

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Biochar de estiércol bovino como aditivo esencial en la mejora
de producción de metano del lactosuero en zonas rurales del
altiplano peruano**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Luisa Franchesca Pariguana Ramos

Mariaelena Carmen Holguin Alata

Asesor:

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, diciembre de 2024

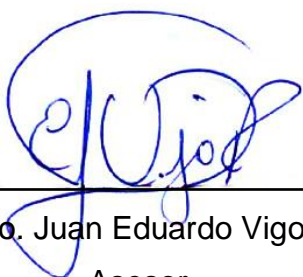
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

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

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“BIOCHAR DE ESTIÉRCOL BOVINO COMO ADITIVO ESENCIAL EN LA MEJORA DE PRODUCCIÓN DE METANO DEL LACTOSUERO EN ZONAS RURALES DEL ALTIPLANO PERUANO”** de los autores **Luisa Franchesca Pariguana Ramos** y **Mariaelena Carmen Holguin Alata**, tiene un índice de similitud de 8% 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 06 días del mes de diciembre del año 2024.



Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera
Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunqui, a 05 día(s) del mes de diciembre del año 2024 siendo las 11:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Msc. Miguel Angel Sacedo Enriquez, el (la) secretario(a): Dr. Mateo Alejandro Salinas Mena y los demás miembros: Mg. Franklyn Elard Zepana Yura Msc. Loyda 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: "Biochar de estiércol bovino como aditivo esencial en la mejora de producción de metano del lactosuero en zonas rurales del altiplano peruano"

del(los) bachiller(es): a) Luisa Franchesca Pariguana Ramos
 b) Mariaelena Carmen Holguin Alata
 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): Luisa Franchesca Pariguana Ramos

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (b): Mariaelena Carmen Holguin Alata

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy 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]
 Asesora
[Firma]
 Bachiller (a)

[Firma]
 Miembro
[Firma]
 Bachiller (b)

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

Índice de Contenido

RESUMEN	vi
Abstract:	vii
1. INTRODUCCIÓN	8
2. MATERIALES Y MÉTODOS	10
2.1. Preparación y caracterización del sustrato e inóculo	10
2.2. Preparación del biochar	11
2.3. Diseño y ensayo del potencial bioquímico de metano (PBM).....	12
2.4. Métodos analíticos	13
3. RESULTADOS	13
3.1 Características iniciales del sustrato e inóculo.....	13
3.2 Efecto de las dosis de biochar en la producción de biogás del lactosuero	13
3.4. Producción de metano	17
3.5. Efecto de la digestión anaeróbica sobre la concentración de AGV	18
4. CONCLUSIONES	21
5. REFERENCIAS.....	22
ANEXOS:	26

Índice de Tabla

Tabla 1. <i>Características fisicoquímicas del inóculo y lactosuero</i>	11
--	----

Índice de Figuras

Figura 1. <i>Mapa de ubicación de lugar experimental</i>	10
Figura 2. <i>Producción acumulada de biogás</i>	14
Figura 3. <i>Producción diaria de biogás</i>	16
Figura 4. <i>Contenido de metano (%) en el biogás</i>	17
Figura 5. <i>AGV inicial y final</i>	19
Figura 6. <i>AGV/AT total</i>	19

Índice de Anexos

Anexo 1. <i>Evidencia de sumisión</i>	26
Anexo 2. <i>Aprobación de perfil de proyecto</i>	27
Anexo 3. <i>Resolución de cambio de título</i>	28
Anexo 4. <i>Resolución para la sustentación</i>	26

Biochar de estiércol bovino como aditivo esencial en la mejora de producción de metano del lactosuero en zonas rurales del altiplano peruano

RESUMEN

En este estudio se aborda la problemática del manejo del lactosuero, que tiene alto contenido de materia orgánica y es un potencial contaminante. Se destaca la creciente producción de queso y el aumento consecuente de residuos, así como la oportunidad de aprovechar el suero para la producción de biogás mediante digestión anaeróbica (DA). Sin embargo, la digestión anaerobia se inhibe por el manejo directo del lactosuero. Una forma de evitar fallas en el proceso de DA es agregando biocarbón. Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo investigar los efectos de la adición de biocarbón de estiércol bovino en distintas proporciones en la DA del lactosuero. Para la experimentación se utilizó como sustrato al lactosuero y como inóculo lodos de depuradora, las proporciones de biocarbón de estiércol bovino fueron de 0 g/gSV, 0.5 g/gSV, 1 g/gSV, 1.5 g/gSV, 2 g/gSV, 2.5 g/gSV y 3 g/gSV, para cuantificar la producción de biogás se utilizó el método de densidad de gases. Los resultados demuestran la viabilidad del uso del biocarbón en la proporción de 1.5 g/gSV por que evitó problemas de inhibición por acidificación del sistema. Además, a los experimentos que se les adicionó el biochar, mostraron un aumento notable de aproximadamente 600 mL/gSV a 718 mL/gSV en la producción de biogás, a diferencia del que no contenía adición de biochar 140.21 mL/gSV. En este sentido, la adición del biocarbón en la digestión anaerobia ofrece una excelente oportunidad para la gestión de residuos con tendencia de acidificación.

Palabras clave: *biocarbón; lactosuero; densidad de gases; gestión de residuos; digestión anaerobia.*

Biochar from bovine manure as an essential additive to improve methane production from whey in rural areas of the Peruvian highlands.

Abstract:

This study addresses the problem of handling whey, which has a high content of organic matter and potential contaminant. The increasing production of cheese and the consequent increase in waste are highlighted, as well as the opportunity to use whey for biogas production through anaerobic digestion (AD). However, anaerobic digestion is inhibited by direct handling of whey. One way to avoid failures in the AD process is by adding biochar. Therefore, this research aims to investigate the effects of adding bovine manure biochar in different proportions on the AD of whey. For the experiment, whey was used as a substrate and sewage sludge as an inoculum. The proportions of bovine manure biochar were 0 g/gVS, 0.5 g/gVS, 1 g/gVS, 1.5 g/gVS, 2 g/gVS, 2.5 g/gVS, and 3 g/gVS. The gas density method was used to quantify biogas production. The results demonstrate the viability of using biochar in the proportion of 1.5 g/gVS because it avoided inhibition problems due to acidification of the system. In addition, the experiments to which biochar was added showed a notable increase of approximately 600 mL/g VS to 718 mL/g VS in biogas production, compared to the one that did not contain the addition of biochar (140.21 mL/g VS). In this sense, the addition of biocarbon in anaerobic digestion offers an excellent opportunity for the management of waste with a tendency to acidify.

