

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



**Aprovechamiento de residuos agroindustriales de palta mediante
digestión anaerobia: evaluación del potencial bioquímico de
metano (BMP)**

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de Bachiller Ingeniero
Ambiental

Autor:

Juvenal Umiyauri Ccollque

Asesor:

MSc. Rose Adeline Callata Chura

Juliaca, agosto de 2026

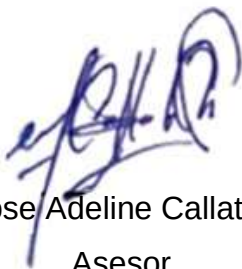
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Yo MSc. Rose Adeline Callata Chura, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE PALTA MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (BMP)”** los autores **Juvenal Umiyauri Ccollque** tiene un índice de similitud de 18% 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 26 días del mes de agosto del año 2026.



Msc. Rose Adeline Callata Chura
Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 21 día(s) del mes de agosto del año 2026 siendo las 10:00 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): Mtro. Pedro Víctor Quiroga Spaza y los demás miembros: Mtro. Juan Eduardo Ugo Rivera y el (la) asesor(a) Msc. Rosa Adeline Ballata Chura con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: "Aprovechamiento de residuos agroindustriales de papa mediante digestión anaerobica: evaluación del potencial bioquímico de metano (BMP)" de los (las) candidato (as):

a) Juvenal Umiyauri Collque b) _____
c) _____

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en:

Ingeniería Ambiental
(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

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:

Candidato/a (a): Juvenal Umiyauri Collque

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

Candidato/a (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Candidato/a (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.

Presidente/a
[Firma]
Asesor/a
[Firma]
Candidato/a (a)

[Firma]
Miembro
Candidato/a (b)

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

Índice de Contenido

RESUMEN	5
ABSTRACT.....	6
INTRODUCCION	7
MATERIALES Y METODOS	8
Descripción del área de estudio.....	8
Sustrato e inóculo	8
Configuración experimental.....	8
Medición de la cantidad de biogás y metano producido	9
Métodos analíticos.....	9
Análisis estadístico	9
RESULTADOS Y DISCUSION	10
Caracterización del residuo	10
Potencial Bioquímico de Metano del sustrato.....	10
Estabilidad del proceso de digestión anaerobia.....	12
CONCLUSION.....	14
REFERENCIAS.....	15

Aprovechamiento de residuos agroindustriales de palta mediante digestión anaerobia: evaluación del potencial bioquímico de metano (BMP)

Utilization of avocado agro-industrial waste through anaerobic digestion: evaluation of the biochemical methane potential (BMP)

Juvenal Umiyauri Ccollqqe*

*Escuela profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Union – campus Juliaca

RESUMEN

El crecimiento sostenido del sector agroindustrial de palta en los últimos años en el Perú ha generado volúmenes significativos de residuos orgánicos cuyo tratamiento aún presenta limitaciones. La presente investigación evaluó el aprovechamiento de los residuos de palta (RP) mediante la tecnología de digestión anaerobia a través de pruebas de potencial bioquímico de metano (PBM), con el propósito de verificar su capacidad de producción de biogás y metano. La caracterización inicial de RP evidencia su elevada carga orgánica, representada por valores de sólidos volátiles y DQO de 217.93 g/kg y 258 g/L respectivamente. Las pruebas PBM se realizaron a 35 °C con una relación inóculo – sustrato de 2, obteniendo producciones de biogás y metano de 319.2 mL-biogas/g SV y 188.3 mL-CH₄/g SV. El porcentaje de metano se mantuvo en un rango de 53.6 % a 77.9 % durante gran parte de la experimentación, indicando buena calidad del biogás. No obstante, las concentraciones de ácidos grasos volátiles (AGV) y relación AGV/AT fueron superiores a los valores recomendados, lo que limitó la producción de biogás y metano, sugiriendo una ligera inestabilidad del proceso de digestión anaerobia. En definitiva, el RP posee un potencial significativo para la producción de biogás y metano, aunque para mejorar aún más las producciones, se recomienda evaluar algunas alternativas de tratamiento como la co-digestión.

