


Comparación del Potencial de Biogás: Eficiencia de la Monofermentación de Excretas Vacunas, Porcinas y Avícolas

Comparison of Biogas Potential: Efficiency of Monofermentation of cattle, Swine, and Poultry Manure

 Carlos M. Martínez-Hernández*

Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Carretera a Camajuani km 5.5.
CP: 54830. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. Tel: 53-42-281692. Fax: 53-42-281608.

*Autor para correspondencia: Carlos M. Martínez-Hernández, e-mail: carlosmh@uclv.edu.cu

RESUMEN: La escasez de combustibles fósiles en Cuba impulsa la búsqueda de fuentes de energía renovable. Este estudio evaluó el potencial de biogás de excretas vacunas, porcinas y avícolas como biomasa para pirolisis. Se analizó la biodigestión de las excretas en jeringas de 100 mL, inoculadas con 6 mL de inóculo porcino a 30 mL de cada excreta. Los resultados mostraron que la excreta vacuna presentó el mayor potencial de biogás (1457,15 L_N/kg_{FM}), seguida por la porcina (906,23 L_N/kg_{FM}) y la avícola (131,09 L_N/kg_{FM}). Se concluye que la excreta vacuna presenta el mayor potencial para la producción de biogás. Se observó una evolución similar del pH en las tres excretas valoradas

Palabras clave: digestión anaeróbica, producción de biogás, rendimiento de metano.

ABSTRACT: The scarcity of fossil fuels in Cuba is driving the search for renewable energy sources. This study evaluated the biogas potential of cattle, pig, and poultry manure as biomass for pyrolysis. Manure biodigestion was analyzed in 100 mL syringes, inoculated with 6 mL of pig inoculum at 30 mL of each manure. The results showed that cattle manure presented the highest biogas potential (1457.15 L_N/kg_{FM}), followed by pig manure (906.23 L_N/kg_{FM}) and poultry manure (131.09 L_N/kg_{FM}). It is concluded that cattle manure presents the greatest potential for biogas production. The pH evolution was similar across the three types of manure evaluated.

Keywords: Anaerobic Digestion, Biogas Production, Methane Yield.

INTRODUCCIÓN

La producción de energía renovable es crucial para Cuba debido a la escasez de combustibles fósiles. A pesar de las inversiones en energía fotovoltaica y eólica, el potencial de la biomasa, especialmente a partir de residuos agroindustriales, sigue subutilizado. Existe una falta de información sobre el potencial de diferentes tipos de excretas animales para la producción de biogás en Cuba. Con estos antecedentes, sería importante profundizar en el conocimiento y experiencias acerca de las posibilidades del empleo de estos sustratos a nivel de país para la producción de energía.

De acuerdo con AINIA (2008) para conocer el potencial máximo de biogás de un residuo o mezcla de residuos se utiliza el procedimiento descrito en la norma VDI 4630. Cada residuo orgánico tiene un potencial específico, y existen diferencias notables según su composición. Las diferencias pueden darse dentro de una misma familia de residuos. El potencial máximo de producción de biogás de un residuo orgánico, se determina experimentalmente, mediante un ensayo discontinuo (o batch) a escala de laboratorio, donde el material se biodegrada completamente, en condiciones anaerobias controladas. Algunos de los residuos orgánicos

agroindustriales son los siguientes: residuos agrícolas de cooperativas (excedentes, baja calidad, etc.); residuos ganaderos (purines de cerdo, estiércol de vacuno, gallinaza, etc.); residuos alimentarios de origen animal (mataderos e industrias cárnicas, residuos de las industrias lácteas, pescado y restos de la transformación de productos de mar, etc.); residuos alimentarios de origen vegetal (excedentes y destríos de la producción hortofrutícola, bagazos de la industria de zumos, restos procedentes de conserveras, aceites usados, vinazas, etc.); lodos grasos de depuradora industrial alimentaria; residuos de la distribución alimentaria (caducado, devuelto o fuera de especificaciones); residuos de las plantas de biocombustibles (glicerina y otros procedentes de plantas de bioetanol o biodiesel). Las ventajas son: conocer el potencial máximo real de biogás de un sustrato concreto; realizar el ensayo específico, para valorar su posible uso en plantas industriales, comparar los resultados obtenidos con los existentes, publicados. La composición de los sustratos, es el factor principal para determinar el rendimiento y potencial de metano. Las fuentes bibliográficas reportan que las diferencias en la cinética, potencial y rendimiento de metano están en dependencia del tipo de sustrato utilizado (Forster-Carneiro et al, 2012).

