

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



**Determinación del potencial Bioquímico de Metano a partir de
excretas: Vacuno, equino, ovino y camélido**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Por:

Victor Raul Loaiza Puma

Herbert Eyner Choquepata Luicho

Asesor:

Ing. Veronica Haydee Pari Mamani

Juliaca, diciembre de 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

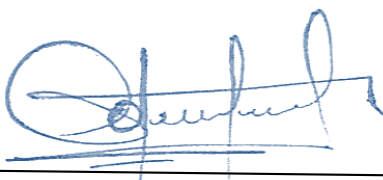
Veronica Haydee Pari Mamani, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO A PARTIR DE EXCRETAS: VACUNO, EQUINO, OVINO Y CAMÉLIDO”** constituye la memoria que presentan los Bachilleres **Victor Raul Loaiza Puma** y **Herbert Eyner Choquepata Luicho** para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 28 días del mes de febrero del año 2023.



Ing. Veronica Haydee Pari Mamani

Asesor



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a... 16 día(s) del mes de diciembre del año 2022 siendo las 11:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Ing. Miguel Angel Salcedo Enriquez, el secretario: Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera y los demás miembros: Msc. Bernardino Tapia Aguilar

..... y el asesor Ing. Veronika Haydee Pari Mamani

..... con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: Determinación del potencial Bioquímico de Metano a partir de excretas: Vacuno, equino, ovino y camélido

..... de el(los)/la(las) bachiller(es): a) Victor Raúl Loaliza Puma b) Herbert Eynes Choquepata Luicho

..... conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental (Nombre del Título Profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(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 el(los)/la(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:

Candidato (a): Victor Raúl Loaliza Puma

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	16	B	Bueno	Muy Bueno

Candidato (b): Herbert Eynes Choquepata Luicho

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	16	B	Bueno	Muy Bueno

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(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.

Presidentes, Asesor, Candidato/a (a)

Miembro

Secretario, Miembro, Candidato/a (b)

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a Dios quien ha sido mi guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas. Y por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes. Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que laboran en la institución, por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento educativo.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Peruana Unión – UPeU, a toda la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad. En especial a la Ing. Verónica Haydee Pari Mamani por su asesoría en el presente proyecto quien, con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo de tesis.

INDICE

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE	vi
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	10
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
2.1 Sustrato e inculo	14
2.2 Ensayos PBM	14
2.3 Métodos analíticos.....	14
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
3.1 Caracterización fisicoquímica del inculo	15
3.2 Caracterización físico química del sustrato.....	15
3.3 Producción de biogás	16
3.4 Evaluación del proceso de digestión anaerobia.....	18
3.5 Análisis estadístico.....	20
4. CONCLUSIONES.....	20
5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	22
ANEXOS	24

INDICE DE TABLAS

1. Tabla 1 Caracterización físico química de los sustratos.....	14
2. Tabla 2 Análisis de varianza.....	18

INDICE DE FIGURAS

1. Figura 1 Rendimiento y producción de biogás	16
2. Figura 2 Gráfica de relación de AGV/AT.....	17
3. Figura 3 Grafica de potencial de hidrogeno.....	17

INDICE DE ANEXOS

1. Anexo A: Inicio y final de la Alcalinidad Total (AT).....22
2. Anexo B: Inicio y final de Ácidos Grasos Volátiles (AGV).....22

Determinación del potencial Bioquímico de Metano a partir de excretas: Vacuno, equino, ovino y camélido

RESUMEN

La industria ganadera genera una gran cantidad de excretas con un buen potencial de producción de metano, que puede ser aprovechado mediante la digestión anaerobia. El presente estudio tiene como objetivo evaluar el Potencial Bioquímico de Metano de cuatro tipos de excretas: camélido, bovino, equino y ovino. La metodología utilizada para determinar el Potencial Bioquímico de Metano de las excretas de vacuno, equino, ovino y camélido fue por el método volumétrico, con 3 repeticiones en envases de 120 ml con un volumen de 60 ml por cada tipo de excreta, todas las muestras estuvieron en temperaturas mesofílicas (35° C). Previo al inicio de los ensayos se realizaron análisis de sólidos totales, sólidos volátiles, pH, nitrógeno amoniacal, fosforo, ácidos grasos volátiles. Los resultados que se obtuvieron nos muestran que las excretas provenientes de una granja ganadera en Ayaviri-Puno tienen una producción de 0.196 m³-CH₄/kg SV-adicionado en excreta de bovino, 0.166 m³-CH₄/kg SV- adicionado en excreta de ovino, 0.159 m³-CH₄/kg SV-adicionado en excreta de camélido y 0.158 m³-CH₄/kg SV-adicionado en excreta de equino. El proceso de digestión anaerobia fue variado en la excreta bovina generando una producción más acelerada de metano, seguido con una producción estable de excreta de camélido, finalmente las excretas de equino y ovino comenzaron la producción de metano a partir del día 23 debido a la presencia de nitrógeno amoniacal. Los valores de pH, Ácidos Grasos Volátiles y Alcalinidad Total se mantuvieron dentro de los rangos recomendados. Esta investigación muestra que las excretas de camélidos, equinos, bovinos y ovinos pueden ser aprovechados en la producción de biogás.