Keywords: *biochar; whey; gas density; waste management; anaerobic digestion.*

1. INTRODUCCIÓN

El suero de queso es el líquido que queda después de la precipitación y eliminación de la caseína de la leche durante la producción de queso. El componente más abundante en el suero de queso es la lactosa, que es un recurso potencial para varios productos químicos de valor agregado (Vivekanand et al., 2018). Con el aumento de la producción de queso, el volumen de aguas residuales producidas en las industrias queseras también aumenta. Actualmente, se estima que la producción mundial total de queso se incrementaría 1.4% por año al 2026, por lo que, también habría un aumento del suero de queso. El 81% de la producción de leche por especie, es de vacas (Escalante et al., 2018).

La industria de queso genera efluentes que representan el 90 % de la leche empleada, con una carga orgánica altamente contaminante, que oscila en el rango de 45-65 g/kg para sólidos volátiles (SV) y 68-94 g/L para Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Escalante et al., 2018), El suero de queso es un sustrato fácilmente biodegradable con un alto contenido de materia orgánica que puede digerirse anaeróticamente a biogás; sin embargo, el proceso a menudo se inhibe por un exceso de acidificación debido a la presencia de ácidos grasos volátiles y requiere una concentración considerable de tampón alcalino. La digestión anaeróbica es un proceso atractivo y ampliamente utilizado que maximiza las capacidades metabólicas microbianas para convertir la fracción orgánica de residuos a biogás. el biogás compuesto por CH₄ puede ser utilizado para generar electricidad, combustible en hornos a calor, calderas y otros sistemas de combustión de gas, así mismo, el digestato es biomasa microbiana y materia orgánica, utilizado para abono y fertirriego para una buena plantación de alimentos en la empresa en cuestión (Li et al., 2017).

Las pruebas de Potencial Bioquímico de Metano (PBM) son útiles para evaluar rápidamente si un residuo puede ser degradado adecuadamente y para obtener resultados precisos de producción de CH₄ (Juustesen et al., 2019). Investigaciones anteriores evaluaron y obtuvieron valores de PBM para lactosuero. En el estudio de (Rico et al., 2015) se evaluó la producción de metano de lactosuero dando un valor de 0.01074 L CH₄/g SV.

En el estudio de (Romero et al., 2021).se evaluó la DA del lactosuero donde se presentó inhibición, obteniendo 191 L CH₄/kg SV. Recientemente, se ha prestado gran atención al uso de varios aditivos para mejorar el rendimiento de la digestión anaerobia (DA). Según un artículo de revisión reciente (Chatzipaschali & Stamatis 2012), diferentes autores han informado de importantes mejoras significativas en el rendimiento de la DA al suministrar suplementos de micronutrientes y macronutrientes, enzimas y microorganismos. Además, materiales como: carbón activado (CA), grafito y biocarbón se han utilizado para estimular y optimizar la actividad microbiana (Mainardis., 2017).

La adición de biocarbón para la DA del lactosuero podría ayudar en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y olores causados por el vertimiento del lactosuero como residuo, también puede ser una nueva forma rentable para la producción de energía renovable. Según (Vivekanand et al., 2018) identificó los efectos del biocarbón derivado del estiércol lácteo sobre la producción de metano en la digestión anaeróbica, en donde se aplicó dos concentraciones diferentes de biocarbón (0 (control), 1 y 10 g / L) a temperaturas (20 ° C; 35 ° C 55 ° C), comparado con la digestión anaerobia sin biocarbón. El metano acumulado y el rendimiento con 10 g / L de biocarbón se incrementaron a 27,65% y 26,47% en digestiones psicrófilas, 32,21% y 24,90% en mesófilas y 35,71% y 24,69% en digestiones termófilas. La adición de biocarbón acortó las fases de retraso de la digestión anaerobia a todas las temperaturas en el estudio, mientras que redujo la concentración de AGV total y ácido propiónico. Se concluyó que el alto potencial de nutrientes y alcalinidad del biocarbón (es decir, 9,1% Ca, 3.6% Mg, 1.3% N, 0.14% P) desempeña un papel importante en la mejora de la producción y rendimiento de metano (Hill & Bolte, 1987).

En un estudio realizado por (Wambugu et al., 2019), se investigó el impacto de diferentes tipos y proporciones de biocarbón en la digestión anaerobia de residuos de cáscara de cítricos. La presencia de biocarbón ayudo en la reducción de la fase de retraso y una mayor producción de metano. La sinergia de la adsorción y la inmovilización de microorganismos metanogénicos por el biocarbón parece mejorar el rendimiento de la

digestión anaeróbica (Mainardis et al., 2017). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue investigar los efectos de la adición de biocarbón de estiércol de bovino en el rendimiento de la DA del lactosuero. El rendimiento del reactor DA se evaluó en términos de producción de biogas cuando la DA se llevó a cabo a diversas concentraciones de biocarbón.

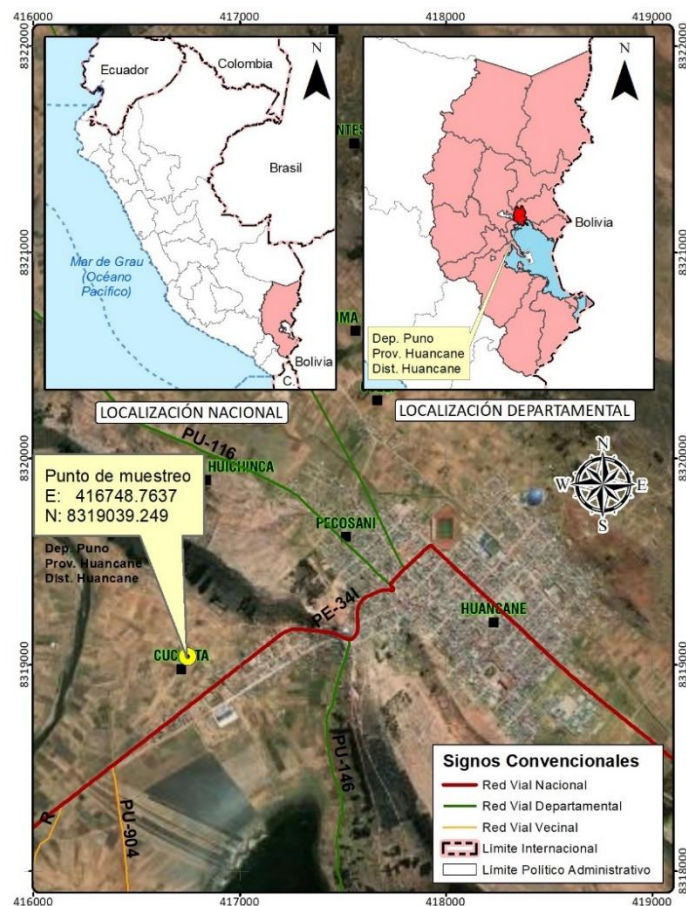
2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Preparación y caracterización del sustrato e inóculo

El lactosuero utilizado en los ensayos, fue recolectado de una planta quesera ubicada en la ciudad de Huancané, Puno en coordenadas -15.203309, -69.775093 (ver mapa). La muestra de lactosuero fue almacenada y conservada herméticamente a -18°C hasta su uso.