Recibido: 19/04/2025

Aceptado: 10/10/2025

El autor declara que no existen conflictos de interés.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Los métodos de pre tratamientos de los sustratos tienen como objeto el mejorar las cualidades de digestión anaeróbica de estos, al alterar sus propiedades físicas, químicas y biológicas, optimizar la disponibilidad de los componentes de los sustratos, para incrementar el proceso de hidrólisis en la digestión anaerobia. Existen diferentes tipos de pre-tratamientos utilizados en los sustratos, se pueden clasificar en **básicos** y **especiales**. Dentro de los **básicos**, están aquellos que tienen la finalidad en disminuir el tamaño de las partículas (tritución, molinado, tamizado). Dentro de los **especiales** se mencionan (tratamientos térmicos, químicos, utilización de ultrasonido, radiación por microondas y los biológicos (utilización de enzimas, hongos y bacterias).

Los pre tratamientos (básicos y especiales) muestran ciertas particularidades tales como: incremento de los costos de manipulación, incremento de los requisitos legislativos, para la estabilización y remoción de posibles patógenos, tendencia al manejo de menores límites de nitrógeno, lo que permite el manejo de la edad de estos sustratos, y el decrecimiento de la biodegradabilidad de sustratos activados (Zhong *et al.*, 2011). Sin embargo, se hace necesario un análisis del pre- tratamiento a utilizar en dependencia del tipo, actuación y costos.

La utilización de diferentes pre-tratamientos a sustratos agrícolas y animales ha sido reportada en la literatura por diversos autores como: Kurakake *et al.* (2007); Taherzadeh y Karimi (2008); Vintiloiu *et al.* (2009); Brulé (2014); (Martínez *et al.*, 2014); Martínez *et al.* (2015); Martínez y García (2016). Esta investigación tuvo su génesis en una propuesta de proyecto presentada en Rusia y Cuba simultáneamente, por los respectivos Ministerios de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, sus objetivos planificados: la pirolisis de biomásas de origen cubano, y su evaluación respecto al potencial de generación de metano. De aquí el interés de evaluar los sustratos vacunos, porcinos y avícolas (excretas) en mono fermentación, para evaluar su potencial de generación de biogás.

La producción de biogás a partir de excrementos, varía entre vacunos, porcinos y avícolas, debido a la composición y cantidad de estiércol. En los vacunos la producción diaria de excretas oscila entre 30 y 79 kg diarios. En porcinos esta alrededor de los 3,5 kg diarios, mientras que en avícolas tanto la generación de excretas como la producción de biogás es inferior por animal, y los biodigestores deben ser previamente adaptados para este tipo de desecho. En resumen, el estiércol vacuno tiene el mayor potencial de producción de biogás, por la mayor cantidad de estiércol y contenido de materia orgánica; el porcino produce menos cantidad, pero con buena eficiencia relativa; y el avícola aporta biogás, pero en menor escala por menor materia y volumen de desechos. El manejo óptimo y mezcla (codigestión) influye mucho en la producción final y eficiencia del biogás de cada tipo de estiércol. En resumen, la literatura sobre el tema expresa el rendimiento de metano y biogás en diferentes unidades tales como: $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{kg VS}^*$; $\text{mL CH}_4/\text{kg VS}$; $\text{mL CH}_4/\text{g VS}$; $\text{L}_\text{N}/\text{kg}_{\text{FM}}$;

$\text{L}_\text{N}/\text{kg}_{\text{oTS}}$. Algunos ejemplos de estos valores en excretas de origen animal se muestran a continuación: vacunos ($0,15\text{-}0,23 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{kg VS}$); porcinos ($0,10\text{-}0,40 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{kg VS}$); avícolas ($127\text{-}288 \text{ mL CH}_4/\text{g VS}$). La producción de energía renovable es crucial para Cuba debido a la escasez de combustibles fósiles. A pesar de las inversiones en energía fotovoltaica y eólica, el potencial de la biomasa, especialmente a partir de residuos agroindustriales, sigue subutilizado. Existe una falta de información sobre el potencial de diferentes tipos de excretas animales para la producción de biogás en Cuba. Este estudio tiene como objetivo evaluar el potencial de biogás de excretas vacunas, porcinas y avícolas para su uso futuro en pirolisis en Cuba.