Palabras clave: Industria ganadera; digestión anaerobia; potencial bioquímico de metano; excretas, biogás.

Determination of Biochemical Methane Potential from Excreta: cattle, equine, sheep and camelids

ABSTRACT

The livestock industry generates a large amount of excreta with a good potential for methane production which can be used through anaerobic digestion. The objective of this study is to evaluate the Biochemical Methane Potential of four types of excreta: camelid, sheep, equine and cattle. The methodology used to determine the Biochemical Methane Potential of cattle, equine, sheep and camelid excreta was by the volumetric method, with 3 repetitions in 120 ml containers with a volume of 60 ml for each type of excreta. All samples were at mesophilic temperatures (35°C). Prior to the start of the tests, analyzes of total solids, volatile solids, pH, ammoniacal nitrogen, phosphorus, and volatile fatty acids were performed. The results obtained show that the excreta from a cattle farm in Ayaviri-Puno have a production of 0.196 m³-CH₄/kg SV-added in cattle excreta, 0.166 m³-CH₄/kg SV-added in sheep excreta., 0.159 m³-CH₄/kg SV-added in camelid excreta and 0.158 m³-CH₄/kg SV- added in equine excreta. The anaerobic digestion process was varied in the cattle excreta, generating a more accelerated production of methane, followed by a stable production of camelid excreta. Finally the equine and sheep excreta began to produce methane from day 23 due to the presence of ammoniacal nitrogen. The values of pH, Volatile Fatty Acids and Total Alkalinity were kept within the recommended ranges. This research shows that the excreta of cattle, equines, sheep and camelids can be used in the production of biogas.

Keywords: Livestock industry; anaerobic digestion; biochemical methane potential; excreta, biogas.

1. INTRODUCCION

La industria ganadera en la actualidad tiene la capacidad de fomentar el desarrollo económico, social y ambiental; Martí Herrero (2019) menciona que el estiércol y/o excreta diario producido por cada 100 kg de peso vivo es de 8 kg en vacuno, 4 kg en ovino, 7 kg en equino y 5kg en camélido. Esta industria en algunos lugares sólo se le da una vía de aprovechamiento a las heces animales, el cual es usar el estiércol como abono para la agricultura, pudiéndose aprovechar este en producción de energía renovable (biogás) mediante la digestión anaerobia, dando control al problema de contaminación ambiental que provoca el sector ganadero por la producción diaria de estiércol por animal mediante la digestión anaerobia, que es un proceso que actúa mediante la ausencia de oxígeno convirtiendo la excreta en biogás.

La digestión anaerobia es una alternativa tecnológica que se emplea para el control de la contaminación ambiental, este método puede convertir diferentes desechos orgánicos en biogás (Zhao et al., 2016). Dentro de los beneficios de usar la digestión anaerobia está que este proceso contribuye en eliminar el volumen de carga orgánica convirtiendo grandes cantidades de estiércol en biogás, al mismo tiempo, económicamente es muy accesible para lugares rurales; la construcción de estos reactores se puede realizar a pequeña escala o gran escala de acuerdo a la necesidad del propietario, en la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible se transforma en metano y el otro 10% se consume en el crecimiento bacteriano (Lorenzo Acosta et al., 2005). El proceso de digestión anaerobia brinda diferentes beneficios que sólo la producción de biogás, este proceso también es utilizado en la producción de biol, el cual puede ser aprovechado como fertilizante en áreas agrícolas. Se ha evidenciado un crecido interés por aplicar este proceso para el aprovechamiento y valorización de distintos residuos como el biogás que genera un alto potencial energético debido a una predominancia (60-70%) de gas metano (Cárdenas Cleves et al., 2016). La digestión anaerobia exhibe ventajas como la disminución en tiempo de retención, incrementa la eficiencia de destrucción de patógenos (Camacho et al., 2017).

El proceso depende en gran medida de la interacción mutua y sintrófica de un consorcio de microorganismos para descomponer la materia orgánica en monómeros solubles como

aminoácidos, ácidos grasos azúcares simples y gliceroles (Anukam et al., 2019), esto deriva el método de medición de Potencial Bioquímico de Metano (PBM) es una técnica potente y sencilla que se presenta en forma de curva de producción establecida para determinar la producción máxima de metano a partir de la materia orgánica (Koch et al., 2019; Raposo et al., 2020) . Las pruebas de PBM sirven para evaluar de forma rápida si un residuo puede ser correctamente degradado y así producir CH₄ (Sánchez-Reyes et al., 2016). Los ensayos PBM se pueden utilizar como un índice del potencial anaeróbico de biodegradación que es el valor de metano producido por gramo de sólidos volátiles (Esposito et al., 2012).