Figura 1

Mapa de ubicación de lugar experimental



Como fuente de inóculo microbiano se utilizó lodos de depuradora digerido, extraídos de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Cusco, Perú. Para mejorar la precisión de la medida de la producción de biogás neta del sustrato se pre-incubó el inóculo por 5 días a 30°C para “desgasificarlo” reduciendo así la materia orgánica presente.

Las características del sustrato e inóculo se presentan en la Tabla 1, donde se evaluó Sólidos totales (ST), Sólidos volátiles (SV), Ácidos grasos volátiles (AGV), alcalinidad total (AT), pH y demanda química de oxígeno (DQO).

Tabla 1

Características fisicoquímicas del inóculo y lactosuero

Muestra	Método	Unidad	Inóculo	Lactosuero
ST	Gravimétrico	(g/kg)	42.55 ± 0.35	57.2 ± 0.15
SV	Gravimétrico	(g/kg)	18.91 ± 0.14	51.95 ± 0.65
cenizas	Gravimétrico	(g/kg)	23.64 ± 0.23	5.25 ± 0.69
DQO	Espectrofotometri co a reflujo cerrado	(g/L)		75.74 ± 0.11
pH	Potenciometrico	--	8.18 ± 0.02	4.35 ± 0.12
AGV	Titulación	(mg / L)	956 ± 30.20	4194 ± 110.31
AT	Titulación	(mg CaCO ₃ /L)	2650 ± 194.68	1700 ± 28.28
AGV/AT	Titulación		0.36 ± 0.04	2.46 ± 0.79

2.2. Preparación del biochar

Para obtener el biochar, el estiércol bovino fresco fue secado en una estufa durante 24 h a 105 °C hasta peso constante luego, se colocó el estiércol seco en un horno de mufla para ser calcinado a 350 °C durante 3 h con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. Después, el biochar fue triturado y tamizado con una malla de 120 µm. Finalmente, se almacenó herméticamente el biochar para su posterior uso (Masebinu et al., 2018).

2.3. Diseño y ensayo del potencial bioquímico de metano (PBM)

A fin de optimizar la producción de biogás se evaluó la influencia de diferentes dosis de biochar y la adición de biochar en los ensayos PBM. Para esto se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), además, se realizó una prueba blanca, con 3 repeticiones por tratamiento, totalizando 21 unidades experimentales.

Para los ensayos se usó un volumen de trabajo de 60 ml en frascos de vidrio de 120 ml, donde se fijó una relación de inóculo/sustrato de 2:1 en base a los SV. Las muestras se incubaron a condiciones mesofílicas (35 °C), donde las proporciones de aditivo que se usaron fue de 0 g/gSV, 0.5 g/gSV, 1 g/gSV, 1.5 g/gSV, 2 g/gSV, 2.5 g/gSV y 3 g/gSV en base al sustrato. La metodología para la determinación de las pruebas PBM propuestas se desarrolló de la siguiente manera: Primero las pruebas se hicieron por triplicado en las botellas mencionadas. Segundo se alimentaron las botellas con el sustrato (lactosuero) e inóculo (lodos activados), a continuación, se sellaron con septos rubber y agafes de aluminio. Finalmente, para garantizar condiciones de anaerobiosis, el espacio de cabeza se llenó con gas nitrógeno durante 30 segundos y luego se incubó a una temperatura de 35°C. Además, los biorreactores se agitaron manualmente 1 vez al día, antes de su medición para garantizar mayor contacto entre el sustrato y los microorganismos que actúan en la degradación.

Para cuantificar, la producción de biogás se utilizó el método de densidad de biogás, donde se retiró el biogás de cada frasco mediante una jeringa con el fin de determinar el volumen, luego se pesó cada frasco antes y después de la ventilación del biogás. Mediante estas mediciones, se puede determinar la densidad del biogás y, a partir de ese dato, calcular su composición. Estos cálculos se utilizan la relación clara y mensurable entre la composición y la densidad del biogás, que es el resultado de la gran diferencia en la masa molar de CH₄ y CO₂. El método GD-BMP utilizado para cuantificar el metano y el biogás generado en los ensayos, fue desarrollado por (Juustesen et al., 2019).

2.4. Métodos analíticos

El contenido de ST, SV se determinaron mediante el método estándar APHA 2540 G, donde las muestras fueron secadas en una estufa a 105 °C por 24 h. luego, fueron introducidos a un horno mufla a 400 °C por 2 h. Se centrifugaron muestras a 5000 RPM durante 30 min para obtener una fracción soluble de cada muestra, las cuales se utilizaron para medir el pH aplicando el método electrométrico APHA 4500 HB, el contenido de alcalinidad y AGV se estimó mediante el método titrimétrico, utilizando ácido clorhídrico 0.1N e hidróxido de sodio 0.1N respectivamente (APHA et al., 2008). Para la determinación de DQO se utilizó el método espectrofotométrico a reflujo cerrado.

2.5. Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico con el software Microsoft Excel, se realizó análisis de varianza al 95% de confianza, aplicado en las tablas de resultados para determinar si existe diferencias significativas entre los tratamientos. Además, se aplicó ANOVA para evaluar la importancia de producción diaria de metano entre las proporciones de biochar.

3. RESULTADOS

3.1 Características iniciales del sustrato e inóculo

En base a la tabla 1, se puede observar que los valores de AGV y la relación de AGV/AT no están dentro de los valores recomendados para iniciar una prueba de PBM, por lo que, para que haya estabilidad en la DA se adicionó biocarbón con el fin de que se controle el incremento de AGV y exista mayor producción de metano.

