

I. Título

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA TECNOLOGÍA DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL TRATAMIENTO DE ESTIÉRCOL ANIMAL EN LA REGIÓN ALTOANDINA

II. Resumen del Proyecto

La región altiplánica de Puno está caracterizada como un espacio estratégico para la crianza de ganados bovino y ovino de producción de carne y leche, cuyas excretas son almacenadas en los alrededores de los establos, expuestos a la intemperie, generando impacto ambiental por la emisión de gases tóxicos como CH₄ y el CO₂, lo que requiere buscar alternativas de uso de esos desechos para la generación de energía útil de uso doméstico a través de tecnologías limpias

El objetivo del presente trabajo es evaluación económica de la producción de biogás y biofertilizante del estiércol animal, mediante aplicación tecnológica de digestión anaerobia en el biodigestor discontinuo, como aprovechamiento energético y analizar la rentabilidad económica de los pobladores de la zona rural en la región altoandina.

III. Palabras claves (keywords):

Biogás, biodigestor discontinuo, biofertilizante, estiércol animal, digestión anaeróbica

IV. Justificación del Proyecto

La Tecnología de Digestión Anaerobia (DA) como tratamiento ecológico de residuos sólidos orgánicos, como aprovechamiento del potencial energético de la biomasa para producir biogás y fertilizante orgánico, resulta atractivo en el mundo como tecnología adecuada y limpia que puede reducir las componentes contaminantes de excreta animal (López et al., 2012), permitiendo eliminar gran parte de la DQO y/o DBO₅ muchas veces en una sola etapa y con las ventajas de que generan cantidades de lodo con mayor grado de mineralización, concentración y fácil deshumidificación y necesitan menores volúmenes de instalación, ahorrando costos de inversión y se puede recuperar el contenido energético en forma de biogás (2016).

El incremento de la demanda mundial del biometano, por ende el número creciente de plantas de biogás, han traído como consecuencia la necesidad de proveer costos competitivos en el suministro de recursos bioenergéticas, enfocados en el tratamiento de la biomasa y aplicación de tecnologías innovativas para la

producción de biogás y abono orgánico(López González et al., 2018)

El estiércol de los animales constituyen desechos contaminantes para el medio ambiente, cuyo aprovechamiento mediante la tecnología de digestión anaerobia, puede constituirse en una alternativa útil para producir energías renovables tales como el biogás y fertilizantes orgánicos para los cultivos (León *et al.*, 2019).

El incremento de producción ganadera, provoca el aumento en la cantidad de residuos fecales en áreas reducidas, generando un impacto negativo sobre los recursos naturales (Beily y Aires, 2020).

La recuperación y la transformación de metano en calor o en electricidad es una necesidad económica y ambientalmente sostenible; así mismo, la excreta de los animales domésticos puede ser transformado en biol y biosol, los mismos que son sustancias orgánicas sin metano que pueden ser utilizados como fertilizantes y la alimentación de otros animales como los peces o patos (Reyes, 2017).

El altiplano de Puno está caracterizado como un espacio estratégico para la crianza de ganado bovino de producción de carne y leche, cuyas excretas son almacenadas en los alrededores de los establos, expuestos a la intemperie, generando impacto ambiental por la emisión de gases tóxicos como CH₄ y el CO₂, lo que requiere buscar alternativas de uso de esos desechos para la generación de energía útil de uso doméstico a través de tecnologías limpias (Bijarchiyan *et al.*, 2020).

La utilización de biodigestores para la fermentación anaerobia de la materia orgánica, ofrece grandes ventajas para el tratamiento de los desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias, que disminuyen la carga contaminante de los mismos, extrayendo gran parte de la energía contenida en la biomasa, mejora su valor fertilizante, controla los malos olores, contribuyendo a la reducción de polución y agregando valor a los excrementos de animales domésticos como ganado vacuno, ovino y porcino (Editors, 2020).

V. Antecedentes

El proceso de digestión anaeróbica de los desechos animales y agrícolas, son alternativas de fuentes de energía limpia y renovable muy prometedoras de red energética para el desarrollo de una sociedad sostenible, donde se obtienen la

bioenergía para convertir en electricidad en una planta de biogás y fertilizantes para ser comercializado (Bijarchiyan *et al.*, 2020).