En la actualidad existen diversas investigaciones orientadas en la producción de metano a partir de residuos de la industria ganadera. Meneses-Quelal et al. (2021) usó excretas de camélidos para evaluar la producción de metano, los resultados muestran 376.08 ml CH₄/g SV y 377.02 CH₄/g SV de producción de metano, Castro-Molano et al. (2019) realizaron experimentos usando excretas de bovinos y equinos en los cuales se obtuvieron 10.44/kg SV y 14.50/ kg SV de producción de metano respectivamente.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la producción bioquímica de metano a partir de excretas de bovino (EB), excretas de equino (EE), excretas de camélido (EC) y excretas de ovino (EO) a través de la digestión anaerobia. Para este fin se aplicó la metodología propuesta por Holliger et al. (2016).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Sustrato e inocular

Las muestras de excreta de vacuno, equino, ovino y camélido fueron recolectadas de una granja ganadera ubicado en el distrito de Ayaviri, Puno. Las muestras fueron tomadas en bolsas ziploc y almacenadas de forma inmediata en un cooler para luego fueron transportadas a laboratorio. El inocular fue recolectado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales SanJerónimo Cusco, Perú. luego fueron transportados a laboratorio y almacenado a 30°C durante una semana. Posteriormente las muestras de sustrato fueron trituradas en una licuadora para obtener una condición homogénea (Vavilin et al., 2008; Zhao et al., 2016).

2.2 Ensayos PBM

Los ensayos PBM se realizaron siguiendo la metodología propuesta por Holliger et al. (2016). Todas las pruebas se realizaron por triplicado en envases de 120 ml de capacidad, con un volumen de trabajo de trabajo de 60 ml. También se agregó una muestra blanco (celulosa) con el cual se mide la producción de metano, posteriormente se gaseo el espacio vacío por 30 seg con N₂, luego se sellaron los envases con goma de butilo y agafes de aluminio para mantener la muestra en condiciones anaeróbicas, finalmente todas las botellas fueron incubadas a 35°C.

2.3 Métodos analíticos

Se realizaron análisis de Sólidos totales (ST) y Sólidos volátiles (SV) de todas las muestras de estiércol y el inocular por triplicado previos a iniciar el experimento, los ensayos se realizaron al inicio de las pruebas por el método gravimétrico, se utilizaron una estufa BINDER, una mufla PROTHERM y una balanza analítica SARTORIUS. También se realizaron análisis de pH, nitrógeno amoniacal, fósforo (P) estos análisis fueron llevados a analizar al laboratorio BHIOS LAB. Los ácidos grasos volátiles (AGV), alcalinidad total (AT) y el pH se analizaron en el laboratorio de la Universidad Peruana Unión.

Para la valorización de la cantidad de biogás producido diario se midió por el método volumétrico o desplazamiento alcalino, el cual consiste en purificar con una solución de 0.1 normal de NaOH y fenolftaleína, con este método se midió el volumen generado del biogás producido en ml.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un valor de significancia del 0.05 % y nivel de confianza del 95%.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización fisicoquímica del inoculo

El inoculo utilizado en las pruebas contiene 30.67 ± 0.36 g ST/kg y 16.36 ± 0.24 g SV/kg. además, el contenido de pH 7.89, AGV 780 CH₃COOH/L y AT 4150 CaCO₃/L. Respectivamente, estos valores se encuentran dentro del rango (pH >7.0 y 8.5<), (AGV: < 1.0 gCH₃COOH L⁻¹), (alcalinidad: >3gCaCO₃L⁻¹) recomendado por (Holliger et al., 2016) por consiguiente se nos indica que el inoculo es apropiado para ser usado en las pruebas PBM.

3.2 Caracterización físico química del sustrato

La caracterización físico químicas del estiércol vacuno, equino, bovino y camélido se muestran en la tabla 1.

Tabla 1.

Caracterización físico química de los sustratos

Parámetro	Camélido	Bovino	Equino	Ovino
Sólidos totales (ST) (g ST/kg)	312.58	141.85	320.03	333.03
Sólidos volátiles (SV) (g SV/kg)	239.75	123.05	262.04	262.04

Ácidos grasos volátiles (AGV) (mg CH₃COOH/L)	448	560	400	620
Alcalinidad total (AT) (mg CaCO₃/L)	2833.33	3000	3166.67	3033
pH	8.23	8.32	8.35	8.3
Nitrógeno amoniacal (NA) (%)	0.29.	0.29	0.65	0.53
Fosforo (P) (%)	0.52	0.55	0.69	0.64