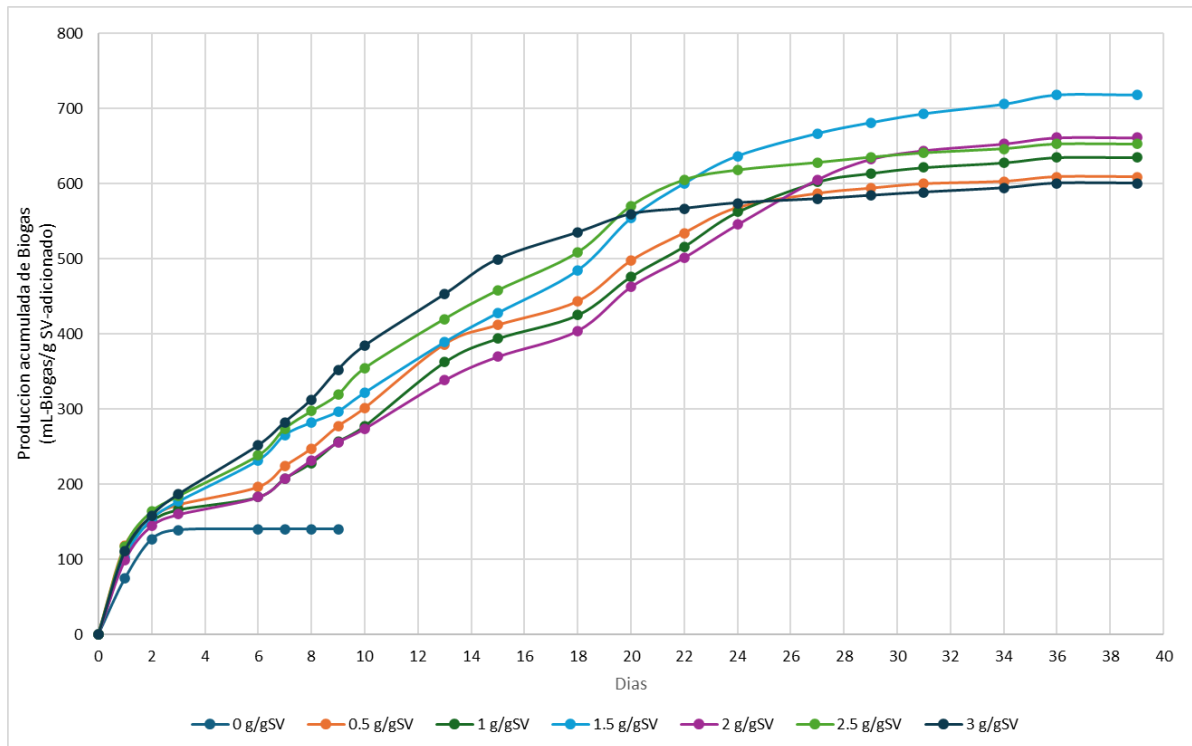
3.2 Efecto de las dosis de biochar en la producción de biogás del lactosuero

Los resultados que se muestran en la Figura 2, indican que la adición del biocarbón de estiércol de bovino condujo a la mejora de producción de biogás. Los experimentos a los

que se le adicionó el biochar, mostraron un aumento notable de aproximadamente 600 mL/g SV a 718 mL /g SV en la producción de biogás, a diferencia del que no contenía adición de biochar 140.21 mL/g SV.

Figura 2

Producción acumulada de biogás



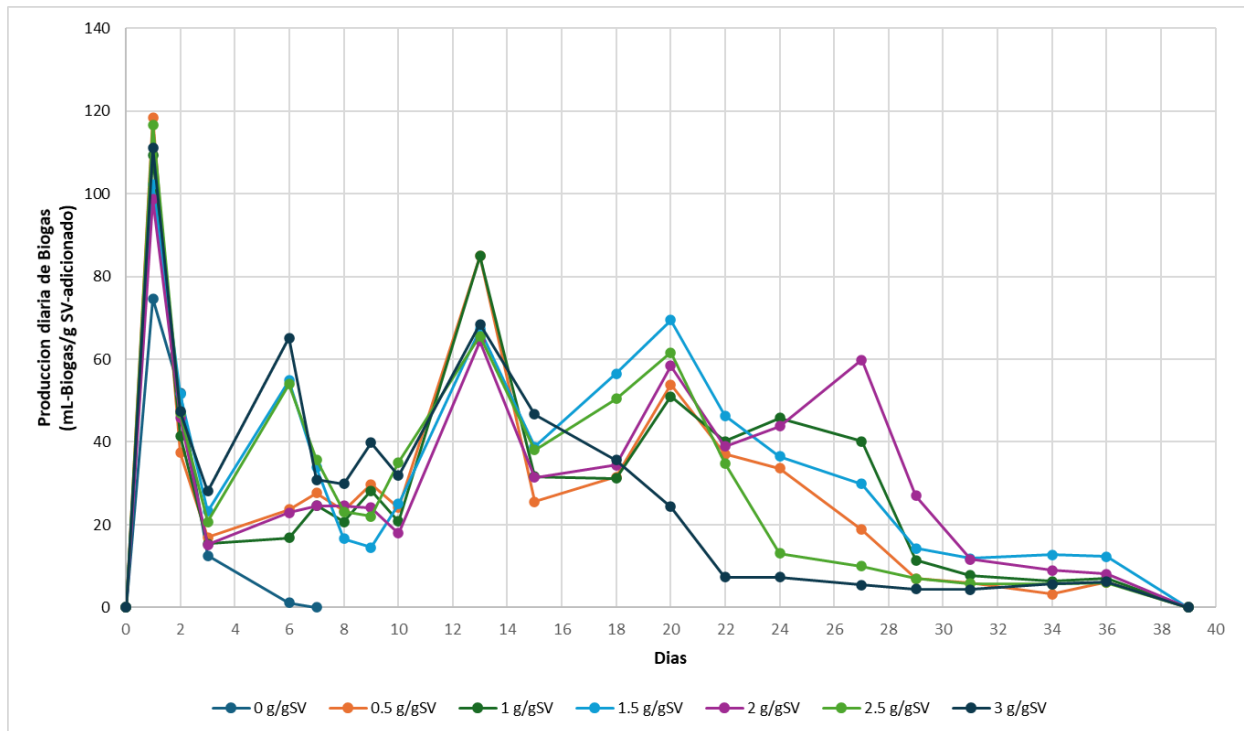
En todos los ensayos experimentales se observó que la producción de biogás se desarrolló desde el primer día y se mostró un aumento exponencial durante los primeros 4 días. A partir del día 4, la producción se fue incrementando ligeramente durante todo el proceso. Después de 39 días de digestión, las producciones acumuladas de biogás alcanzaron valores de 140.21, 609.18, 635.17, 718.04, 661.34, 652.69 y 600.45 mL-Biogás/g SVadicionado para 0 (control), 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 g/gSV de biochar respectivamente con una varianza de 95%. Estos resultados muestran que el tratamiento 1.5 g/gSV de dosis de biochar logro una producción mayor en comparación con el grupo control y los demás tratamientos. En la investigación realizada por (Wambugu et al., 2019) encontraron una clara mejora de producción de biogás en un 18% a comparación del

