ajustaron a condiciones estándar (1 atm y 0 °C).

Figura 2

Procedimiento del método de densidad del gas DG-PBM.



El método de GD-BMP se basa principalmente en medir en cada evento de muestreo la pérdida de masa de la botella y el volumen de biogás venteado como se observa en la Figura 2, con estas mediciones se obtienen la densidad y composición del biogás. La densidad de biogás (p_b , $g\ mL^{-1}$) a condiciones estándar se calculó a partir de la pérdida de masa de la botella (Δm_b , g) y volumen de biogás estandarizado (V_b , mL), con corrección del contenido de vapor de agua venteado (c_{H_2O} , $g\ mL^{-1}$) (ver Ec. 1).

$$p_b = \frac{\Delta m_b}{V_b} - c_{H_2O}. \quad (\text{Ec. 1})$$

Finalmente, la fracción molar de CH_4 en el biogás (x_{CH_4}) fue calculado a partir de la masa molar de CO_2 ($M_{CO_2} = 44.01\ g\ mol^{-1}$), CH_4 ($M_{CH_4} = 16.04\ g\ mol^{-1}$) y del biogás (M_b), como se muestra en la Ec. 2.

$$x_{CH_4} = \frac{M_{CO_2} - M_b}{M_{CO_2} - M_{CH_4}}. \quad (\text{Ec. 2})$$

Todos los cálculos necesarios se muestran en el artículo de Justesen et al. (2019).

2.4 Métodos analíticos

El contenido de sólidos totales (ST) y sólidos volátiles (SV) se determinó conforme a los métodos estandarizados 2540B y 2540C (American Public Health Association [APHA], 2017). Las muestras fueron calentadas en una estufa (BINDER) a 105°C durante 24 horas y en una mufla a 550°C durante 1 hora, respectivamente (APHA, American Water Works Association [AWWA], & Water Environment Federation [WEF], 2017). Para la medición de pH, ácidos grasos volátiles (AGV) y alcalinidad total (AT), las muestras fueron centrifugadas a 5000 rpm durante 30 minutos, y el sobrenadante se utilizó para los análisis. El valor de pH se midió utilizando un pH-metro (Horiba, Japón). Los AGV y AT se cuantificaron mediante el método de titulación trimétrica, según lo descrito por Jobling et al. (2014). Todos los análisis se realizaron tanto al inicio como al final de las pruebas de Potencial Bioquímico de Metano (PBM).

2.5 Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a análisis estadístico con el software Excel - Duncan, se realizó análisis de varianza (ANOVA) al 95% de confianza para determinar si existe diferencias significativas entre cada tratamiento.

2.5.1 Formulas

- **Fuente de variación.**
 - Factor
 - Error
 - Total
- **Suma de cuadrados**

$$SS_F = \sum_{i=1}^k n_i \cdot (\bar{y}_i - \bar{y})^2$$

$$SS_E = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} n_{ij} \cdot (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} n_{ij} \cdot (y_{ij} - \bar{y})^2$$

- **Grados de libertad**

- $F = k - 1$ $E = N - k$ $T = N - 1$

- **Media cuadrática**

$$MSE_F = \frac{SS_F}{k - 1}$$

$$MSE_E = \frac{SS_E}{N - k}$$

- **Estadístico F**

$$F = \frac{MSE_F}{MSE_E}$$

3. Resultados y Discusiones

3.1 Caracterización de los sustratos

La tabla 2 presenta las características promedias del estiércol de bovino y cobaya.

Tabla 2

Caracterización del estiércol de bovino y cobaya

Sustrato	Solidos totales (g/kg)	Solidos volátiles (g/kg)	Humedad (%)
Estiércol de Cobaya	790.02	672.13	21
Estiércol bovino	128.26	94.59	87.17

En la tabla 2 se puede apreciar que el contenido de ST en el estiércol de cobaya (790.02 g/kg) es mucho mayor que el estiércol bovino (128.26 g ST/kg); igualmente, el contenido de materia orgánica en el estiércol de cobaya (672.3 g SV/kg) es

significativamente más elevado en comparación con el estiércol bovino (94.59 g SV/kg). El alto contenido de materia orgánica del estiércol de cobaya debe, según sugiere, representar producciones de biogás y metanos más elevados, pero no ocurre dicho fenómeno (véase Figura 3 y 4). El estiércol de cobaya presenta una producción ligeramente más elevada que el estiércol bovino y ambos estiércoles tienen producciones bajas. El estiércol de cobaya tiene una humedad muy baja (21.00 %), también presenta elevado contenido lignocelulósico debido a la dieta del cobaya; todo esto podría dificultar el desempeño de los microorganismos debido a que la materia orgánica no está fácilmente disponible. Por otra parte, el estiércol bovino podría tener altas concentraciones de nitrógeno, lo que puede disminuir la eficiencia de producción de biogás (Mutegoa et al., 2020). De este modo, es necesario evaluar la apropiada relación de mezclado para la CoDA de estiércol bovino y cobaya.