Se puede observar el contenido de ST, SV de la excreta de camélido, equino y ovino son ampliamente superiores al estiércol bovino, esto muestra que el estiércol bovino cuenta con menos cantidad de materia orgánica. El contenido de AGV varía en todas las muestras, Lorenzo Acosta et al. (2005) mencionan que la presencia de los AGVs es importante ya que este es el precursor principal de la metanogénesis, se observa que el contenido de AT también varía en todas las muestras, Lorenzo Acosta et al. (2005) mencionan que la AT es el principal sistema que regula el pH en el proceso de digestión anaerobia y ocasiona cambios en el pH. El pH para el inicio de los ensayos se muestra ligeramente alcalino, sin embargo, está dentro del rango que se recomienda (Holliger et al., 2016). En el contenido de NA se observa que la excreta de camélido y bovino son menores a equino y ovino, dando como resultado una disminución de la cantidad y/o velocidad de producción de metano, sin embargo, el contenido de fosforo en el estiércol equino y ovino es mayor al de camélido y bovino siendo beneficioso para el estiércol equino y ovino.

3.3 Producción de biogás

La producción acumulada de biogás de los residuos se muestra en la Fig. 1, el experimento tuvo una duración de 87 días. Los resultados evidencian que hubo una mayor producción de metano para el EB (0.196 m³/kg SV), seguida por la EO (0.166 m³/kg SV),

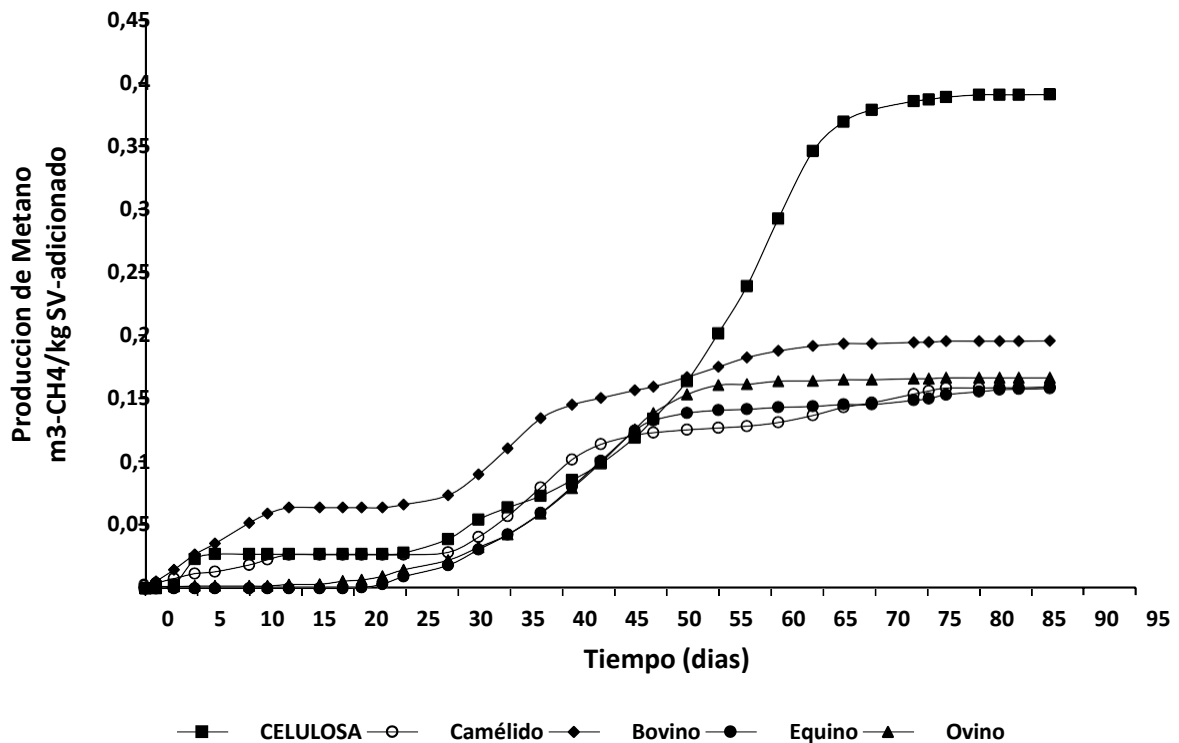
EC (0.159 m³/kg SV) y EE (0.158 m³/kg SV).

En la Fig. 1 se presenta una curva de producción para las excretas de bovino y camélido desde el día 1 hasta el día 14, donde se estabiliza hasta el día 30 para luego seguir con la curvade producción hasta el día 87.

Las excretas equino y ovino tardan en empezar con la producción de metano hasta el día 20 donde se observa un leve cambio en la curva de producción.