control, con una adición de 1.2g SV de biochar de madera residual tratada en la digestión de desperdicios de alimentos. Por lo tanto, esto puede explicar que la adición de biochar puede mejorar la DA y mostrar un impacto positivo. Estos resultados indican que la adición de biochar tiene efecto positivo en la producción acumulada de biogás, el cual se relaciona con diferentes estudios (Shen et al., 2020) y (Li et al., 2022). En otra investigación, donde realizaron codigestión con paja y estiércol bovino, exploraron los efectos de diferentes tipos de biochar (cáscara de arroz, cáscara de maní, cáscara de coco, paja y aserrín), mostrando que las adiciones de biochar tuvieron un incremento ligero en el rendimiento de biogás con una dosis de 2% (Shen et al., 2020). En otra investigación, se evaluó el efecto de adicionar biochar utilizando como sustrato desechos de cocina, los resultados mostraron que el rendimiento fue de 308.6 ml/g SV, un 10.5% más alto que el control (Li et al., 2017).

En general, los experimentos con adición de biochar lograron producciones de biogás finales muy superiores al experimento sin adición de biochar, durante los 39 días de experimentación. Esto podría deberse a que la materia biodegradable contenida en el lactosuero, que se compone principalmente de lactosa, proteínas solubles y lípidos, contribuyó a la producción de biogás (Chatzipaschali & Stamatis 2012). Sin embargo, el experimento sin adición de biochar solo logró una persistencia de 9 días, debido a la rápida degradación del lactosuero lo que generó altas concentraciones de AGV que sobrepasaron la capacidad amortiguadora del proceso, inhibiendo el proceso de DA (Jobling et al., 2018). Además, (Masebinu et al., 2018) mencionan que la acción metabólica de los microorganismos disminuye cuando hay una concentración limitada de sustrato disponible durante la DA, en consecuencia, la aglomeración de AGV impide la actividad de los microorganismos metanogénicos y como resultado disminuye la producción de biogás.

Figura 3

Producción diaria de biogás



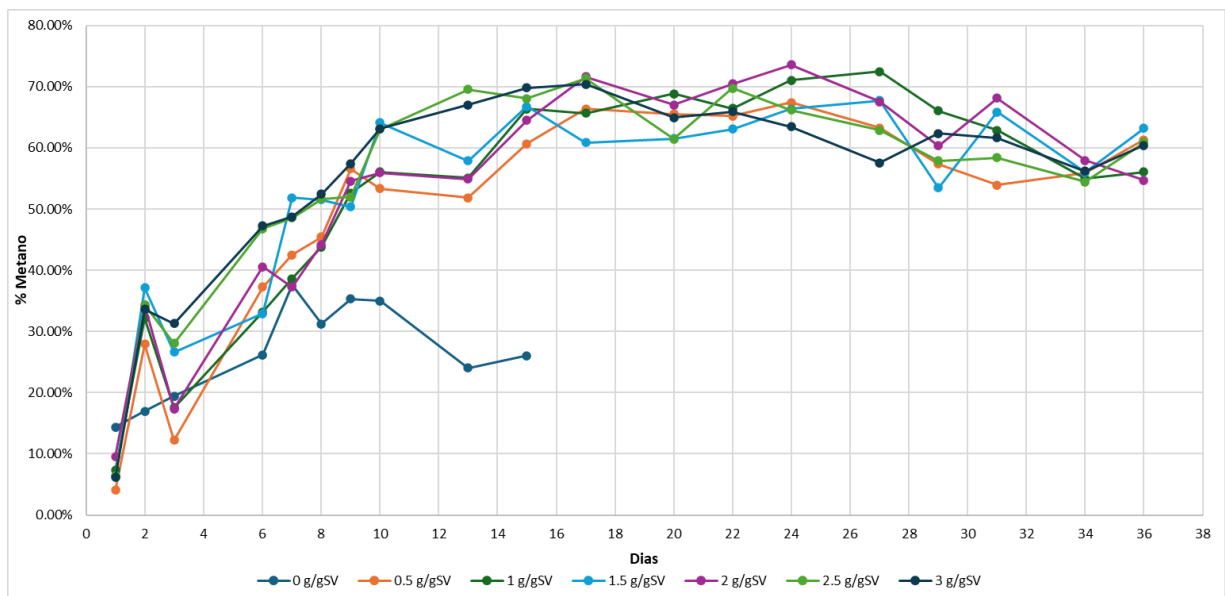
En lo que respecta a las producciones diarias de biogás, todos los experimentos mostraron un nivel considerablemente elevado entre los primeros dos días, seguido de una disminución significativa con una varianza de 95%. Este incremento en los dos días, podría estar relacionada con sustancias fácilmente biodegradables contenidas en el lactosuero. Como, por ejemplo, la presencia de carbohidratos de fácil digestión: lactosa y glucosa. Los microorganismos pudieron digerir estas sustancias fácilmente degradables en el medio (Abdallah et al., 2022). Sin embargo, cuando la acidez supera la capacidad reguladora del sistema, la actividad de los microorganismos puede disminuir. Después ocurrieron varios picos de producción, particularmente se pueden contar cuatro en los días 6, 13, 20 y 27, indicando una recuperación y aclimatación de los microorganismos debido al efecto del biochar en el proceso de DA.

3.4. Producción de metano

El porcentaje (%) de metano exhibió una tendencia decreciente los 4 primeros días. Después se observó una creciente constante. Los resultados del % de metano indican que la adición de biocarbón influyó significativamente en la producción de metano ($P < 0.05$), puesto que hubo un aumento de metano en base al tratamiento que no contenía biochar.

Figura 4

Contenido de metano (%) en el biogás



Los contenidos promedios de metano producido en los diferentes tratamientos oscilan entre 50 a 75%. De forma semejante, en una investigación obtuvieron contenidos medios de metano que oscilaron entre 65.3 y 79.1% (Romero et al., 2021). Durante los primeros 10 días de digestión se observó un incremento de contenido de metano en los tratamientos con adición de biochar, alcanzando valores pico de 53 a 63%, inmediatamente después de este suceso se registró un crecimiento leve y estabilización hasta el final de las pruebas. A partir del día 15 se aprecia una constante entre 50% y 70% hasta el término del proceso. Acorde con este suceso el contenido de metano fue similar a la producción diaria de biogás y esto puede explicar que durante los primeros días de digestión las sustancias

fácilmente degradables fueron digeridas por los microorganismos metanógenos. En el experimento control se registraron % de metano bajos, alcanzando un máximo de 35%, es probable que existió un exceso de acumulación de AGV en el proceso. Así mismo, (Rico et al., 2020) realizó, un estudio con residuos de alimentos, señalando que a medida que se fueron consumiendo los AGV el contenido de metano en el biogás aumenta entre 65 y 70%. En efecto, La adición de biochar en los experimentos tuvo un efecto significativo en cuanto al contenido de metano.