3.2 Efectos fisicoquímicos de la co-digestión anaerobia de los tratamientos realizados

La Tabla 3 detalla el comportamiento de los parámetros de pH, AGV, AT en los tratamientos realizados al inicio y final de las pruebas PBM.

Tabla 3

Valores de pH, AGV y AT obtenidos al inicio y final de las pruebas PBM

	PH		AGV		AT	
	inicio	final	inicio	final	inicio	final
COBAYA 100%	7.92	8.03	648	408	1466.67	336.67
BOVINO 100%	8.56	7.94	384	368	783.33	256.67
COBAYA - BOVINO 25 – 75%	8.26	7.83	368	368	803.33	363.33
COBAYA - BOVINO	8.01	7.92	336	560	1220	410

50 – 50%						
COBAYA -						
BOVINO	8.12	7.74	420	492	860	346.67
75 – 25%						

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos de pH al final de las pruebas permanecieron en el rango de 7.74 a 8.03, cerca de los valores reportados por Martí et al. (2015), garantizando la actividad de los microorganismos metanogénicos y asegurando la correcta ejecución del proceso de DA (Wang et al., 2024; Liu & Liao, 2019). Los valores encontrados de alcalinidad total (AT) al inicio (783.33 – 1466.67 mg/L) y final (256.67 – 410 mg/L) de las pruebas PBM en todos los tratamientos indicaron una buena capacidad buffer, especialmente para la mezcla 50 – 50%. Indirectamente, estos valores también indican el balance del proceso de DA (producción y consumo de ácidos grasos volátiles) (Neshat et al., 2017). Por otro lado, los valores de AGV al inicio y final de las pruebas se mantuvieron muy por debajo de 2000 mg/L, valor reportado como el límite de un potencial proceso de inhibición del sistema (Bah et al., 2014). Estos resultados enfatizaron que no hay riesgo de acidificación debido a la mezcla de estiércol bovino y cobaya.

Los resultados alcanzados nos permiten evidenciar que la combinación de ambos sustratos (estiércoles) mejora la capacidad del consorcio microbiano para transformar la materia orgánica, permitiendo mantener el pH y AGV constante a lo largo de todo el proceso de DA. Este sinergismo entre los sustratos utilizados se puede justificar debido a la disponibilidad de nutrientes y AT.

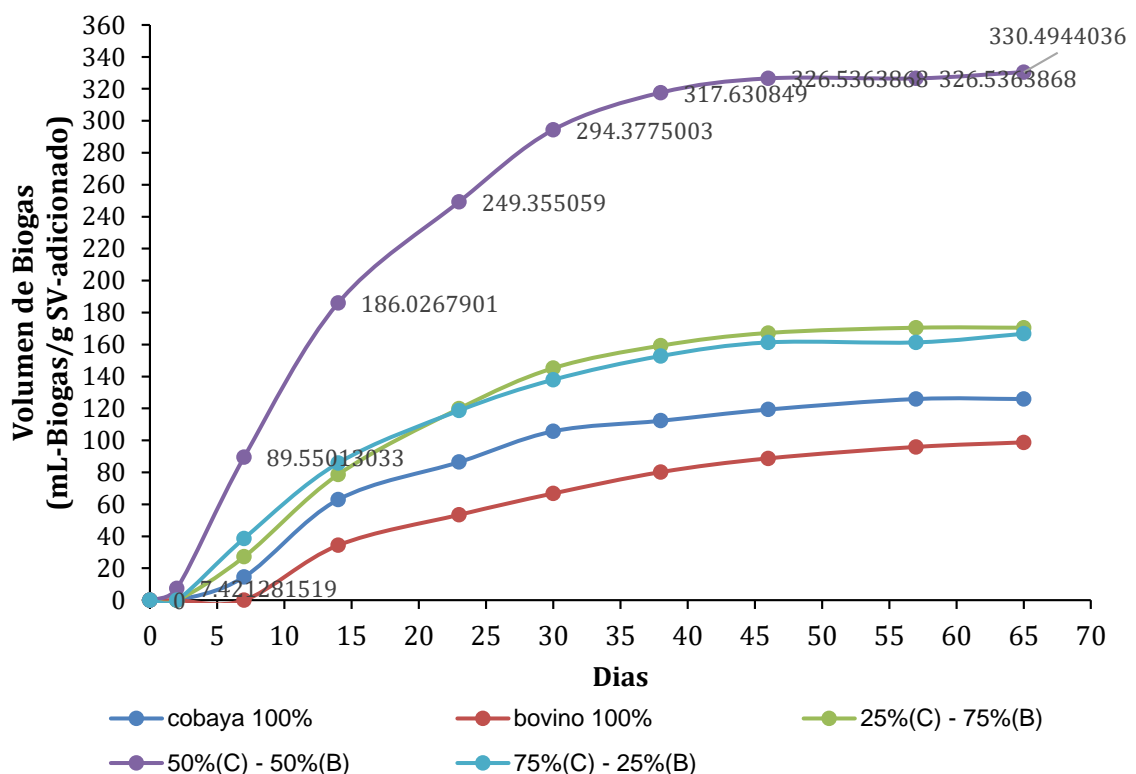
3.3 Volumen de biogás producido en la CoDA de estiércol de cobaya y de bovino