Figura 1

Rendimiento y producción de biogás



En la figura se aprecia que la producción de metano se dio en un tiempo total de 87 días, semuestra una mayor producción de metano por parte de la EB seguida por la EO, EC y por último la EE y además la gráfica muestra que la producción de metano tarda en empezar, debido a la presencia de nitrógeno amoniacal. En la tabla 1 se observa que el contenido de NH₃ es más alto para las EE y EO esto lleva a un retraso del inicio de fermentación, autores como (Chen et al., 2008) y (Alexis et al., 2015) mencionan que la

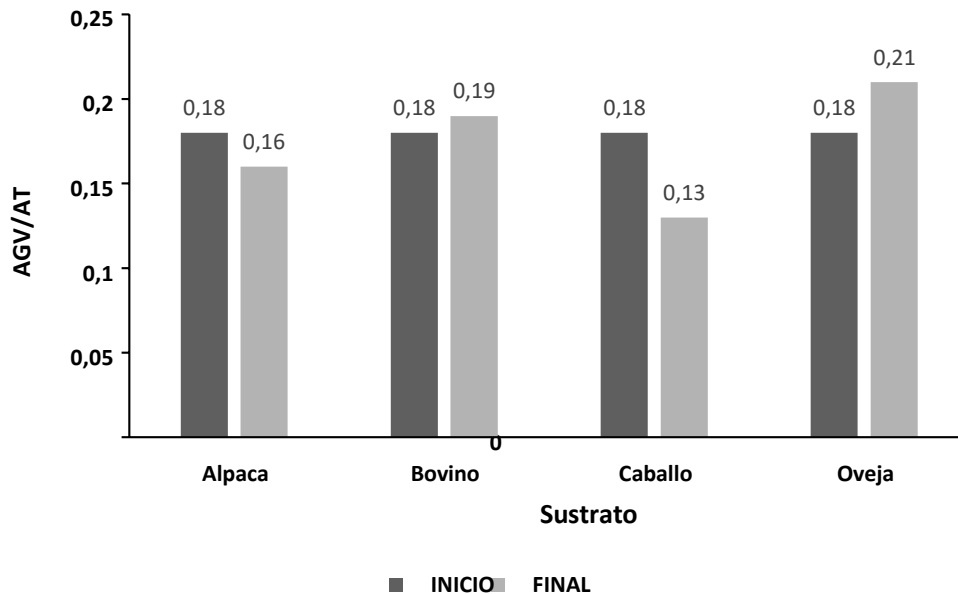
presencia de este químico retrasa el inicio de la fermentación inhibiendo las bacterias encargadas de iniciar el proceso, este como principal parámetro de retraso en dos sustratos.

3.4 Evaluación del proceso de digestión anaerobia

El análisis de estabilidad de las pruebas es llevado por medio de la capacidad de relación AGV/AT y el pH (Raposo, Borja, & Ibelli-Bianco, 2020). La relación AGV/AT muestra escasa variación en todos los tipos de excreta, la Fig. 2 muestra que hubo un aumento de la relación AGV/AT en la excreta de ovino (0.21) y bovino (0.19) y disminuyó en la excreta de equino (0.13) y camélido (0.16), aun con la variación que se dio estos valores se encuentran en el rango aceptable, esta variación indica que el proceso de DA es adecuado.

Figura 2

Gráfica de relación de AGV/AT

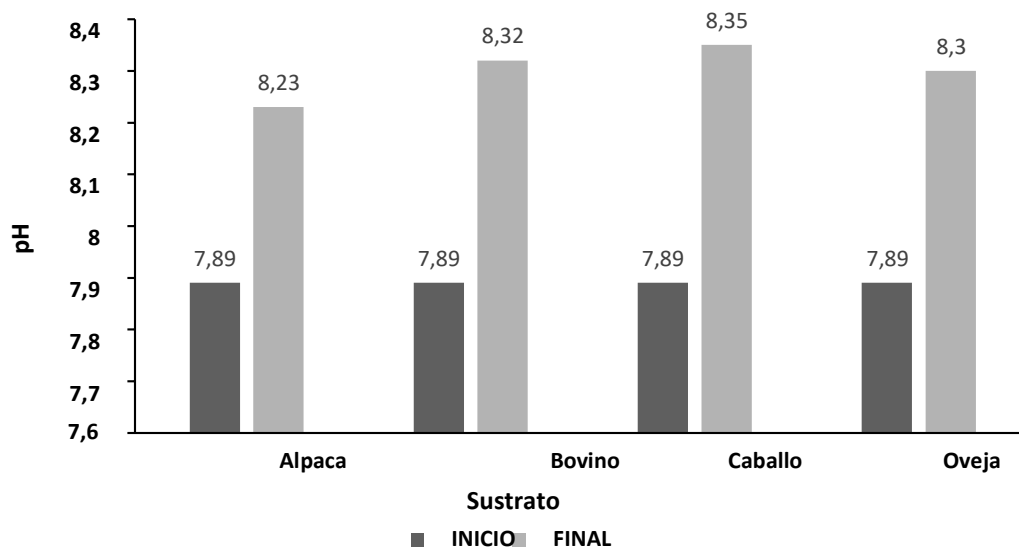


El pH muestra poca variación en los 4 tipos de excretas. El pH inicial estuvo dentro del rango aceptable para el inicio de la metanogénesis que es de 6-8.5 (Chandra, Takeuchi, & Hasegawa, 2012; Li, Chen, & Wu, 2019), una vez concluidas las pruebas del PBM, se observó que el pH aumento en todos los residuos siendo el más significativo en

la excreta equino (8.35), seguidos por bovino (8.32), ovino (8.30) y camélido (8.23) aun con el aumento que se observa el nivel de pH se mantiene dentro del rango. Los niveles de pH subieron en todas las excretas, Kafle & Chen (2016) mencionan que esto ocurre por la presencia de nitrógeno amoniacal, así mismo Mao et al., (2017) también nos mencionan que este se debe a que se redujeron el contenido de AGV.