3.5. Efecto de la digestión anaeróbica sobre la concentración de AGV

En el proceso de DA se necesita considerar variables importantes como el pH, AGV, AT y AGV/AT (Putri et al., 2012). En el proceso de DA, muchas veces el pH tiende a disminuir significativamente por la tendencia a producir ácidos. Bajos valores de pH pueden causar que los microorganismos, principalmente metanógenos, se inactiven (Arhoun et al., 2013).

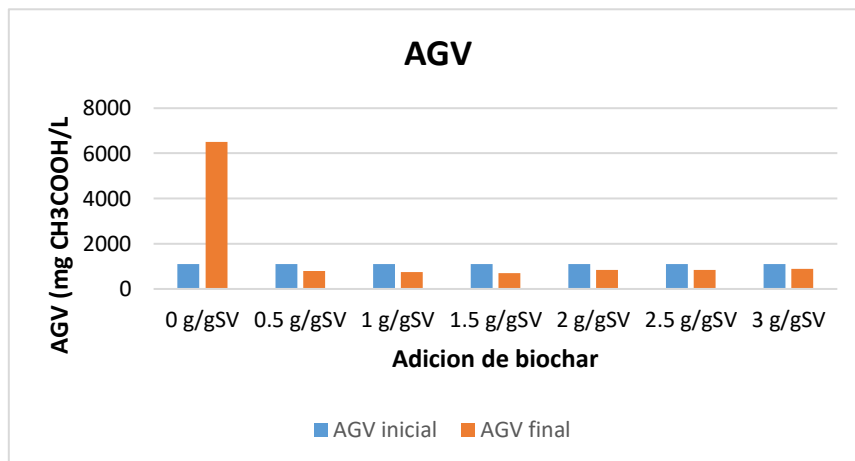
La concentración de pH es muy influenciada por el contenido de AGV. Si los AGV incrementan el pH aumentará. El contenido de AGV incrementa enormemente en los experimentos sin adición de biochar de 1100 mg/L (Inicio) a 6500 mg/L (final). El valor final está muy por encima de lo permitido, que es 2000 mg/L (Mendieta et al., 2020). Es muy probable que esta sea la razón por la cual la producción de biogás y metano sea muy baja, por lo tanto, si se desea incrementar la producción de biogás y metano se debe agregar biochar. Además, para mantener estable el proceso de DA, es necesario mantener una buena capacidad buffer (Budyono et al., 2013). Al adicionar biochar de estiércol bovino en el lactosuero, se evita la acumulación de AGV. En todos los tratamientos en donde se adicionó el biochar, la concentración de AGV se mantuvo en valores bajos, en el rango de 700 a 890 mg/L, valores muy por debajo de lo permitido.

Según estudios recientes, la naturaleza alcalina del biocarbón puede mejorar el rendimiento de metano. Es por ello que, el pH se torna más alcalino en los tratamientos debido a que el biocarbón actúa como un tampón que evita la acumulación de AGV,

dándole así condiciones más óptimas a los microorganismos metanogénicos para DA (Tait et al., 2021).

Figura 5

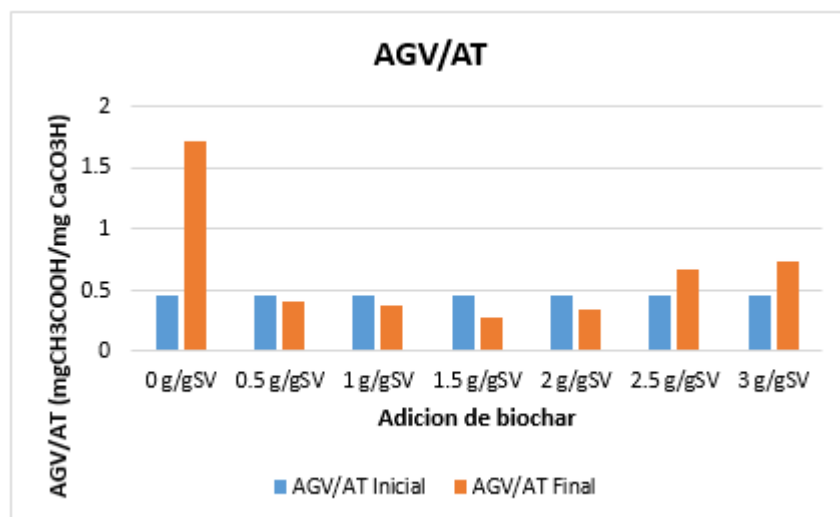
AGV inicial y final



La adición de biocarbón promovió en gran medida la oxidación sintrífica de AGV, evitando así la inhibición de los microorganismos debido al alto contenido de AGV (Carvalho et al., 2002). Además, se observó más estabilidad en el proceso de digestión, es por ello, que se alargó el tiempo de retención.

Figura 6

AGV/AT total



En esta investigación, la capacidad buffer mejoró con la adición de biochar, debido a que al inicio de las pruebas se tenía un valor de 0.46 y al final de las pruebas los experimentos con adición de biochar se mantuvieron en un rango de 0.28 a 0.73. Sin embargo, en la prueba sin adición de biochar el valor de AGV/AT aumentó hasta 1.72.

Según (Callagan et al., 2002) la relación AGV/AT debe estar por debajo de 0.4, si esta por encima de este valor puede ocurrir inestabilidad en el proceso de DA. En la producción de biogás y metano, la relación AGV/AT es el criterio más importante para evaluar la estabilidad en el proceso de DA (Li et al., 2017). El valor de la relación AGV/AT a menudo es utilizada como criterio de estabilidad en la DA (Masebinu et al., 2017). En la figura 6, se puede evidenciar que la relación de AGV/AT en los tratamientos eran menores a 0.4, lo que indicaría que la DA sería estable. Observando, los datos finales, se puede advertir que los tratamientos que contenían biocarbón mantuvieron el proceso digestivo estable, sin embargo, en la prueba 0 g/gSV la cual no contenía el aditivo, se observó que el proceso fue muy inestable y en consecuencia a ello hubo un tiempo de retención mucho menor.