Palabras clave: Digestión anaerobia, biogás, metano, residuos de palta, agroindustria.

ABSTRACT

The sustained growth of the avocado agro-industrial sector in Peru in recent years has generated significant volumes of organic waste, the treatment of which still faces limitations. This research evaluated the utilization of avocado waste (AW) using anaerobic digestion technology through biochemical methane potential (BMP) tests, with the aim of verifying its biogas and methane production capacity. The initial characterization of AW reveals its high organic load, represented by volatile solids (VS) and COD values of 217.93 g/kg and 258 g/L, respectively. The BMP tests were performed at 35 °C with an inoculum-to-substrate ratio of 2, yielding biogas and methane productions of 319.2 mL biogas/g VS and 188.3 mL CH₄/g VS. The methane percentage remained within a range of 53.6% to 77.9% for most of the experiment, indicating good biogas quality. However, the volatile fatty acid (VFA) concentrations and VFA/TA ratio were higher than recommended values, limiting biogas and methane production and suggesting slight instability in the anaerobic digestion process. In conclusion, the AW (avocado waste) has significant potential for biogas and methane production, although to further improve yields, it is recommended to evaluate alternative treatments such as co-digestion.

Keywords: Anaerobic digestion, biogas, methane, avocado waste, agro-industry

INTRODUCCION

La energía es uno de los elementos más importantes para el desarrollo de la sociedad. La dependencia de los combustibles fósiles como recurso energético primario ha conducido a la degradación y contaminación ambiental, por lo tanto, también a problemas de salud humana (Langat, Njogu, & Kamau, 2018). Frente a esta problemática, las fuentes energéticas renovables provenientes de la radiación solar, viento, agua, biomasa, etc. son una opción ambientalmente amigable (Kenasa & Kena, 2019). Las energías renovables representan el 13.4% de todo el consumo energético global, mientras que el otro porcentaje mayoritario es representado por el petróleo, gas natural y carbón (IEA. International Energy Agency, 2017).

La preocupación por el desarrollo sostenible y responsabilidad ambiental condujo la atención de varios investigadores hacia el desarrollo de tecnologías que utilizan sub-productos de la industria del procesamiento de frutas para obtener productos de valor agregado. Sin embargo, actualmente, muchos residuos orgánicos generados en esta industria son dispuestos en el ambiente sin ningún tratamiento (Van Dyk, Gama, Morrison, Swart, & Petschke, 2013). La palta es una fruta común rica en nutrientes cuya industria ha crecido rápidamente, registrándose un crecimiento de más de 700% en solo 8 años desde el 2009 (Rashama, Ijoma, & Matambo, 2020). Una alternativa de solución para la gestión de residuos de los sub-productos generados en la industria del procesamiento de palta podría ser el proceso de digestión anaerobia (DA) debido a que esta tecnología convierte los residuos en recursos valiosos a través de la recuperación de energía renovable (biogás) y biofertilizante (Paul, Dutta, Defersha, & Dubey, 2018).

La DA es un proceso de fermentación anaerobia de la materia orgánica que produce principalmente biogás. En adición a este recurso de energía renovable, el biogás no tiene ninguna limitación geográfica y no requiere de tecnología avanzada (Kenasa & Kena, 2019). La producción de biogás a partir de materia orgánica consiste de cuatro etapas principales: Hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis; las etapas son interdependientes unas de otras y cada etapa involucra diferentes tipos de microorganismos (Sagagi, Garba, & Usman, 2009). Sin embargo, El desarrollo adecuado del proceso de DA depende de factores como la naturaleza del sustrato, temperatura, pH, Ácidos grasos Volátiles (AGV), Alcalinidad total (AT). Todos estos factores impactan en la producción de biogás, si se mantienen dentro de valores aceptables entonces se logrará mejorar el proceso de DA e incrementar la producción de biogás y viceversa. Existen estudios previos que evaluaron la DA de residuos de palta (Rashama, Ijoma, & Matambo,

2020). Sin embargo, la gran mayoría de las investigaciones, se enfocan en la cogestión de residuos de palta con estiércol o con otros residuos agro-industriales.