Las producciones acumuladas de biogás de las diferentes mezclas de estiércol bovino y cobaya durante 65 días de DA se muestran en la Figura 3. En general, el comportamiento de las curvas de bovino 100% y cobaya 100% presentaron una fase de

latencia más prolongada, aproximadamente hasta el día 5, el cual implica que estos sustratos no son fácilmente biodegradables. Sin embargo, los tratamientos de las diferentes mezclas de estiércoles evidenciaron una fase de latencia menor y a partir del día 2 la producción de biogás acumulado comenzó a aumentar. De acuerdo con los resultados obtenidos, las producciones totales acumuladas de biogás siguen el siguiente orden descendente: 50 C-50 B > 25 C-75 B > 75 C-25 B > cobaya 100% > bovino 100%. La mezcla 50 C-50 B reportó el volumen total de biogás más elevado con un valor de 330 mL/g SV, este resultado podría ser atribuido a la actividad microbiana activa, además, conduce a que la hidrólisis se acelere liberando ácidos grasos que luego son convertidos a acetato y eventualmente a biogás (Bah et al., 2014).

Figura 3

Producción de Biogás



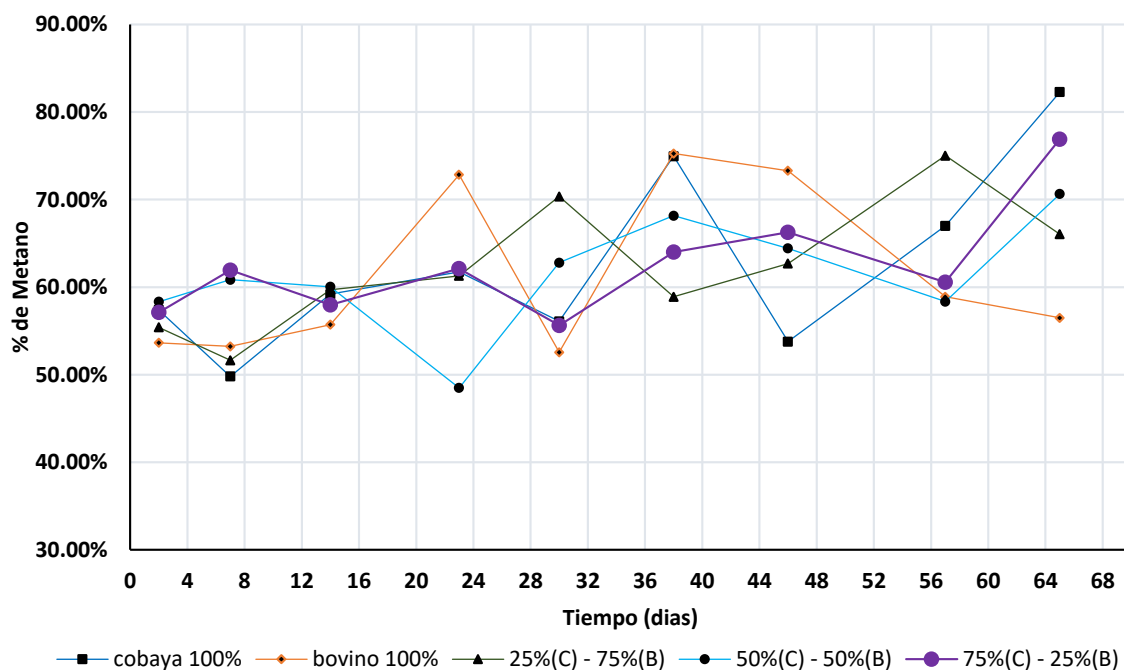
Por otro lado, no se observó diferencia significativa entre 25 C-75 B con un valor de 170.48 mL/g SV y 75 C-25 B con un valor de 183.55 mL/g SV. Asimismo, el volumen total de biogás obtenido para bovino 100% fue 100 mL/gSV mientras que, cobaya 100% produjo 122 mL/gSV. Las bajas producciones de biogás podrían ser atribuidos a la calidad de materia orgánica y su gestión. En el altiplano, las condiciones climáticas adversas y los cultivos tolerantes a las heladas brindan una dieta distinta a los animales (Alvarez & Lidén, 2008). La dieta de los animales en el altiplano lo que resulta en estiércoles con bajo contenido de lípidos y proteínas que dificulta la digestión (Álvarez et al., 2006). Estos datos evidenciaron la importancia de realizar la CoDA de ambos estiércoles para optimizar la producción de biogás en el proceso de DA, ya que, si se emplean estiércoles por separado (mono digestión), se obtienen producciones de biogás mucho menores como lo demostrado en esta investigación. La producción de biogás podría aumentar con el pretratamiento del estiércol de cobaya (p.e.: compostaje, trituración), con la finalidad de facilitar la dilución antes de alimentar un biodigestor. En el futuro, técnicas de gestión deberían modificarse para obtener elevadas producciones de biogás.