4. CONCLUSIONES

En la presente investigación se viabilizó el proceso de digestión anaeróbica de un residuo de difícil manejo como el lactosuero mediante la adición de biocarbón de estiércol bovino. El uso de biocarbón en proporción de 1.5 g/gSV de dosis de biochar evitó problemas de inhibición por acidificación del sistema, por ello el AGV se mantuvo en un rango de 0.28 a 0.73 mg CH₃-COOH este valor logró la estabilidad en el proceso de digestión anaerobia.

Los experimentos a los que se le adicionó el biochar, mostraron un aumento notable en el rango de aproximadamente 600 mL/g SV y 718 mL /g SV en la producción de biogás, a diferencia del que no contenía adición de biochar 140.21 mL/g SV. Estos resultados muestran que el tratamiento que contiene dosis de biochar logro una producción mayor en comparación con el grupo control y los demás tratamientos. En este sentido, la adición del biocarbón en la digestión anaerobia ofrece una excelente oportunidad para la gestión de residuos con tendencia a acidificarse.

5. REFERENCIAS

- Abdallah, M., Greige, S., Beyenal, H., Harb, M., & Wazne, M. (2022). Investigating microbial dynamics and potential advantages of anaerobic co-digestion of cheese whey and poultry slaughterhouse wastewaters. *Scientific Reports* 2022 12:1, 12(1), 1–12.
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-14425-1>.
- APHA; AWWA; WEF. (2008). *Yellowstone National Park Water Quality Monitoring Greater Yellowstone Inventory and Monitoring Network Data Collected: January 2008 – December 2008* Prepared by: Jeff Arnold and. December, 2–4.
- Arhoun, B., Bakkali, A., Mail, R., Rodriguez, J., & Herruzo, G. (2013). Biogas production from pear residues using sludge from a wastewater treatment plant digester. Influence of the feed delivery procedure. *Bioresource Technology*, 242-247.
- Budiyono, Manthia, F., Amalin, N., Hawali Abdul Matin, H., & Sumardiono, S. (2018). Production of biogas from Organic Fruit waste in anaerobic digester using ruminant as the inoculum. *MATEC*.
- Callagan, F., Wase, D., Thayanithy, K., & Forster, C. (2002). Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure. *Biomass Bioenergy*, 71-77.
- Carvalho, F., Prazeres, A. R., & Rivas, J. (2013, February 5). Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. *Science of the Total Environment*.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.038>
- Chatzipaschali, A. A., & Stamatis, A. G. (2012). Biotechnological utilization with a focus on anaerobic treatment of cheese whey: Current status and prospects. *Energies*. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en5093492>
- Escalante, H., Castro, L., Amaya, M. P., Jaimes, L., & Jaimes-Estévez, J. (2018). Anaerobic digestion of cheese whey: Energetic and nutritional potential for the dairy sector in developing countries. *Waste Management*, 71, 711–718.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.026>

- Hill, D. T., Cobb, S. A., & Bolte, J. P. (1987). USING VOLATILE FATTY ACID RELATIONSHIPS TO PREDICT ANAEROBIC DIGESTER FAILURE. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 30(2), 496–501.
<https://doi.org/10.13031/2013.31978>
- Jobling, B. J., Thai, S., Fritz, T., Esteves, S. R., Dindale, R. M., and 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. *ScienceDirect*, 61(0), 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.05.020>.
- Juustesen, C. G., Astals, S., Mortensen, J. R., Thorsen, R., Koch, K., Weinrich, S., Triolo, J. M., and Hafner, S. D. (2019). Development and validation of a low-cost gas density method for measuring biochemical methane potential (BMP). *Water (Switzerland)*, 11(12), 1–17. <https://doi.org/10.3390/W11122431>.
- Li, D., Sun, M., Xu, J., Gong, T., Ye, M., Xiao, Y., and Yang, T. (2022). Effect of biochar derived from biogas residue on methane production during dry anaerobic fermentation of kitchen waste. *Waste Management*, 149(May), 70–78.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.06.006>.
- Li, Q., Xu, M., Wang, G., Chen, R., Qiao, W., and Wang, X. (2017). Biochar assisted thermophilic co-digestion of food waste and waste activated sludge under high feedstock to seed sludge ratio in batch experiment. *Bioresource Technology*, 249, 1009–1016. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.002>.
- Mainardis, M., Cabbai, V., Zannier, G., Visintini, D., & Goi, D. (2018). Characterization and BMP tests of liquid substrates for high-rate anaerobic digestion. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 31(4), 508–518.
<https://doi.org/10.15255/CABEQ.2017.1083>
- Masebinu, S. O., Akinlabi, E. T., Muzenda, E., & Aboyade, A. O. (2019, April 1). A review of biochar properties and their roles in mitigating challenges with anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.048>

- Mendieta, O., Madrigal, G., Castro, L., Rodriguez, J., & Escalante, H. (2020). Sugarcane Scum as a novel substrate for rapid biogas production from the non-centrifugal cane sugar agribusiness sector in developing countries. *Bioresource Technology*.
- Putri, D., Saputro, R., & Budiyono. (2012). *Journal of Renewable Energy Development*, 61-64
- Rico, C., Montes, J. A., and Lobo, A. (2020). Dry batch anaerobic digestion of food waste in a box-type reactor system: Inoculum preparation and reactor performance. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119751. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119751>.
- Rico, C., Muñoz, N., & Rico, J. L. (2015). Anaerobic co-digestion of cheese whey and the screened liquid fraction of dairy manure in a single continuously stirred tank reactor process: Limits in co-substrate ratios and organic loading rate. *Bioresource Technology*, 189, 327–333. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.032>
- Romero De León, L. A., Quinto Diez, P., Tovar Gálvez, L. R., Alvarado Perea, L., López Barragán, C. A., García Rodríguez, C. A., and Reyes León, A. (2021). Biochemical methane potential of water hyacinth and the organic fraction of municipal solid waste using leachate from Mexico City's Bordo Poniente composting plant as inoculum. *Fuel*, 285(March 2020). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119132>.
- Shen, R., Jing, Y., Feng, J., Luo, J., Yu, J., and Zhao, L. (2020). Performance of enhanced anaerobic digestion with different pyrolysis biochars and microbial communities. *Bioresource Technology*, 296(41), 122354. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122354>.
- Tait, S., Harris, P. W., & McCabe, B. K. (2021, May 25). Biogas recovery by anaerobic digestion of Australian agro-industry waste: A review. *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126876>
- Vivekanand, V., Mulat, D. G., Eijsink, V. G. H., & Horn, S. J. (2018). Synergistic effects of anaerobic co-digestion of whey, manure and fish ensilage. *Bioresource Technology*, 249, 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.169>

Wambugu, C. W., Rene, E. R., van de Vossenberg, J., Dupont, C., and van Hullebusch, E. D. (2019). Role of biochar in anaerobic digestion based biorefinery for food waste. *Frontiers in Energy Research*, 7(MAR), 1–13.
<https://doi.org/10.3389/fenrg.2019.00014>.