Como dato, hay escasa investigación en la mono-digestión de residuos de palta. En consecuencia, es importante conocer si los residuos de palta son una opción viable para ser tratados mediante la DA. A menudo, es necesario evaluar el proceso de DA a escala laboratorio mediante las pruebas denominadas Potencial Bioquímico de Metano (PBM) antes de realizar la DA a escala real debido a que son pruebas que ahorran tiempo y de fácil aplicación. De este modo, el objetivo de esta investigación es estimar el potencial de producción de biogás y metano de residuos de palta mediante las pruebas PBM.

MATERIALES Y METODOS

Descripción del área de estudio

El sustrato utilizado para la generación de biogás y metano fue recolectado de un mercado agroindustrial en la ciudad de Juliaca, Perú. Los experimentos de PBM fueron desarrollados en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión campus Juliaca.

Sustrato e inocular

Se utilizó residuos de palta (RP) como materia prima para la DA. Se recolectó 1kg de RP en bolsas de cierre hermético, se congeló y transportó inmediatamente en un cooler a los laboratorios de Ingeniería Ambiental. Para mantener condiciones homogéneas, los RP se trituraron en una licuadora de cocina, luego se almacenó a -18 °C hasta su respectivo análisis.

Como inocular se utilizó lodos de depuradora digerido, extraído de una planta de tratamiento de aguas residuales de Juliaca, Perú. El inocular se pre-incubó a 32°C por 5 días para desgasificarlo y reducir la materia orgánica presente. Al inocular se midieron pH (8.29), Sólidos totales (ST) (35.41 g/kg), Sólidos volátiles (SV) (16.99 g/kg), AGV (760 mg CH₃COOH/L) y AT (3683.33 mg CaCO₃/L).

Configuración experimental

Los experimentos fueron realizados mediante las pruebas de Potencial Bioquímico de Metano (BMP) siguiendo la metodología propuesta por Holliger et al. (2016). Todas las pruebas se realizaron por triplicado utilizando botellas de vidrio con una capacidad de 120 ml y un volumen de trabajo de 60 ml. Se incluyó un control sin sustrato para cuantificar la producción endógena de

metano del inóculo. La relación inóculo-sustrato (RIS) empleada en este estudio fue de 2, basada en sólidos volátiles (SV). El RP fue adicionado a la mezcla de inóculo – sustrato de acuerdo con la RIS descrita anteriormente. Inmediatamente después, el espacio de cabeza fue gaseado con gas N₂ por 30 s, luego cerrados con tapones de goma de butilo y sellados con agrafes de aluminio para mantener condiciones anaerobias. Finalmente, todas las botellas se llevaron a incubar a 35°C.

Medición de la cantidad de biogás y metano producido

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). Este procedimiento se fundamenta en determinar tanto el volumen como la composición del biogás a través de la medición de la pérdida de masa en las botellas, tras la completa extracción del biogás generado. El volumen de metano y biogás fueron ajustados a condiciones estándar, esto es, 100 kPa de presión y temperatura de 273.15 K.

Métodos analíticos

El contenido de ST y SV se determinaron calentando las muestras en una estufa (BINDER) a 105°C por 24 h y en una mufla (PROTHERM) a 550 °C por 1 h, respectivamente (APHA; AWWA; WEF, 2017). Para el pH, AGV y alcalinidad las muestras fueron centrifugadas a 5000 rpm por 30 min, y el sobrenadante se utilizó para los análisis. El valor de pH se midió usando un pH metro (Horiba) mediante el método potenciométrico. El AGV y alcalinidad fueron cuantificados mediante el método titrimétrico utilizando soluciones de NaOH 0.1N y HCl 0.1N. El análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO) se determinó mediante el método espectrofotométrico a reflujo cerrado con un espectrofotómetro UV-VIS (SHIMADZU). Todos los análisis se hicieron por triplicado tanto al inicio y final de las pruebas PBM.