$$\text{VS}^* = \text{oTS} - \text{solidos volátiles}$$

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas entre marzo y abril de 2025. Las muestras de excretas (vacunas, porcinas y avícolas) fueron recolectadas en dos instalaciones pecuarias de cada tipo, ubicadas en cuatro municipios de la provincia de Villa Clara. A razón de dos instalaciones avícolas (Ranchuelo (Platinical) y Santa Clara (Yacusey), dos instalaciones porcinas (Manicaragua (El negrito) y Remedio Buena Vista) y dos instalaciones vacunas (Remedio (CPA 26 de Julio) y (Buena Vista), Cuba. El protocolo de ensayo aplicado se basó en la norma VDI 4630. Esta norma es empleada frecuentemente en otros países europeos. Su aplicación facilita la comparación con resultados previos realizados, sobre el mismo sustrato o similares. El ensayo también permite evidenciar problemas de fermentación, debidos a sustancias inhibidoras presentes de forma natural en el residuo (ej. polifenoles) o incorporados al mismo durante su generación (ej. pesticidas u otras sustancias xenobióticas). También incompatibilidades entre residuos de una mezcla: Mediante la norma VDI 4630 se pueden obtener los resultados siguientes: Composición del residuo o mezcla de residuos: humedad, relación C/N, tóxicos, etc. (según necesidad); tasa de biodegradabilidad; potencial máximo de biogás (litros de biogás/kg VS); composición del biogás (CH_4 , CO_2 , H_2S).

Para la toma de las muestras se utilizaron recipientes esterilizados de 1,5 l de capacidad. Fueron recolectadas en la parte inicial, central y final de las instalaciones analizadas, a nivel del suelo y equidistante 10 metros entre cada una. Las muestras fueron homogenizadas y guardadas en refrigeración en el laboratorio de Bromatología para su posterior análisis. Los sustratos se caracterizaron de acuerdo con la norma VDI (2006), en el laboratorio de Bromatología de nuestra Universidad siguiendo el protocolo que establece la norma VDI (2006). Se determinó en cada sustrato: materia fresca, materia seca, ceniza y porcentaje de humedad por triplicado. A partir de un software alemán especializado en el cálculo de sustratos denominado EinwageBatch (Versión 1), se determinó:

la cantidad de material a digerir o colocar por sustrato e inóculo y la cantidad de agua a añadir a cada sustrato para cumplimentar la razón (excretas/agua) necesarios para su fermentación en las jeringas experimentales, las cuales actúan como biodigestores a escala reducida. Para su montaje en las jeringas, los sustratos se homogenizaron, se filtraron y se colocaron en las respectivas jeringas experimentales por tratamientos y replicas. Utilizando esta metodología se determinó el potencial de biogás generado por tratamiento y sus respectivas replicas; se obtuvo 35 valores de cada uno. En los resultados obtenidos se determinó: la media, la desviación típica y el coeficiente de variación. En [Martínez et al. \(2014\)](#) se describe esta metodología, la cual se conoce a nivel internacional como Hohenheim Yield Test (HBT).

A las muestras experimentales no se le aplicó ningún pre-tratamiento. Los sustratos vacunos y avícolas se le añadieron inóculo porcino (6 mL de efluente porcino de un biodigestor), motivado por su mayor disponibilidad. Los sustratos porcinos fueron evaluados como control. A continuación, los sustratos fueron introducidos en jeringas experimentales de 100 mL de capacidad. El experimento tuvo una duración de 35 días, para observar el comportamiento de la digestión anaerobia durante este ciclo. Las jeringas experimentales, se colocaron en un aditamento denominado Hohenheim Yield Test (HBT), a razón de tres réplicas por sustrato evaluado en condiciones de campo; así como una réplica en contenedor plástico (pomo plástico), con el objeto de investigar la evolución del pH en el proceso de digestión anaerobia en condiciones de campo. Fueron objeto de estudio los siguientes parámetros:

- Contenido en humedad y materia seca según la norma [NC 74-22:85 \(1985\)](#);
- Contenido de cenizas de acuerdo con la norma [NC 74-30: 85 \(1985\)](#);
- Determinación de la relación carbono/nitrógeno
- Evolución del pH en la biodigestión;
- Evaluación del rendimiento específico de biogás.
- Tasa de biodegradabilidad;
- Potencial máximo de biogás (L/kg VS).