3.4 Composición del biogás producido en la CoDA de estiércol de cobaya y de bovino

Respecto a la composición de biogás, el comportamiento es similar en todas las pruebas. No hay diferencias significativas entre todos los diferentes experimentos, ya que el porcentaje de metano promedio varía de 61.33% a 62.51%. El contenido de metano varía de 50% (valor mínimo) hasta 80% (máximo valor) durante los 65 días de experimentación. Los resultados sugieren que el contenido de metano se encuentra dentro del rango reportado en la literatura (Garfí, et al., 2011). Independientemente de las mezclas de estiércol de cobaya y bovino que se quieran realizar para mejorar el proceso de DA, la composición de biogás no se verá afectado.

Figura 4

Porcentaje de biogás acumulado



Emplear el estiércol de bovino y cobaya por separados en el proceso de DA, conduce a producciones de biogás bajas a comparación de los obtenidos en la investigación de (Martí et al., 2015). En dicha investigación se emplearon mezclas de estiércol de llama, bovino y oveja, obteniendo producciones de biogás en el rango de 149 a 254 ml/gSV. Las bajas producciones de biogás podrían ser atribuidos a la calidad de materia orgánica y su gestión. En el altiplano, las condiciones climáticas adversas y los cultivos tolerantes a las heladas brindan una dieta distinta a los animales (Alvarez & Lidén, 2008). La dieta de los animales en el altiplano podría resultar en estiércoles con bajo contenido de lípidos y proteínas que dificulta la digestión (alvarez et al., 2006). De acuerdo con los resultados, el proceso de DA puede ser mejorado por la CoDA. En este sentido, la DA de estiércol bovino puede aumentar combinándolo con otro sustrato local, como el estiércol de cobaya, específicamente mezclando en una relación de 50 % de estiércol bovino y 50 % de estiércol de cobaya. Finalmente, podríamos aumentar aún más la producción de biogás pretratando el estiércol de cobaya (p.e.: compostaje, trituración) para

una fácil dilución antes de alimentar en un biodigestor. En el futuro, técnicas de gestión deberían modificarse para obtener elevadas producciones de biogás.

3.5. Resultados estadísticos

Tabla 4

Análisis de varianza para los tratamientos de co-digestión anaerobia

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F	Valor p (prob)
Tratamiento	4	152,500	38,125	6	0.0006205
Error	45	288,116	6,403		
Total	49	440,615	8,992		

Tabla 5

Resumen de las medias

Tratamiento	Media	Desviación Estándar (std)	Réplicas (r)	Error Estándar (se)	Mínimo (Min)	Máximo (Max)
bovino 100%	51.79969	40.67792	10	25.3033	0	98.73421
cobaya 100%	75.32047	52.35134	10	25.3033	0	125.92568
25%(C) - 75%(B)	103.83081	71.49844	10	25.3033	0	170.47548
50%(C) - 50%(B)	212.79288	134.19561	10	25.3033	0	330.4944
75%(C) - 25%(B)	102.34081	67.05969	10	25.3033	0	166.74765

El resumen de las medias muestra que el tratamiento 50%(C) - 50%(B) tiene la media más alta (212.79) con una alta variabilidad reflejada en su desviación estándar (134.20), seguido por 25%(C) - 75%(B) (103.83) y 75%(C) - 25%(B) (102.34) con menores

valores de dispersión (71.50 y 67.06, respectivamente). Los tratamientos cobaya 100% (75.32) y bovino 100% (51.80) presentan las medias más bajas, indicando menor impacto en la variable respuesta. Todos los tratamientos tienen 10 réplicas, un error estándar constante de 25.30, y rangos que varían desde un mínimo de 0 hasta un máximo que alcanza los 330.49 en el tratamiento 50%(C) - 50%(B), lo que refleja una amplia dispersión en los valores observados. Este análisis evidencia que el tratamiento 50%(C) - 50%(B) sobresale en efectividad con una mayor variabilidad.

Tabla 6

Tabla de resultados Duncan

Tratamiento	Media	Grupo Estadístico
50%(C) - 50%(B)	212.79288	a
25%(C) - 75%(B)	103.83081	b
75%(C) - 25%(B)	102.34081	b
cobaya 100%	75.32047	b
bovino 100%	51.79969	b

El análisis estadístico mediante la prueba de Duncan muestra que el tratamiento 50%(C) - 50%(B), con una media de 212.79, es significativamente superior a los demás tratamientos y pertenece al grupo estadístico a, destacándose como el más efectivo en la variable respuesta. Por otro lado, los tratamientos 25%(C) - 75%(B), 75%(C) - 25%(B), cobaya 100%, y bovino 100% no presentan diferencias significativas entre sí, compartiendo el grupo estadístico b, lo que indica que sus efectos son estadísticamente equivalentes. Esto implica que, para maximizar la respuesta, el tratamiento 50%(C) - 50%(B) debe ser priorizado, mientras que los demás pueden considerarse alternativas similares entre ellas si se busca otro criterio como economía o disponibilidad.