La tecnología de la digestión anaeróbica motiva para producir biogás de los desechos orgánicos, en sustitución viable de los combustibles fósiles convencionales, con limitación en su potencial para la recuperación de bioenergía, debido a inhibidores como la sobre acidificación inducida por los ácidos grasos volátiles que provoca caída del pH, como inconvenientes más comunes de la digestión anaerobia, conduciendo a la inestabilidad e incluso en algunos casos, al fracaso de todo el proceso (Alavi-Borazjani *et al.*, 2020).

La digestión anaeróbica es una tecnología adecuada para la gestión de residuos pecuarios, reduce el impacto ambiental, que permite producciones sustentables, generando biogás y fertilizantes orgánicos, para los productores pecuarios que podrían cubrir sus necesidades de energía térmica para cocción, agua caliente sanitaria y la demanda de nutrientes del suelo (Av *et al.*, 2020).

La digestión anaeróbica de la biomasa, mediante reacciones bioquímicas genera biogás, que está constituido principalmente por metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), el manejo adecuado de los residuos (biomasa) puede contribuir significativamente a la producción y conversión de distintas formas de energía (Helguero *et al.*, 2018).

La digestión anaeróbica mejora la eficiencia de la producción de energía y otros productos biológicos de alto valor, como una forma importante de recuperación de recursos de la corriente de desechos para una economía sostenible, la conservación del ecosistema y reducir la dependencia de los recursos naturales finitos (Wainaina *et al.*, 2020).

La inhibición del producto y la transferencia de masa son las limitaciones comunes que se encuentran durante la digestión anaerobia de los desechos orgánicos putrescibles en los tres aspectos de hidrólisis, acetogénesis y producción de metano (metanogénesis)(Zhao *et al.*, 2021).

En el proceso de digestión anaerobia en un reactor tipo batch trabajado a 80% de volumen a temperatura mesofílica (35 ± 1°C) durante 21 días consecutivos, se obtuvieron resultados interesantes para evaluar la optimización de la producción de

biogás a partir de tamo de arroz pre tratado, contribuyendo a la prevención y mitigación de impactos ambientales derivados del manejo inadecuada y disposición de los residuos de origen agroindustrial (García *et al.*, 2020).

La producción de biogás mediante la digestión anaeróbica de residuos sólidos orgánicos, es un método alternativo para obtener energía renovable, los parámetros de pH y la temperatura como variables críticas del proceso permiten modificar la dinámica de producción de biogás. El rango de temperatura que favorece el proceso, es el mesofílico comprendido entre los 30 °C a 40 °C; y el pH entre 6,5 y 7,5 (Criollo, 2017).

La implementación de digestores varían significativamente desde domésticos a pequeña escala en países en desarrollo hasta digestores a gran escala en países desarrollados, debido a las implicaciones económicas y ambientales, al estímulo proporcionado por una variedad de políticas e incentivos relacionados con los sistemas agrícolas, la gestión de desechos y la producción de energía renovable (Vasco *et al.*, 2019).

El desarrollo del proceso de digestión anaeróbica y su facilidad de condiciones de operación de carbono orgánico complejo, convierten altamente deseable para cumplir con una tecnología de energía verde sostenible. Aunque, su efectividad del método a menudo presentan problemas, como la inhibición de amoníaco, la producción deficiente de metano, las tasas de crecimiento de microbios lentas y la transferencia de masa lenta que necesita rectificación (Jadhava *et al.*, 2021)

La digestión anaeróbica es uno de los procesos biológicos más utilizados para convertir materia orgánica en biogás, la eficiencia del proceso se puede mejorar aplicando un pretratamiento de la materia difícilmente degradable que contienen las microalgas, aunque dicho pretratamiento no puede remediar los problemas de inhibición relacionados con el alto contenido de proteínas, metales pesados o polifenoles en las microalgas, por lo que es recomendable la codigestión como una alternativa interesante que conduce a una alta producción de metano(Elalami *et al.*, 2021)

VI. Hipótesis

Hipótesis General

La digestión anaerobia del estiércol animal posibilitará producción de biogás, biofertilizante y mejorar la rentabilidad económica de los pobladores de la zona rural en la región altoandina.