Análisis estadístico

Los datos recolectados fueron analizados estadísticamente calculando medias y desviación estándar mediante el software Microsoft Excel. Se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95% y se consideró significativo un valor p inferior a 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización del residuo

La tabla 1 muestra las características fisicoquímicas iniciales del inoculo y RP en términos de pH, ST, SV y DQO. El pH del inoculo presenta un valor cercano a la neutralidad, lo cual es típico de un inoculo estabilizado y adecuado para iniciar el proceso de digestión anaerobia sin riesgo de inhibición. Las propiedades de RP y su composición son factores importantes para determinar el potencial de producción de biogás. El RP probado en esta investigación presenta buen potencial de producción de biogás en base a los valores de SV y DQO, estos valores son característicos de residuos agroindustriales con elevada materia orgánica biodegradable (Hamilton, 2016), lo que predice un buen potencial de producción de metano.

El contenido de sólidos volátiles (SV) presente en el sustrato, que representa aproximadamente el 67 % de los sólidos totales (ST), indica una alta susceptibilidad del material a la biodegradación anaerobia. El pH constituye un parámetro crítico para el desarrollo de la digestión anaerobia: valores fuera del intervalo recomendado de 6 a 7.8 pueden generar complicaciones en los sistemas de biodigestores. Sin embargo, el pH en la DA de RP no debería ser un problema pues en la tabla 1 se muestra que el pH está dentro del rango mencionado anteriormente. Finalmente, la DQO de RP (258 g/L) confirma que el sustrato tiene elevada carga orgánica y su potencial de generar biogás. En definitiva, las características fisicoquímicas de RP evidencian su elevada biodegradabilidad y con un potencial de producción de biogás y metano.

Tabla 1

Caracterización fisicoquímica de sustrato e inoculo

Parámetro	Unidad	Inoculo	Palta
pH	--	7.62	6.25
Solidos totales (ST)	g/kg	40.15	325.35
Solidos volátiles (SV)	g/kg	17.53	217.93
Cenizas	g/kg	21.36	107.42
DQO	g/L	--	258

Potencial Bioquímico de Metano del sustrato

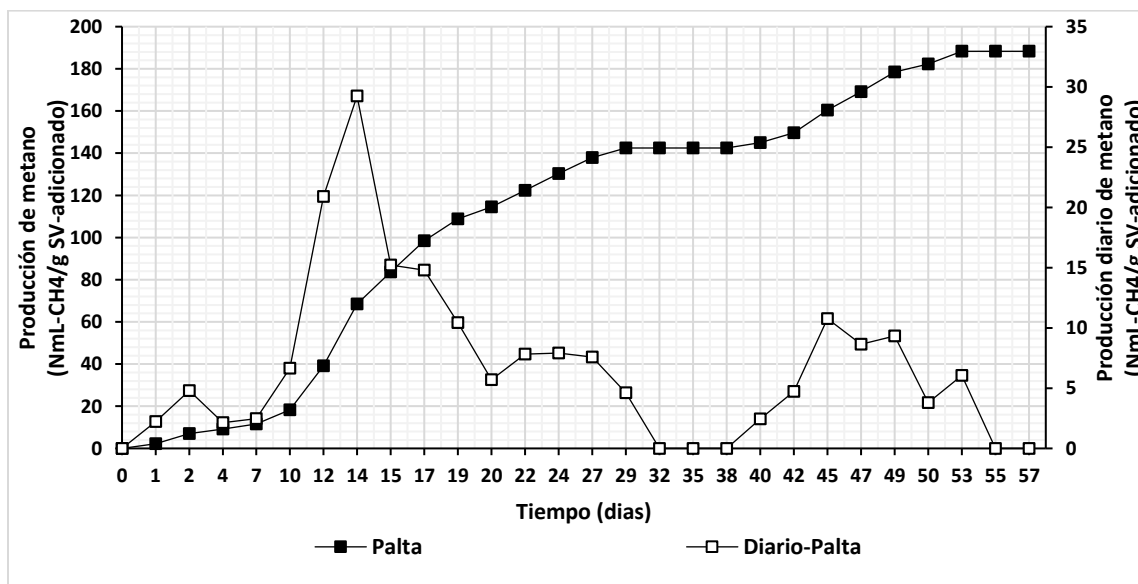
La cantidad y calidad de producción de metano es afectado por la composición y tipo del sustrato usado (Kvacik & Topaloglu, 2010). Los resultados de los ensayos PBM a escala laboratorio se muestran en la figura 1. La máxima producción de biogás y metano alcanzado por