4. Conclusiones

Este estudio evaluó la viabilidad de la co-digestión anaerobia (CoDA) de estiércol de vaca y estiércol de cobaya, residuos comúnmente generados en la región de Cusco, a través de pruebas PBM con cinco tratamientos en diferentes proporciones (100% cobaya, 100% bovino, 25% cobaya - 75% bovino, 50% cobaya - 50% bovino, 75% cobaya - 25% bovino). Al inicio de las pruebas, el pH de las mezclas de estiércol de bovino y cobaya se mantuvo en un rango alcalino (7.92 - 8.56), lo que indica condiciones favorables para la actividad microbiana, especialmente para los microorganismos metanogénicos. Al finalizar el proceso de digestión anaerobia, el pH de todos los tratamientos se estabilizó entre 7.74 y 8.03, lo que es óptimo para mantener la actividad de los microorganismos y evitar posibles inhibiciones del proceso.

En cuanto a la estabilidad de los parámetros fisicoquímicos, tanto los Ácidos Grasos Volátiles (AGV) como la Alcalinidad Total (AT) mostraron comportamientos favorables a lo largo del proceso. Los AGV, que son productos intermedios de la digestión anaerobia, disminuyeron en la mayoría de los casos, lo que indica una conversión eficiente de la materia orgánica a biogás. Este comportamiento es un buen indicador de que la conversión de los sustratos en biogás se realizó de manera eficiente y sin riesgo de acidificación, lo que podría afectar la estabilidad del proceso.

El tratamiento con la mezcla 50% cobaya - 50% bovino fue el que produjo la mayor cantidad acumulada de biogás (330 ml/g SV). Este tratamiento no solo favoreció la producción de biogás, sino que también mantuvo un equilibrio adecuado entre los valores de AT y AGV, lo que es esencial para asegurar una capacidad buffer óptima durante el proceso de digestión anaerobia y evitar la acidificación del sustrato. Este equilibrio es crucial para mantener la estabilidad del proceso a largo plazo y promover la actividad de los microorganismos responsables de la generación de biogás.

En términos de composición, la producción de biogás mostró una concentración de metano que osciló entre un mínimo de 50% y un máximo de 80%. Estos resultados sugieren

que, aunque la mezcla de sustratos optimiza la producción total de biogás, no afecta de manera significativa la proporción de metano, que es el componente clave para la utilización energética del biogás. La constante presencia de metano en las mezclas es beneficiosa para su aprovechamiento como fuente de energía, especialmente en comunidades rurales que carecen de acceso a fuentes de energía limpias.

En comparación con la digestión anaerobia de los estiércoles de manera individual, los resultados de este estudio muestran que la co-digestión de estiércol de vaca y cobaya produce mayores volúmenes de biogás, lo que demuestra las ventajas de combinar estos sustratos. La sinergia entre ambos tipos de estiércol mejora la disponibilidad de nutrientes para los microorganismos metanogénicos, optimizando la producción de biogás. Además, este proceso puede contribuir al aprovechamiento energético y sostenible en zonas rurales, especialmente en comunidades de los Andes peruanos, que a menudo enfrentan dificultades para acceder a combustibles limpios y sostenibles.

Por lo tanto, la co-digestión anaerobia de estiércol bovino y de cobaya representa una opción viable y eficiente para la producción de biogás en regiones rurales, con un enfoque en la sostenibilidad energética. Para mejorar aún más la eficiencia del proceso, se recomienda considerar el pretratamiento de los estiércoles, como compostaje o trituración, lo cual podría facilitar la dilución y la biodisponibilidad de la materia orgánica, mejorando la eficiencia en la conversión de los sustratos en biogás.

5. Referencias bibliográficas

- Akamine, L. A., Passini, R., Sousa, J. A. S., Fernandes, A., & Moraes, M. J. de. (2023). Anaerobic Co-Digestion of Cattle Manure and Brewer's Residual Yeast: Process Stability and Methane and Hydrogen Sulfide Production. *Fermentation*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/fermentation9120993>
- Alvarez, R., Villca, S., & Lidén, G. (2006). Biogas production from llama and cow manure at high altitude. *Biomass and Bioenergy*, 30(1), 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.10.001>
- Alvarez, R., Villca, S., & Lidén, G. (2006). Biogas production from llama and cow manure at high altitude. *Biomass and Bioenergy*, 30(1), 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.10.001>
- APHA-AWWA-WEF (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd ed. American Public Health Association, USA.
- Arroyo, G., (2024). Evaluation of the biodegradation process in a prototype system at laboratory level, cotton textile waste as potential biodigestion substrate. *Bioresource Technology*. <https://hdl.handle.net/20.500.12773/18106>
- Ávila-Hernández, M; Campos-Rodríguez, R; Brenes-Peralta, L; Jiménez-Morales, M. Generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago. Tecnología en Marcha. Vol. 31-2. Abril-Junio 2018. Pág 159-170. DOI: 10.18845/tm.v31i2.3633
- Bah, H., Zhang, W., Wu, S., Qi, D., Kizito, S., & Dong, R. (2014). Evaluation of batch anaerobic co-digestion of palm pressed fiber and cattle manure under mesophilic conditions. *Waste Management*, 34(11), 1984–1991. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.07.015>
- Barreda, J., et al. (2022). Co-Digestión de Tres Tipos de Estiércol (Vaca, Cuy y Cerdo) para Obtener Biogás en el Sur del Perú. Recuperado de https://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2313-29572022000300174&script=sci_arttext.
- Cárdenas, L., Parra, B., Torres, P., Vásquez, C., (2016). Perspectives of Biochemical Methane Potential - BMP test for control the anaerobic digestion process of wastes. *Bioresource Technology*. <https://www.redalyc.org/journal/3420/342046466009/html/>
- Deering, Y., Lozano, D. (2023). Producción de biogás mediante combinación de estiércol vacuno y de cuy en la región Moquegua. *Bioresource Technology*, <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/14035>