Hipótesis Específica

- La tecnología de digestión anaerobia para el tratamiento del estiércol animal mediante biodigestor sistema discontinuo, a temperatura mesofílica permitirá la obtención de potencial de biogás.
- La producción de biogás y fertilizante orgánico del estiércol animal, constituirá el aprovechamiento energético renovable y valor agregado de los desechos orgánicos en la región altoandina.
- El uso del biogás como energía renovable mejorará la rentabilidad económica de los habitantes en la zona rural altoandina.

VII. objetivos de la investigación

Objetivo General

Evaluar la producción de biogás y biofertilizante del estiércol animal, mediante la digestión anaerobia en el biodigestor discontinuo, como aprovechamiento energético y rentabilidad económica de los pobladores de la zona rural en la región altoandina.

VIII. Objetivos Específicos

- Evaluar la producción de biogás del estiércol animal, mediante la digestión anaerobia mesofílica como aprovechamiento energético renovable.
- Determinar los parámetros fundamentales que influyen en la producción de biogás del estiércol de ganado ovino y vacuno mediante el biodigestor discontinuo.
- Analizar los beneficios ambiental y económico de los pobladores de la zona con la tecnología de digestión anaerobia con desarrollo sostenible.

IX. Metodología de investigación

El trabajo de investigación es de tipo experimental, la metodología utilizada será la digestión anaerobia del estiércol de ganados ovino y vacuno mezclado con agua de manantial no tratada, en un biodigestor discontinuo, colocado dentro de un invernadero adecuadamente acondicionado con materiales de aisladores térmicos para la estabilización de la temperatura y pH neutro.

9.1 Identificación de variables.

Operacionalización de variables

Variable	Indicador	Unidad de medida
Variable Independiente (VI) Digestión anaeróbia	Excreta vacuno y ovino	(kg)
Variable Dependiente (VD) Producción de biogás y abono orgánico	- Cantidad de biogás - Cantidad de biol y biosol - Valorización económica del biogás y biofertilizante.	(ml) o m^3

9.2.Ámbito de estudio

Para realizar el presente trabajo de investigación se escogió la Localidad de Chacarilla Alta, que se encuentra al oeste de la ciudad de Puno, a una altitud aproximadamente de 3848 m.s.n.m., ubicadas entre las coordenadas 17°50'15" de latitud sur y los 70°01'18" de longitud oeste del meridiano de Greenwich, temperatura que varía desde 2°C bajo cero hasta 21°C al medio día, radiación solar de intensidad próximo a 20000 W/m², donde se dispone de estiércol de ganado ovino y vacuno que están generando impacto ambiental, al mismo tiempo constituyen en materia orgánica para el aprovechamiento energético como biofertilizantes y biogás.

9.3. Materiales, equipos e instrumentos

Materiales	Equipos	Instrumentos
Estiércol de ovino y vacuno, Depósito cilíndrico de polietileno, Plásticos, Tubos	Biodigestor discontinuo	sistema Gasómetro, termómetros, Balanza electrónica, pH-metro

PVC, Accesorios PVC, y otros.	Cámara filmadora portátil.	fotográfica y computadora laboratorio e Interfase Spark.	o y equipos de
-------------------------------	----------------------------------	---	----------------------

9.4. Procedimientos o métodos experimentales

La metodología empleada para el presente investigación se adapta a la metodología utilizada en el trabajo de investigación “Characterization of Biogas Produced from Rice Husks and Algae using a Metal Fixed-Dome Biodigester” (Ezekoye, et al, 2014), se recolectarán estiércoles de ganados ovino y vacuno, el para luego someter a la digestión anaerobia.

Para la realización del trabajo de investigación se utilizarán un biodigestor sistema discontinuo, cilíndrico de polietileno de 50 L de volumen, con sus accesorios adecuados para la digestión anaerobia de la materia orgánica. Además, se cuenta con sistema de agitación mecánico que permitirá el contacto continuo de los microorganismos con los sustratos.

Los parámetros a medir serán: pH, temperatura, volumen del gas generado, utilizando el equipo SPARK con sensores PASPORT con software SPARKvue y balanzas electrónicas.

9.5. Planificación de la experimentación

9.5.1. Plan de recolección de datos

Tabla 5: Cantidad de residuos en el biodigestor

Nº Biodigestor	% estiércol animal	% Mezcla
Biodigestor sistema discontinuo	100 vacuno ó ovino	25 de excreta y 75 agua manantial

Tabla 6: temperatura y pH durante el experimento

[illegible]

9.5.2. Diseño de análisis e interpretación de datos

Para el análisis e interpretación de resultados, se utilizará el equipo SPARK con sus sensores PASPORT, laboratorio de análisis bioquímico, presentados en cuadros estadísticos, el software SPARKvue y DATA STUDIO.