Los rendimientos de biogás por sustratos investigados fueron obtenidos a partir de finalizado el ciclo de biodigestión y partiendo de la introducción de las mediciones o lecturas del volumen de biogás producido en cada tratamiento y sus respectivas replicas en un software denominado Gärtest nach VDI 4630; el cual permitió graficar los resultados, determinar la media, la desviación típica y el coeficiente de variación de los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La [Figura 1](#) muestra el rendimiento específico de biogás de los sustratos vacuno y avícola. El sustrato vacuno presentó un rendimiento significativamente mayor ($1457,15 \text{ L}_N/\text{kg}_{\text{FM}}$) que el sustrato avícola ($131,09 \text{ L}_N/\text{kg}_{\text{FM}}$) ($p < 0,05$). Esta diferencia podría deberse a factores tales como: la relación carbono/nitrógeno (C/N), el cual en cada

uno de los sustratos valorados presenta diferencias notables. Por ejemplo, en excretas vacunas (16:1 hasta 25:1); en excretas porcinas (10:1 hasta 16:1); en excretas avícola (6:1 hasta 7:1). Esta relación puede variar en función de la dieta del animal y del tipo de excretas (sólida o líquida). Por otra parte, se plantea que la relación ideal para el proceso de la digestión anaerobia de sustratos es 20:1 a 30:1, una alta relación C/N ralentiza la descomposición de los sustratos por falta de nitrógeno, lo que limita la producción de biogás; mientras que una baja relación puede provocar pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco, que es tóxico para las bacterias que producen metano y puede inhibir su actividad. Teniendo en cuenta este indicador, se pudo apreciar que el sustrato que más se acerca al indicador ideal fue el compuesto por excreta vacuna, lo cual se reflejó en el rendimiento obtenido con este sustrato. También pudo apreciarse que la producción de biogás en las diferentes réplicas presentó caídas en su potencial durante el ciclo de biodigestión, lo cual corresponde con un comportamiento del tipo *diauxia*. Estos resultados coinciden parcialmente con los de [Barreda et al. \(2022\)](#), quienes también encontraron un mayor rendimiento de biogás en excretas vacunas, pero difieren de los de [Martínez et al. \(2014\)](#), quienes utilizaron pre-tratamientos en los sustratos evaluados en co-fermentación. Por tal motivo, aunque esta investigación aporta nuevos conocimientos, sería prudente no considerarlos conclusivos.

En la [Figura 2](#) se observa la evolución del rendimiento específico de la producción de biogás de los sustratos (avícola y porcino). Se pudo observar que existen diferencias notables entre estos dos sustratos. En este caso, el mejor comportamiento se presentó con el sustrato porcino ($906,23 \text{ L}_N/\text{kg}_{\text{FM}}$), presentando el sustrato avícola un bajo rendimiento en la producción de biogás ($131,09 \text{ L}_N/\text{kg}_{\text{FM}}$). Tanto en la [fig.1](#) como en la [fig.2](#), el comportamiento de las curvas que describen la producción de biogás fue del tipo *diauxia*, lo que explica una producción no uniforme durante el ciclo de biodigestión (caídas en la producción) de acuerdo con la norma VDI 4630. Según estos resultados, sería pertinente continuar el estudio de estos sustratos como candidatos a ser utilizados en pre-tratamientos especiales (pirolisis) para explorar su potencial de metano bajo estas nuevas condiciones.

En la [Tabla 1](#), se presentan los resultados obtenidos con los sustratos valorados.

Del análisis de la [Tabla 1](#), se pudo observar el comportamiento de la producción de biogás, con respecto a la masa fresca ($\text{L}_N/\text{kg}_{\text{FM}}$) y con respecto a los sólidos volátiles ($\text{L}_N/\text{kg}_{\text{TS}}$). También se obtuvo la media del rendimiento específico de biogás ($\text{L}_N/\text{kg}_{\text{FM}}$) y Coeficiente de variación (%) de los diferentes tratamientos y sus réplicas. En la misma se destaca la gran variabilidad entre las réplicas de los diferentes tratamientos, destacándose el sustrato avícola con la mayor variabilidad (41%), seguido del sustrato vacuno (31%) y finalizando con el sustrato porcino (24%). Esto resultó interesante y pudiera ser objeto de investigaciones futuras.