Figura 3

Grafica de potencial de hidrogeno



La producción de metano obtenida es como se esperaba, ya que Castro-Molano et al., (2019) trabajó con tres tipos de residuos (bovino, porcino y equino), cuyos resultados mencionan que el estiércol equino fue quien generó mayor producción de metano seguido por el estiércol bovino, así mismo (Luna (2018) que también trabajó con tres tipos de estiércol (vacuno, camélido y equino) refiere una mayor producción de metano por parte del estiércol vacuno seguida por el estiércol equino. Del mismo modo Hammad et al. (1999) trabajaron con cuatro tipos de estiércol (vaca, aves, ovejas y caballos) obteniendo una mayor producción de metano en el estiércol de vaca (bovino) 0.28 m³ y la producción del estiércol de caballo (equino) es casi nula.

La baja producción de metano en el estiércol equino y ovino se debe a que tiene un alto contenido de nitrógeno amoniacal como lo mencionan (Chen et al., 2008) y (Alexis et al.,

2015).

3.5 Análisis estadístico

Se realizó el ANOVA de una varianza, al 95% de confianza utilizando Microsoft Excel.

Tabla 2.

Análisis de varianza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	576.57	4.00	144.14	2.01	0.10	2.43
Dentro de los grupos	11,822.15	165.00	71.65			
Total	12,398.72	169.00				

Como el p-valor es mayor que .05, se acepta la hipótesis nula; es decir, que a un valor de significancia del 5%, todas las medias son iguales, evidenciando que no existe diferencias significativas en las medias.

4. CONCLUSIONES

En este estudio el proceso de digestión anaerobia con el fin de aprovechar las excretas ganaderas, se mostró que son una buena alternativa para la producción de biogás. El contenido de biogás que se obtuvo será de gran beneficio por su alto contenido en metano, obteniendo en la excreta bovina (0.196 m³/kg SV), seguida por ovino (0.166 m³/kg SV), camélido (0.159 m³/kg SV) y equino (0.158 m³/kg SV). Se observó que todas las excretas que se usaron tienen un largo tiempo de producción y en las excretas de camélido y bovino su digestión es acelerada y puede ser más aprovechada mientras que en el estiércol ovino y equino tardaron en comenzar la producción debido a la presencia de AGV ya que este retarda el proceso de la metanogénesis el cual es el encargado de

iniciar el proceso de digestión anaerobia.

Debido al problema con el estiércol ovino y equino se recomienda reducir el contenido de nitrógeno amoniacal ya que este retarda el inicio de la fermentación para que la producción de metano sea aprovechada desde el inicio de las pruebas, además este afecta en el cambio de pH.