X. Referencias

- Alavi-Borazjani, S. A., Capela, I., & Tarelho, L. A. C. (2020). Over-acidification control strategies for enhanced biogas production from anaerobic digestion: A review. *Biomass and Bioenergy*, 143(June), 105833. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105833>
- Av, A., Francisco, C. S., Nacional, C., & Cient, I. (2020). *MEDIANTE DIGESTIÓN ANAERÓBICA EN UN VALLE NORPATAGÓNICO*. 24, 280–287.
- Beily, M. E., & Aires, B. (2020). *EVALUATION OF THE MESOFILIC ANAEROBIC PROCESS OF A DAIRLY SLURRY CO DIGESTION WITH GLICEROL IN A CONTINUOUS PROCESS*. 45(2018), 33–38.
- Bijarchiyan, M., Sahebi, H., & Mirzamohammadi, S. (2020). A sustainable biomass network design model for bioenergy production by anaerobic digestion technology: Using agricultural residues and livestock manure. *Energy, Sustainability and Society*, 10(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s13705-020-00252-7>
- Criollo Brayhan, A. J. D. y N. H. (2017). Control Pid De Temperatura Y Dosificación De Ph Para La Producción De Gas Metano a Partir De La Digestión Anaeróbica De Residuos Sólidos Orgánicos. *Revista Colombiana De Tecnologías De Avanzada (Rcta)*, 2(24). <https://doi.org/10.24054/16927257.v24.n24.2014.2339>
- Editors, M. S. M. (2020). *Village Technology* (Issue February). <https://doi.org/10.1007/978-3-030-37794-6>
- Elalami, D., Oukarroum, A., & Barakat, A. (2021). Anaerobic digestion and agronomic applications of microalgae for its sustainable valorization. *RSC Advances*, 11(43), 26444–26462. <https://doi.org/10.1039/d1ra04845g>
- García, A., Rojas, D., Mosquera, J., Becerra, A. P., Acevedo, P., & Cabeza, I. (2020). Evaluación de la producción de biogás a partir de la digestión anaeróbica de tamos de arroz pre-tratado. *Encuentro Internacional de Educación En Ingeniería*. <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/806>
- Helguero, A., Lautaro, G., Peña, B., & Hernani, G. (2018). Obtención de biogás mediante la fermentación anaerobia de estiércol. *Revista Estudiantil AGRO-VET*,

2(2), 185–191.

- Jadhava, P., Muhammad, N., Bhuyar, P., Krishnan, S., Razak, A. S. A., Zularisam, A. W., & Nasrullah, M. (2021). A review on the impact of conductive nanoparticles (CNPs) in anaerobic digestion: Applications and limitations. *Environmental Technology and Innovation*, 23, 101526. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101526>
- Juliana Vasco-Correa, Sami Khanal, Ashish Manandhar, A. S. (2019). Anaerobic digestion for bioenergy production: global status, environmental and techno_economic implications, and government policie. *Reseachgate*, 509, 1–21.
- León Torres, C. A., Nomberto Rodríguez, C., Mendoza Avalos, G. A., Bardales Vásquez, C. B., Cabos Sánchez, J., & Barrena Gurbillón, M. A. (2019). Diseño e implementación de una planta piloto de producción de Biogás, *Biol y Biosol. Arnaldoa*, 26(3), 1017–1032. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26311>
- López, D. E., Jiménez, J., Romero, C., Romero, O., & Dewulf, C. J. (2012). Agroindustriales Utilizando Inóculo De Estiércol Application of the Anaerobic Digestion Technology To Treat Solid Agroindustrial Waste Using Porcine Stretch. *Tecnología Química*, 32(3), 274–281. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852012000300011&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- López González, L. M., Pereda Reyes, I., Escobar Román, R., Pedraza Garciga, J., & Romero Romero, O. (2018). Efecto de la aplicación de métodos de pre-tratamientos en el proceso de digestión anaerobia de la biomasa lignocelulósica TT - Effect of the application of pre-treatment methods in the anaerobic digestion process of the lignocellulosic biomass. *Tecnología Química*, 38(2), 324–334. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000200010&lang=es%0Ahttp://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n2/rtq10218.pdf
- Reyes, E. (2017). Generacion de biogas mediante el proceso de digestion anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustrato organico. *Farem*, 17(5), 11–22.
- Ruiz, Isabel; Álvarez Juan; Soto, M. (2016). El Potencial De La Digestión Anaerobia En El Tratamiento De Aguas Residuales Urbanas Y Efluentes De Baja Carga Orgánica. *ResearchGate*, November, 1–12.
- Wainaina, S., Awasthi, M. K., Sarsaiya, S., Chen, H., Singh, E., Kumar, A., Ravindran, B., Awasthi, S. K., Liu, T., Duan, Y., Kumar, S., Zhang, Z., & Taherzadeh, M. J. (2020). Resource recovery and circular economy from organic solid waste using aerobic and anaerobic digestion technologies. *Bioresource Technology*,