- FAO. (2013). Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera: Un enfoque de cadenas de suministro. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <https://www.fao.org/4/i3288s/i3288s.pdf>
- 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>
- Garfí, M., Ferrer-Martí, L., Villegas, V., & Ferrer, I. (2011). Psychrophilic anaerobic digestion of guinea pig manure in low-cost tubular digesters at high altitude. *Bioresource Technology*, 102(10), 6356–6359. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.03.004>
- González-Sánchez, M. E., Pérez-Fabiel, S., Wong-Villarreal, A., Bello-Mendoza, R., & Yañez-Ocampo, G. (2015). *Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia*. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.05.003>
- Holliger, C., Alves, M., Andrade, D., Angelidaki, I., Astals, S., Baier, U., & ... Wierinck, I. (2016). Towards a standardization of biomethane potential tests. *Water Science and Technology*, 2515–2522
- IPCC. (2010). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: Volumen 4, Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra (Capítulo 10: Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf
- Jobling, B.J., Thai, S.M., Fritz, T., Esteves, S.R., Dinsdale, 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 Res.* 61,162–170. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.05.020>
- Justesen, C. G., Astals, S., Mortensen, J. R., Thorsen, R., Koch, K., Weinrich, S., Triolo, J. M., & Hafner, S. D. (2019). Development and validation of a low-cost gas density method for measuring biochemical methane potential (BMP). *Water (Switzerland)*, 11(12), 0–17. <https://doi.org/10.3390/W11122431>
- Justesen, C., Astals, S., Mortensen, J., Thorsen, R., Koch, K., Weinrich, S., . . . Hafner, S. (2019). Development and Validation of a Low-Cost Gas Density Method for Measuring Biochemical Methane Potential (BMP). *Water (Switzerland)*.

- Laird, D. A., Chappell, M. A., Martens, D. A., Wershaw, R. L., & Thompson, M. (2008). Distinguishing black carbon from biogenic humic substances in soil clay fractions. *Geoderma*, 143(1–2), 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.10.025>
- Lee, W., Kim, Y., Kim, H., & Kim, M. (2024). Comparison of Anaerobic Co-Digestion of Food Waste and Livestock Manure at Various Mixing Ratios under Mesophilic and Thermophilic Temperatures. *Sustainability*, 16(17), 7653. <https://doi.org/10.3390/su16177653>
- Liu, W. Y., & Liao, B. (2019). Anaerobic Co-Digestion of Vegetable and Fruit Market Waste in LBR + CSTR Two-Stage Process for Waste Reduction and Biogas Production. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 188(1), 185–193. <https://doi.org/10.1007/s12010-018-2910-4>
- Málaga, A. (2017). *Characterization and treatment of organic waste in the Andes: A case study on cow and guinea pig manure*. *Journal of Waste Management in Agriculture*, 6(4), 45-56
- Mutegoa, E., Hilonga, A., & Njau, K. N. (2020). Approaches to the mitigation of ammonia inhibition during anaerobic digestion – A review. In *Water Practice and Technology* (Vol. 15, Issue 3, pp. 551–570). IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/wpt.2020.047>
- Nakasima-López, M., Taboada-González, P., Aguilar-Virgen, Q., & Velázquez-Limón, N. (s. f.). *Adaptación de inóculos durante el arranque de la digestión anaerobia con residuos sólidos orgánicos*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000100020>
- Neshat, S. A., Mohammadi, M., Najafpour, G. D., & Lahijani, P. (2017). Anaerobic co-digestion of animal manures and lignocellulosic residues as a potent approach for sustainable biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.137>
- Núñez, L. (2017). *Modelamiento y control de proceso de digestión anaerobia para la producción de biogás a partir de residuos orgánicos y/o aguas residuales* (Tesis de Máster en Ingeniería Mecánico-Eléctrica con Mención en Automática y Optimización). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.
- Olivera L. (2022). *Producción de biogás a partir de efluentes de curtiembres mediante digestión anaeróbica de bacterias termo tolerantes en biorreactor UASB* (tesis de grado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Orrico Júnior, M. A. P., Orrico, A. C. A., De, J., & Júnior, L. (2009). Animal production and the environment: a comparison between methane emission potential from waste and the quantity of food produced. In *Agríc* (Issue 2).