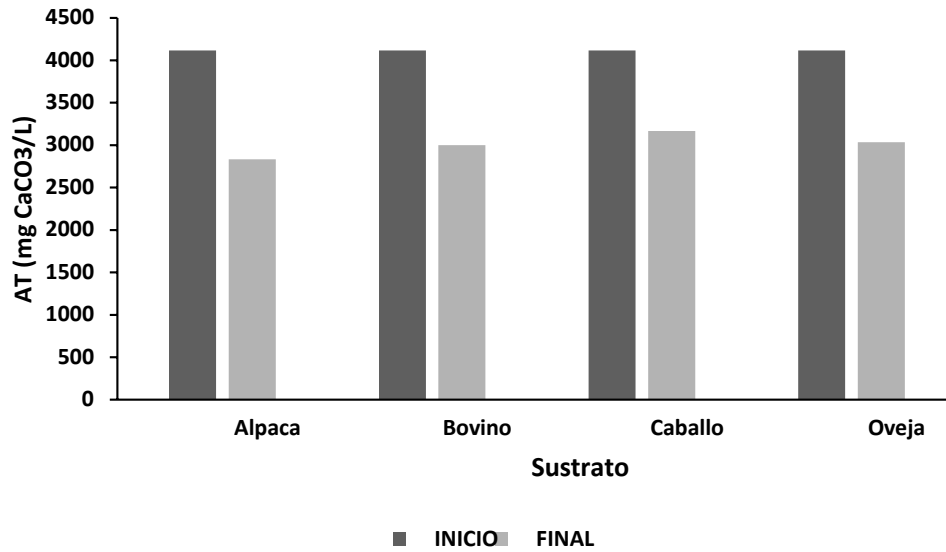
5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alexis, P.-O. B., Patricia, T.-L., Fernando, M.-R. L., Marcela, C.-C. L., Carlos, V.-F., Alexander, T.-L. W., & Abdón, O.-A. J. (2015). Efecto de la relación sustrato-inóculo sobre el potencial bioquímico de metano de biorresiduos de origen municipal. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 16(4), 515–526. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.09.004>
- Anukam, A., Mohammadi, A., Naqvi, M., & Granström, K. (2019). A review of the chemistry of anaerobic digestion: Methods of accelerating and optimizing process efficiency. In *Processes* (Vol. 7, Issue 8, pp. 1–19). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/PR7080504>
- Camacho, R., Villada, H. S., & Hoyos, J. L. (2017). Evaluación del Estiércol de Vaca como Inóculo en la Digestión Anaerobia Termófila de Residuos Sólidos Urbanos. *Informacion Tecnológica*, 28(3), 29–36. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000300004>
- Cárdenas Cleves, L. M., Parra Orobio, B. A., Torres Lozada, P., & Vásquez Franco, C. H. (2016). Perspectivas del ensayo de Potencial Bioquímico de Metano - PBM para el control del proceso de digestión anaerobia de residuos. *Revista ION*, 29(1), 95–108. <https://doi.org/10.18273/revion.v29n1-2016008>
- Castro-Molano, L. del P., Parrales-Ramírez, Y. A., & Escalante-Hernández, H. (2019). Co-digestión anaerobia de estiércoles bovino, porcino y equino como alternativa para mejorar el potencial energético en digestores domésticos. *Revista ION*, 32(2), 29–39. <https://doi.org/10.18273/revion.v32n2-2019003>
- Chen, Y., Cheng, J. J., & Creamer, K. S. (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: A review. In *Bioresource Technology* (Vol. 99, Issue 10, pp. 4044–4064). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.057>
- Esposito, G., Frunzo, L., Liotta, F., Panico, A., & Pirozzi, F. (2012). Bio-Methane Potential Tests To Measure The Biogas Production From The Digestion and Co-Digestion of Complex Organic Substrates. *The Open Environmental Engineering Journal*, 5, 1–8. <http://dx.doi.org/10.2174/1874829501205010001>
- Hammad, M., Badarneh, D., & Tahboub, K. (1999). *Evaluating variable organic waste to produce methane*. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(99\)00024-2](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(99)00024-2)
- Holliger, C., Alves, M., Andrade, D., Angelidaki, I., Astals, S., Baier, U., Bougrier, C., Buffière, P., Carballa, M., de Wilde, V., Ebertseder, F., Fernández, B., Ficara, E., Fotidis, I., Frigon, J. C., de Lacroix, H. F., Ghasimi, D. S. M., Hack, G., Hartel, M., ... Wierinck, I. (2016). Towards a standardization of biomethane potential tests. *Water Science and Technology*, 74(11), 2515–2522. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.336>
- Kafle, G. K., & Chen, L. (2016). Comparison on batch anaerobic digestion of five different livestock manures and prediction of biochemical methane potential (BMP) using different statistical models. *Waste Management*, 48, 492–502. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.021>
- Koch, K., Hafner, S. D., Weinrich, S., & Astals, S. (2019). Identification of Critical Problems in Biochemical Methane Potential (BMP) Tests From Methane Production Curves. *Frontiers in Environmental Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00178>
- Lorenzo Acosta, Y., Abreu, O., & Cristina, M. (2005). La Digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 39(1), 35–48. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120659006>
- Luna, J. I. (2018). *Potencial energético del biogás producido en biodigestores tipo batch para excretas provenientes de ganado vacuno, camélido y equino de la universidad científica*