RP durante 57 días de experimentación fue de 319.2 NmL-biogas/gSV-adicionado y 188.3 NmL-CH₄/gSV-adicionado, respectivamente. Estos valores evidencian el desempeño favorable de RP como sustrato para el proceso de digestión anaerobia, debido a que la materia orgánica representada por SV se convirtió en biogas y metano.

La producción de biogas es superior al valor reportado por Kenasa & Kena, (2019), en donde obtuvieron una producción de biogás de 75 NmL-CH₄/gSV-adicionado. Sin embargo es inferior a las producciones obtenidas por (Spence, Blanco, Patil, & Fernandez, 2019), en donde trabajaron con cascara de plátano, cascara de papa, residuos de cebolla y pepas de palta, reportando producciones de biogás en el rango de 568 a 633 NmL-biogas/gSV-adicionado. Además, en la figura 1 se puede observar una fase de latencia hasta el día 10 y luego un aumento de producción lenta hasta el día 57. Esto podría ser debido al elevado contenido de celulosa y lípidos del RP el cual permite la fase de hidrólisis y limita la producción de metano (Kenasa & Kena, 2019).

Figura 1

Producción acumulada y diaria de metano



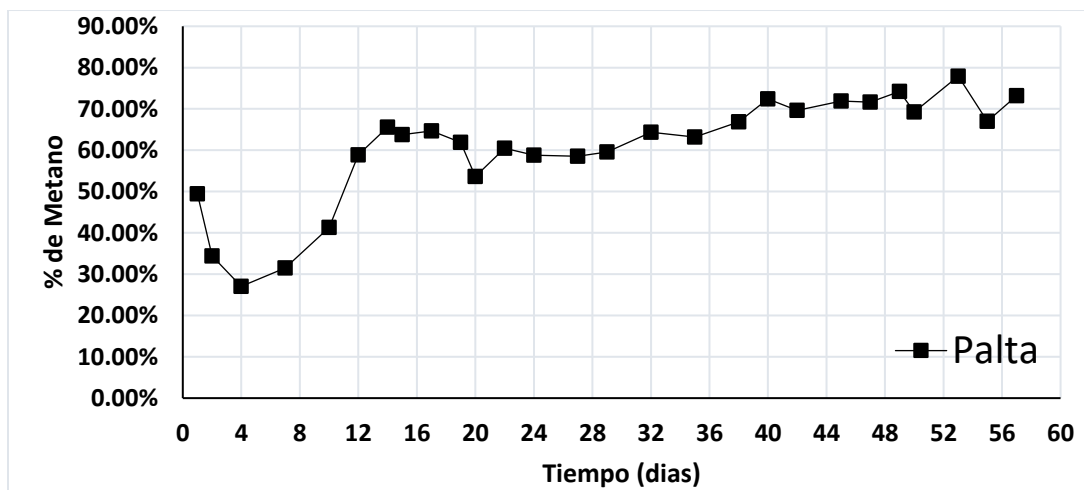
En la figura 2 se muestra el porcentaje de metano (%CH₄) en el biogás. Durante los primeros 10 días, el %CH₄ está por debajo de 50%, esto puede ser debido al elevado contenido de AGV (ver tabla 2) con el que inicia las pruebas PBM. Después del día 10, el %CH₄ se mantiene

en el rango de 53.6% a 77.9%, lo que indica la estabilización del proceso y una mejora significativa en la calidad del biogás producido.