- Ortega, N. M. (2006). Phosphorus precipitation in anaerobic digestion process. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 20, 1 – 22. DOI: 10.1016/j.cej.2007.10.023
- Romero Cobos, D. S. (2016). Comparación de la riqueza nutricional de estiércoles de bovino, porcino y cobayo en granjas agropecuarias de la provincia de Zamora *Chinchi*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Loja.

Anexos

Anexo A

Evidencia de sumisión en la Revista Internacional de Contaminación Ambiental

19/12/24, 11:46

Correo: brianarita - Outlook



RV: [RICA] Envío recibido

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

Fecha Mar 19/11/2024 22:06

Para brianarita <brianarita@upeu.edu.pe>; Nelida Carbajal Pachapuma <nelidacarbajal@upeu.edu.pe>

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

Enviado: martes, 19 de noviembre de 2024 22:04

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

Asunto: [RICA] Envío recibido

vigo.rivera:

Gracias por enviarnos su manuscrito "Optimización de la co-digestión anaerobia de estiércol de bovino y de cobaya para la producción de metano: Optimization of anaerobic co-digestion of bovine and guineape manure for methane production" 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/55458>

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 B

Copia de Resolución de inscripción del perfil del proyecto de tesis



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

RESOLUCIÓN N° 0277-2024/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Naña 07 de mayo de 2024

VISTO:

El expediente de **Nelida Matilde Carbajal Pachapuma**, identificado(a) con Código Universitario N° 201910211 y **Brian Junior Carita Pomari** identificado(a) con Código Universitario N° 201510106, 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 **Nelida Matilde Carbajal Pachapuma** y **Brian Junior Carita Pomari**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Optimización de la Co-digestión anaerobia de estiércol bovino y de cobaya para la producción de metano y biofertilizante" 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 07 de mayo 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 "**Optimización de la Co-digestión anaerobia de estiércol bovino y de cobaya para la producción de metano y biofertilizante**" 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: **Mg. Franklyn Elard Zapana Yucra** y **Dr. Mateo Alejandro Salinas Mena**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA