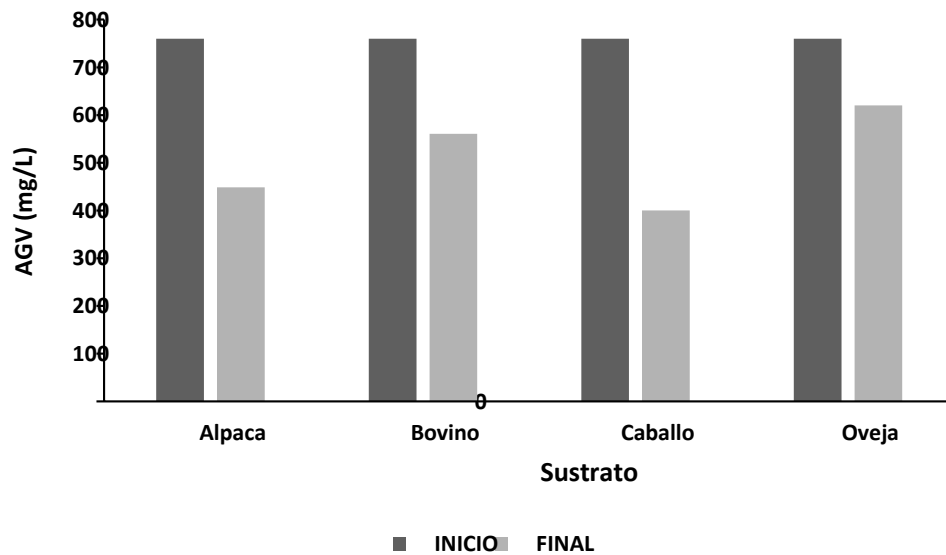
- del sur. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental.* <https://hdl.handle.net/20.500.12805/701>
- Mao, C., Wang, X., Xi, J., Feng, Y., & Ren, G. (2017). Linkage of kinetic parameters with process parameters and operational conditions during anaerobic digestion. *Energy*, 135, 352–360. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.050>
- Martí Herrero, J. (2019). *Biodigestores Familiares: Guía de diseño y manual de instalación*[Universidad Regional Amazónica IKIAM]. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1048.6242>
- Meneses-Quelal, W. O., Velázquez-Martí, B., Gaibor-Chávez, J., & Niño-Ruiz, Z. (2021). Biochemical potential of methane (BMP) of camelid waste and the Andean region agricultural crops. *Renewable Energy*, 168, 406–415. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.071>
- Raposo, F., Borja, R., & Ibelli-Bianco, C. (2020). Predictive regression models for biochemical methane potential tests of biomass samples: Pitfalls and challenges of laboratory measurements. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 127). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109890>
- Sánchez-Reyes, C., Patiño-Iglesias, M. E., Alcántara-Flores, J. L., Reyes-Ortega, Y., Pérez-Cruz, M. A., & Ortiz-Muñoz, E. (2016). Determinación del potencial bioquímico de metano (PBM) de residuos de frutas y verduras en hogares. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(2), 191–198. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.02.05>
- Vavilin, V. A., Fernandez, B., Palatsi, J., & Flotats, X. (2008). Hydrolysis kinetics in anaerobic degradation of particulate organic material: An overview. *Waste Management*, 28(6), 939–951. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.03.028>
- Zhao, C., Yan, H., Liu, Y., Huang, Y., Zhang, R., Chen, C., & Liu, G. (2016). Bio-energy conversion performance, biodegradability, and kinetic analysis of different fruit residues during discontinuous anaerobic digestion. *Waste Management*, 52, 295–301. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.028>

ANEXOS

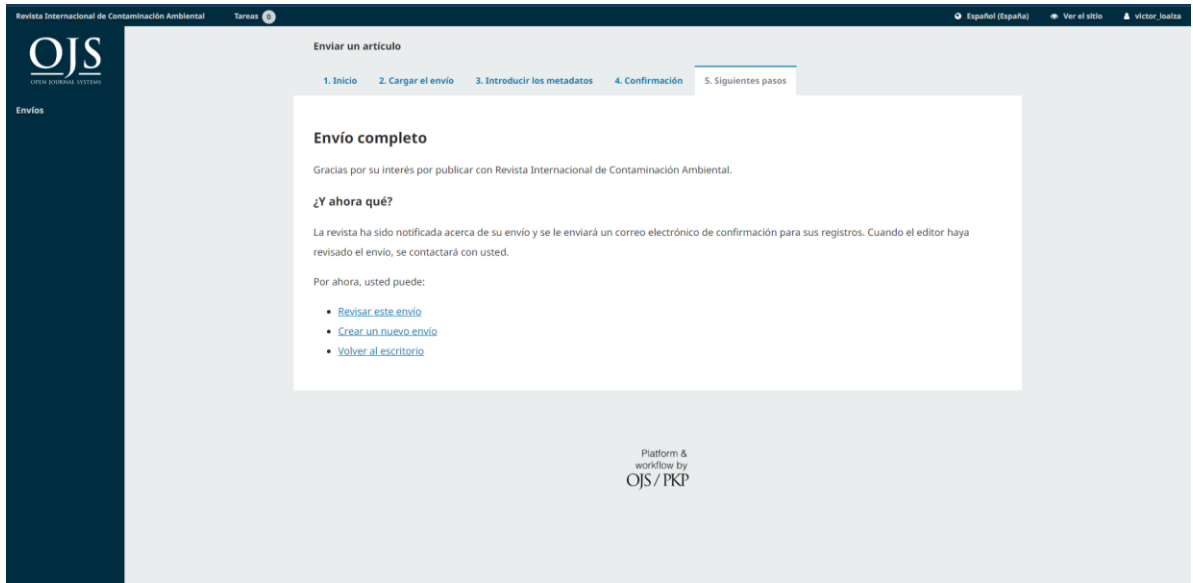
Anexo A: Inicio y final de la Alcalinidad Total (AT)



Anexo B: Inicio y final de Acidos Grasos Volatiles (AGV)



Anexo C: Sumisión de artículo (Envío)



Anexo D: Sumisión de artículo (Respuesta)