Los resultados indican que el RP tiene una producción de metano no muy adecuada, valor inferior a los rasgos reportados en la literatura (como se mencionó líneas arriba). Sin embargo, el %CH₄ si es elevada, alcanzando un valor promedio de 58 % aproximadamente. Entonces, para mejorar la producción de metano se podría emplear alternativas de tratamiento como la co-digestion, pues así se podría mejorar el ambiente nutricional y biológico para los microorganismos en los biodigestores (Langat, Njogu, & Kamau, 2018). Asimismo, Muller, (2007) recomienda realizar la co-digestion anaerobia de estiércol de animal con residuos con elevado contenido de lignina, celulosa, y hemicelulosa como el RP para optimizar la producción de metano.

Figura 2

Porcentaje de metano en el biogás.



Estabilidad del proceso de digestión anaerobia

En el proceso de DA se necesita considerar variables importantes como el pH, AGV, AT y AGV/AT (Putri, Saputro, & Budiyo, 2012). En la tabla 2 se puede observar la caracterización de las pruebas PBM tanto al inicio (influyente) como al final (efluente) del proceso de DA. 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, Bakkali, Mail, Rodriguez, & Herruzo, 2013). Todo el proceso

de DA ocurre a pH de 7.54 (inicio) y 7.98 (final), por lo tanto, no es necesario realizar un control pues está dentro del rango recomendado de 6 – 8 (Budiyono, Manthia, Amalin, Hawali Abdul Matin, & Sumardiono, 2018).

La concentración de pH es muy influenciada por el contenido de AGV. Si los AGV disminuyen el pH aumentara, este fenómeno ocurre en los resultados mostrados en la tabla 2. El contenido de AGV disminuye de 5340 mg/L (Inicio) a 4500 mg/L (final). Sin embargo, estos valores están muy por encima de lo permitido, que es 2000 mg/L (Mendieta, Madrigal, Castro, Rodriguez, & Escalante, 2020). Es muy probable que esta sea la razón de que la producción de biogás y metano de RP no sea elevada, por lo tanto, si se desea aumentar la producción de biogás y metano se debe plantear una alternativa como la co-digestion. Además, en orden de ayudar a mantener estable el proceso de DA, es necesario mantener una buena capacidad buffer (Budiyono, Manthia, Amalin, Hawali Abdul Matin, & Sumardiono, 2018). Este parámetro esta representado por la relación AGV/AT. En esta investigación, la capacidad buffer mejoro, debido a que al inicio de las pruebas estaba en un valor de 1.04 y al final bajo a 0.83. Según Callagan, Wase, Thayanithy, & Forster, (2002) la relacion 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 produccion de biogas y metano, la relacion AGV/AT es el criterio mas importante para evaluar la estabilidad en el proceso de DA (Li, et al., 2013).

Tabla 2

Caracterización del Influyente y efluente en las pruebas de potencial bioquímico de metano.

Parametros		Unidad	Palta
Ph	Influente	--	7.54
	Efluente	--	7.98
Acidos Grasos Volatiles (AGV)	Influente	mg/L	5340
	Efluente	mg/L	4500
Alcalinidad Total (AT)	Influente	mg/L	5125
	Efluente	mg/L	5450
Capacidad Buffer	Influente	--	1.04
	Efluente	--	0.83
DQO	Influente	g/L	21.20
	Efluente	g/L	17.19
Conductividad Electrica	Influente	mS/cm	6.91
	Efluente	mS/cm	9.53

Para nuestro mejor conocimiento, hay muy pocos estudios reportados en donde utilizaron RP como materia prima para la DA, el cual podría constituir un recurso viable para generar energía renovable debido a que la agroindustria del procesado de palta genera gran cantidad de residuos.