301(January), 122778. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122778>
Zhao, D., Yan, B., Liu, C., Yao, B., Luo, L., Yang, Y., Liu, L., Wu, F., & Zhou, Y.
(2021). Mitigation of acidogenic product inhibition and elevated mass transfer by
biochar during anaerobic digestion of food waste. *Bioresource Technology*,
338(July), 125531. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125531>

XI. Uso de los resultados y contribuciones del proyecto

Los resultados se utilizarán como guía referente en el tratamiento de materia
orgánica, mediante tecnología de digestión anaerobia para obtención de biogás y
biofertilizante, que contribuirán en el aprovechamiento energético y la mitigación
del calentamiento global por emanación de gases de CO₂ y CH₄, mejorando la
economía del poblador dedicado a la actividad agropecuaria en la región altoandina

XII. Impactos esperados

i. Impactos en Ciencia y Tecnología

Generación de energía renovable y limpia, mediante la tecnológica de digestión
anaerobia de estiércol animal.

ii. Impactos económicos

Uso de biogás generará la sustitución de GLP para la cocción de alimentos y
abono orgánico para la agricultura sustituyendo la compra de fertilizantes
sintéticos que deterioran la tierra de cultivo.

iii. Impactos sociales

El uso de biogás y biofertilizante, mejorará la economía y la calidad de vida de
los propietarios de ganados ovino y vacuno en la región altoandina.

iv. Impactos ambientales

Mitiga el calentamiento global por emanación de gases de CO₂ y metano, y evita
los malos olores en que genera estiércol de ganado almacenados en los establos.

XIII. Recursos necesarios

Estiércol de ganado ovino y vacuno disponible, en una cantidad de 10 kg por día,
biodigestor sistema discontinuo, invernadero construido, sensores de temperatura y
pH, software data estudio para procesamiento de datos, internet, artículos de revista
científicas.

XIV. Localización del proyecto.

Para realizar el presente trabajo de investigación se llevará a cabo en la localidad de Chacarilla Alta, que se encuentra al oeste de la ciudad de Puno, a una altitud aproximadamente de 3848 m.s.n.m., ubicadas entre las coordenadas 17°50'15" de latitud sur y los 70°01'18" de longitud oeste del meridiano de Greenwich, temperatura que varía desde 2°C bajo cero hasta 21°C al medio día, radiación solar de intensidad próximo a 2000 W/m², se cuenta ganado ovino y vacuno como actividad primordial del poblador, cuyas excretas no son tratadas para el aprovechamiento energético como biofertilizantes y biogás.

XV. Cronograma de actividades

Actividad	2023 - 2024											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Búsqueda de información	X	X										
Procesamiento de la información			X	X								
Desarrollo teórico					X	X						
Experimentación						X	X	X				
Procesamiento de datos									X	X		
Redacción del artículo final											X	X

XVI. Presupuesto

Descripción	Unidad de medida	Costo Unitario (S/.)	Cantidad	Costo total (S/.)
Bidón de polietileno 70 L	volumen	150,00	02	300,00
Sensor de temperatura	Unidades	120,00	06	720,00
Sensor pH	04	400,00	04	1600,00
Madera	Lintón	25	20	500,00
Tecnoport	barras	30,00	05	150,00
Plástico agrotileno	metros	40,00	05	200,00
otros				1400,00
Total				4870,00