ANEXOS:

Anexo 1. Evidencia de sumisión

18/12/24, 9:05

Gmail - [Rev.Colomb.Biote] Acuse de recibo del envío



Luisa Franchesca Pariguana Ramos <luisa.2001fpr@gmail.com>

[Rev.Colomb.Biote] Acuse de recibo del envío

Jaqueline Ramírez P., Revista Colombiana de Biotecnología vía Portal de Revistas UN 20 de noviembre de 2024, <noreplyrev_nal@unal.edu.co> 5:04 p.m.
Responder a: "Jaqueline Ramírez P., Revista Colombiana de Biotecnología" <revcbib_bog@unal.edu.co>
Para: luisa pariguana ramos <luisa.2001fpr@gmail.com>

luisa pariguana ramos:

Gracias por enviar el manuscrito "Biochar de estiércol bovino como aditivo esencial en la mejora de producción de metano del lactosuero en zonas rurales del altiplano peruano" a Revista Colombiana de Biotecnología. Con el sistema de gestión de publicaciones en línea que utilizamos podrá seguir el progreso a través del proceso editorial tras iniciar sesión en el sitio web de la publicación:

URL del manuscrito: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/authorDashboard/submission/117658>
Nombre de usuario/a: luisa2023luisa

Si tiene alguna duda puede ponerse en contacto conmigo. Gracias por elegir esta editorial para mostrar su trabajo.

Jaqueline Ramírez P., Revista Colombiana de Biotecnología

Revista Colombiana de Biotecnología

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia>

Aviso legal: El contenido de este mensaje y los archivos adjuntos son confidenciales y de uso exclusivo de la Universidad Nacional de Colombia. Se encuentran dirigidos sólo para el uso del destinatario al cual van enviados. La reproducción, lectura y/o copia se encuentran prohibidas a cualquier persona diferente a este y puede ser ilegal. Si usted lo ha recibido por error, infórmenos y elimínelo de su correo. Los Datos Personales serán tratados conforme a la Ley 1581 de 2012 y a nuestra Política de Datos Personales que podrá consultar en la página web www.unal.edu.co. Las opiniones, informaciones, conclusiones y cualquier otro tipo de dato contenido en este correo electrónico, no relacionados con la actividad de la Universidad Nacional de Colombia, se entenderá como personales y de ninguna manera son avaladas por la Universidad.

Anexo 2. Aprobación de perfil de proyecto



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

RESOLUCIÓN N° 0276-2024/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Naña 07 de mayo de 2024

VISTO:

El expediente de **Mariaelena Carmen Holguín Alata**, identificado(a) con Código Universitario N° 201410562 y **Luisa Franchesca Pariguana Ramos** identificado(a) con Código Universitario N° 201812052, 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 **Mariaelena Carmen Holguín Alata** y **Luisa Franchesca Pariguana Ramos**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Digestión anaerobia de lactosuero: Potencial de biometanización del sector lechero en países en desarrollo con adición de Biochar De Estiércol Bovino" 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 "**Digestión anaerobia de lactosuero: Potencial de biometanización del sector lechero en países en desarrollo con adición de Biochar De Estiércol Bovino**" 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 **Mtra. Loyda 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 cambio de título



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

RESOLUCIÓN N° 0716-2024/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 24 de setiembre de 2024

VISTO:

El expediente de **Luisa Franchesca Pariguana Ramos**, identificado(a) con código universitario N° **201812052** y **Mariaelena Carmen Holguin Alata** identificado(a) con código universitario N° **201410562** 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 proyecto de tesis;

Que **Luisa Franchesca Pariguana Ramos** y **Mariaelena Carmen Holguin Alata**, han solicitado la modificación de la denominación del proyecto de tesis titulado "Digestion anaerobia de lactosuero: Potencial de biometanización del sector lechero en países en desarrollo con adición de biochar de estiércol bovino";

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 24 de setiembre de 2024, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar la modificación de la denominación del proyecto de tesis titulado "Digestion anaerobia de lactosuero: Potencial de biometanización del sector lechero en países en desarrollo con adición de biochar de estiércol bovino", por el de: "Biochar de estiércol bovino como aditivo esencial en la mejora de producción de metano del lactosuero en zonas rurales del altiplano peruano", en el registro respectivo y disponer que con la orientación de su asesor el(la) **Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera**, sea desarrollado y ejecutado el proyecto de tesis por **Luisa Franchesca Pariguana Ramos** y **Mariaelena Carmen Holguin Alata**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución, a partir de la inscripción inicial.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA



Ph.D. Silvia Pilco Quesada
SECRETARIA ACADÉMICA

- CC:
- Interesado
 - Asesor
 - DGI
 - Archivo

Anexo 4. Resolución para la sustentación



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

RESOLUCIÓN N° 0881-2024/UPeU-FIA-CF

Lima, Ñaña, 19 de noviembre de 2024

VISTO:

El expediente de los (las) bachilleres **Luisa Franchesca Pariguana Ramos** identificado(a) con código universitario N° **201812052** y **Mariaelena Carmen Holguin Alata** identificado(a) con código universitario N° **201410562**, 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 “Biochar de estiércol bovino como aditivo esencial en la mejora de producción de metano del lactosuero en zonas rurales del altiplano peruano”, presentado por los (las) bachilleres **Luisa Franchesca Pariguana Ramos** y **Mariaelena Carmen Holguin Alata**, reuniendo 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 19 de noviembre de 2024, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

1. Declarar expedito a los (las) bachilleres **Luisa Franchesca Pariguana Ramos** y **Mariaelena Carmen Holguin Alata**, para que sustenten la tesis en formato artículo titulada “Biochar de estiércol bovino como aditivo esencial en la mejora de producción de metano del lactosuero en zonas rurales del altiplano peruano”, conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental, el 05 de diciembre, a las 11:00 horas, 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: MSc. Miguel Angel Salcedo Enriquez
Secretario: Dr. Mateo Alejandro Salinas Mena
Asesor: Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera
Vocal 1: Mg. Franklyn Elard Zapana Yucra
Vocal 2: MSc. Loayda Abigail Condori Tuppo

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Ph.D. Silvia Pilco Quesada
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:
-Interesado
-Jurado (04)
-Secretaría General
-Archivo