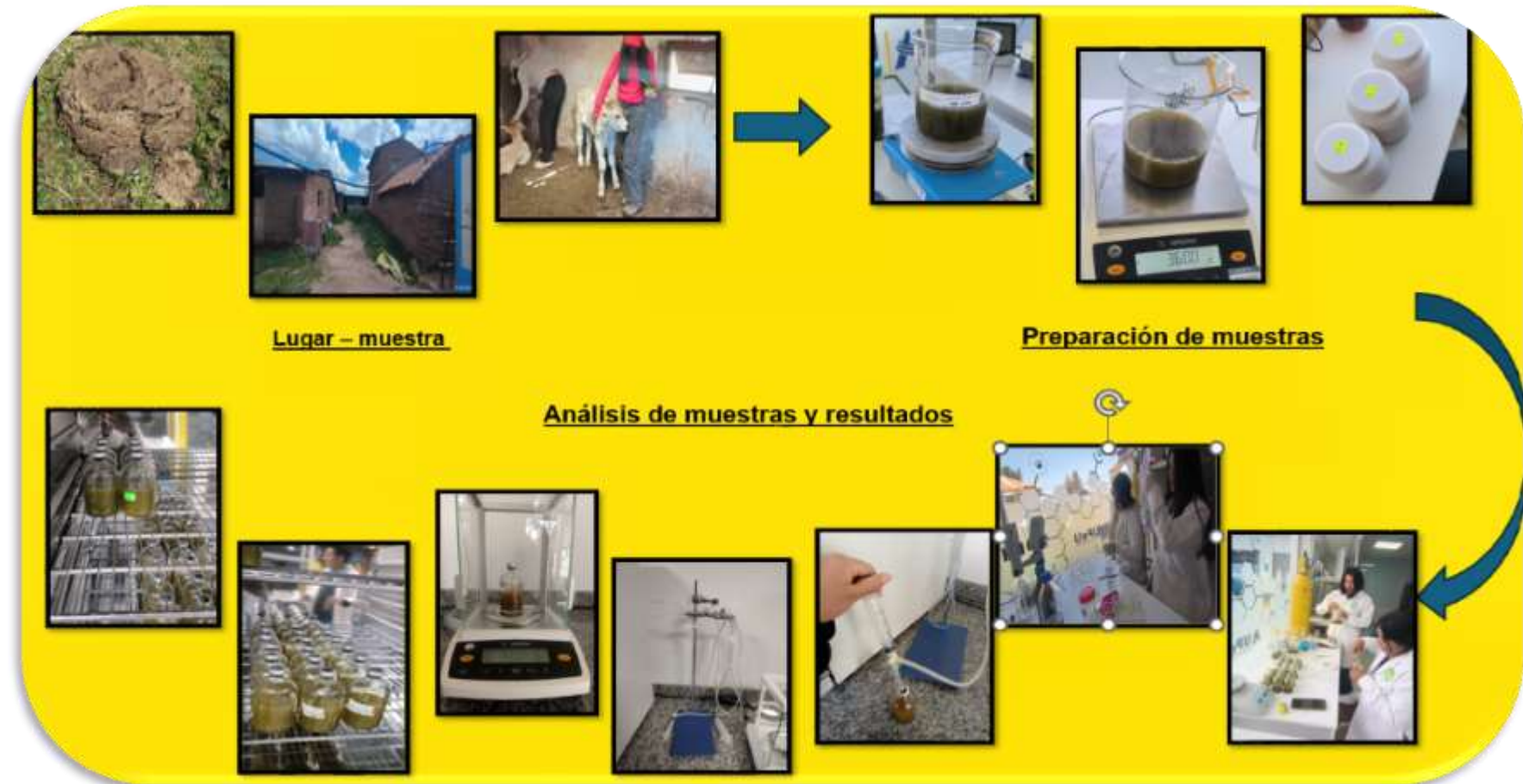



Ph.D. Silvia Pilco Quesada
SECRETARIA ACADÉMICA

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

Anexo C

Panel fotográfico del proceso de obtención de biogás



Anexo D

Resultados de laboratorio



UNIVERSIDAD PERUANA UNION
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE LA E.P. DE INGENIERIA AMBIENTAL
Carretera Salida a Arequipa Km. 6 Chullunquiani, Autopista Héroes de la Guerra
del Pacífico

ANALISIS DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS

Solicitante: Nelida Matilde Carbajal Pachapuma
Brian Junior Carita Pomari

Análisis de: Parámetros fisicoquímicos de Estiércol de Bovino y Cobaya

Fecha de extracción: 15/04/2024 Fecha de recepción: 15/04/2024

Condiciones de llegada: Buenas Extraídas por: El solicitante

Lugar de muestreo: San Pedro – Cusco

Muestra conservada: Sí

PARAMETROS	UNIDADES	METODO ANALÍTICO	MUESTRAS
Sólidos Totales (ST)	g/kg	Método gravimétrico	Cobaya 100%
Sólidos Volátiles (SV)	g/kg	Método gravimétrico	Bovino 100%
Ácidos Grasos Volátiles (AGV)	mgCH ₃ COO HL/l	Método gravimétrico	24%C- 75%B
Alcalinidad Total (AT)	mgCaCO ₃ /l	Método gravimétrico	50% C -50% B
Potencial de Hidrógeno (pH)	-	Sensores de pH	75%C- 25% B

MUESTRAS	Sólidos Totales (ST) INICIAL	Sólidos Totales (ST) FINAL
BOVINO 100%	0.3067	0.2045
COBAYA 100%	0.3875	0.1955
COBAYA-BOVINO 50%	0.3335	0.1965
COBAYA-BOVINO 75-25%	0.2860	0.2460
COBAYA- BOVINO 25%-75%	0.3787	0.2080

MUESTRAS	Solidos volátiles (SV) INICIAL	Solidos volátiles (SV) FINAL
VACA 100%	61.9364	51.9654
BOVINO 100%	69.9291	55.8184
COBAYA-BOVINO 50%-50%	68.1165	52.3400
COBAYA-BIVINO75%-25%	67.4887	55.8184
COBAYA- BOVINO 25%-75%	69.9416	49.9432

MUESTRAS	AGV INICIAL	AGV FINAL
BOVINO 100%	384	368
COBAYA 100%	648	408
COBAYA-BOVINO 50%-50%	336	560
COBAYA-BOVINO 75%-25%	420	492
COBAYA- BOVINO 25%-75%	368	368

MUESTRAS	Alcalinidad Total (AT) INICIAL	Alcalinidad Total (AT) FINAL
BOVINO 100%	783.333333	256.666667
COVAYA 100%	1466.66667	336.666667
COBAYA-BOVINO 50%-50%	1220	410.00000
COBAYA-BIVINO 75%-25%	860	346.666667
COBAYA- BOVINO 25%-75%	803.333333	363.333333


MUESTRAS	pH INICIAL	pH FINAL
BOVINO 100%	8.56	7.94
COBAYA 100%	7.92	8.03
COBAYA-BOVINO 50%-50%	8.01	7.92
COBAYA- BOVINO 75-25%	8.12	7.74
COBAYA- BOVINO 25%-75%	8.26	7.83

ADVERTENCIA:

Este laboratorio no asume ninguna responsabilidad sobre aspectos relacionados con el uso final de la información suministrada. Este laboratorio no está acreditado por INACAL.

FECHA: 18/11/2024

Nota: La firma institucional avala que el informe técnico pertenece a la institución.



Ing. Glen Bryan Madrigal Pérez
 Jefe de laboratorio
 Laboratorio de Saneamiento Ambiental