CONCLUSION

La investigación muestra que el residuo de palta es un potencial sustrato para la producción de biogás y metano, 319.2 NmL-biogas/gSV-adicionado y 188.3 NmL-CH₄/gSV-adicionado, respectivamente. Además, se vio que el %CH₄ se encuentra en un valor adecuado (53.6% a 77.9%). Factores químicos como pH, AGV y relación AGV/AT tienen un efecto significativo en el proceso de DA de residuos de palta. Se debe controlar principalmente el contenido de AGV y la relación AGV/AT pues en la presente investigación estaban muy por encima de los valores recomendados, limitando la producción de biogás. Para futuros experimentos, los investigadores podrían hacer pruebas de co-digestion para mejorar la producción de biogás.

Los resultados obtenidos enfatizan aún más la relevancia de optimizar las condiciones operativas y químicas durante el proceso de DA. Un manejo adecuado de los parámetros fisicoquímicos podría permitir maximizar el aprovechamiento energético de los residuos generados por la agroindustria de palta, favoreciendo la generación de biogás y contribuyendo a la disminución del impacto ambiental asociado a la disposición de estos residuos.

REFERENCIAS

- Arhoun, B., Bakkali, A., Mail, R., Rodriguez, J., & Herruzo, G. (2013). *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.
- Hamilton, D. (2016). *OSU Fact Sheet. Anaerobic digestion of animal manures: methane production potential of waste materials*. Obtenido de <https://osufacts.okstate.edu>
- IEA. International Energy Agency. (2017). *Renewables Information: Overview*. Paris: IEA.
- Kenasa, G., & Kena, E. (2019). Optimization of biogas production from avocado fruit peel wastes co-digestion with animal manure collected from juice vending house in Gimbi town, Ethiopia. *Fermentation Technology*.
- Kvacik, B., & Topaloglu, B. (2010). Biogas production from Co-digestion of a mixture of cheese whey and dairy manure. *Departement of environmental Engineering, Turkey*.
- Langat, K., Njogu, P., & Kamau, J. (2018). Biogas energy Potential from Co-digestion of avocado pulp with cow manure in Kaitui location, Kericho Country, Kenya. *International Research journal of innovations in engineering and technology*, 28-34.
- Li, Y., Zhang, R., Chen, C., Liu, G., He, y., & Liu, X. (2013). Biogas production from co-digestion of corn stover and chicken manure under anaerobic wet, hemi-solid, and solid state conditions. *Bioresource Technology*.
- 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*.
- Muller, C. (2007). Anaerobic Digestion of biodegradable solid waste in low and middle income countries. *Overview of existing technologies and relevant case studies*, 4-28.

- Paul, S., Dutta, A., Defersha, F., & Dubey, B. (2018). Municipal food waste to biomethane and biofertilizer: a circular economy concept. *Waste Biomass Valoris*, 601-611.
- Putri, D., Saputro, R., & Budiyo. (2012). *Journal of Renewable Energy Development* , 61-64.
- Rashama, C., Ijoma, G., & Matambo, T. (2020). Appraising different models for predicting biomethane potential: the case of avocado oil processing by-products. *Material Cycles and Waste Management*.
- Sagagi, B., Garba, B., & Usman, N. (2009). Studies on biogas production from fruits and vegetable waste. *Bayero J Pure and Appl Science*, 115-118.
- Spence, A., Blanco, E., Patil, R., & Fernandez, Y. (2019). Evaluation of anaerobic digestibility of energy crops and agricultural by-products. *Bioresource Technology Reports*.
- Van Dyk, J., Gama, R., Morrison, D., Swart, S., & Petschke, B. (2013). Food processing waste: problems, current management and prospects for utilization of the lignocellulose component through enzyme synergistic degradation. *Renewable Sustainability Energy*, 521-531.