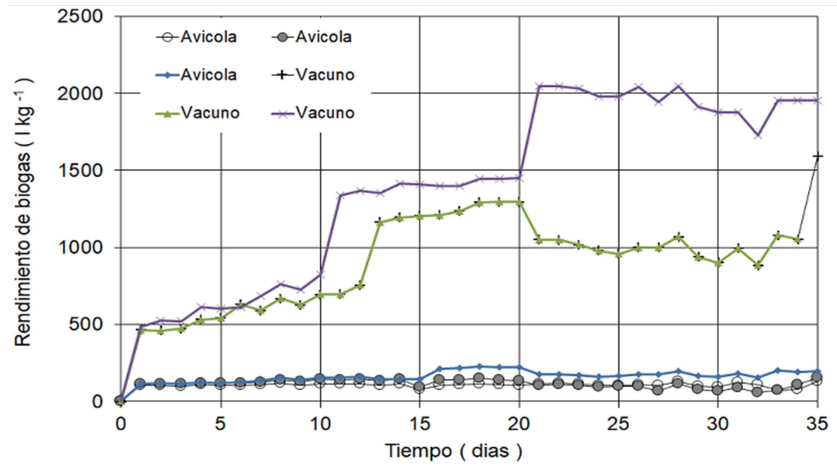


Figura 1. Valores del rendimiento específico de biogás promedio de los sustratos vacunos y avícola utilizando inóculo porcino a escala de jeringas.

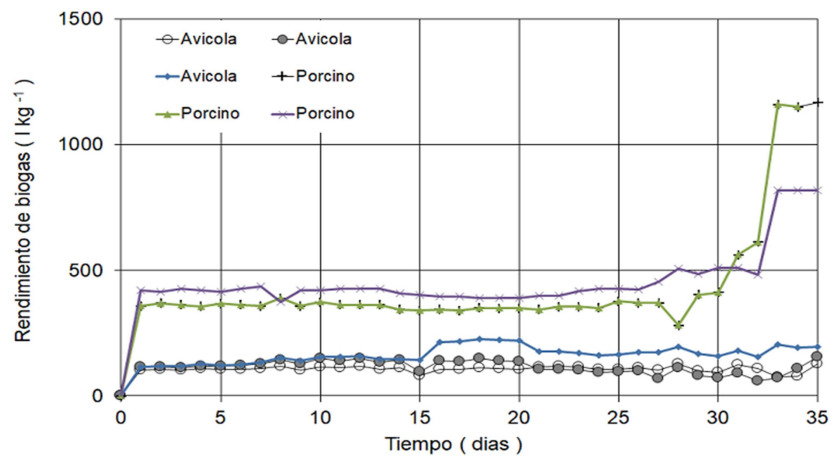


Figura 2. Valores del rendimiento específico de biogás promedio de los sustratos porcinos y avícola utilizando inóculo porcino a escala de jeringas.

Tabla 1. Rendimiento específico de biogás por sustrato evaluado

Sustratos evaluados	Rendimiento de biogás (L_N/kg_{FM})*	Rendimiento de Biogás (L_N/kg_{TS})**	Media rendimiento específico de biogás (L_N/kg_{FM})	Coefficiente de variación (%)
Sustrato porcino. a	179,76	1150,19	906,23	24
Sustrato porcino. b	128,07	819,48		
Sustrato porcino. c	117,06	749,02		
Sustrato avícola. a	58,70	92,70	131,09	41
Sustrato avícola. b	68,61	108,35		
Sustrato avícola. c	121,7	192,2		
Sustrato vacuno. a	164,52	1052,68	1457,15	31
Sustrato vacuno. b	305,43	1954,32		
Sustrato vacuno. c	213,24	1364,45		

* L_N/kg_{FM} -litros normalizados de biogás por kg de materia fresca; ** L_N/kg_{TS} -litros normalizados de biogás por kg de sólidos totales orgánicos.

Con respecto a la evolución del pH, en la **Figura 3** se muestran los resultados obtenidos.

En las biomásas evaluadas (sustratos porcino, avícola y vacuno). Se pudo apreciar diferencias entre los sustratos valorados, sin embargo, todos los sustratos al terminar el ciclo de biodigestión, presentaron valores de pH por

encima de 7. Mostrando la acción favorable del inóculo porcino, el cual garantiza un efecto buffer o tampón que permite mantener condiciones adecuadas para una buena actividad degradadora de los sustratos en los rangos de pH (entre 6 y 8), lo cual concuerda con lo planteado por **Vintiloiu et al. (2009)**.

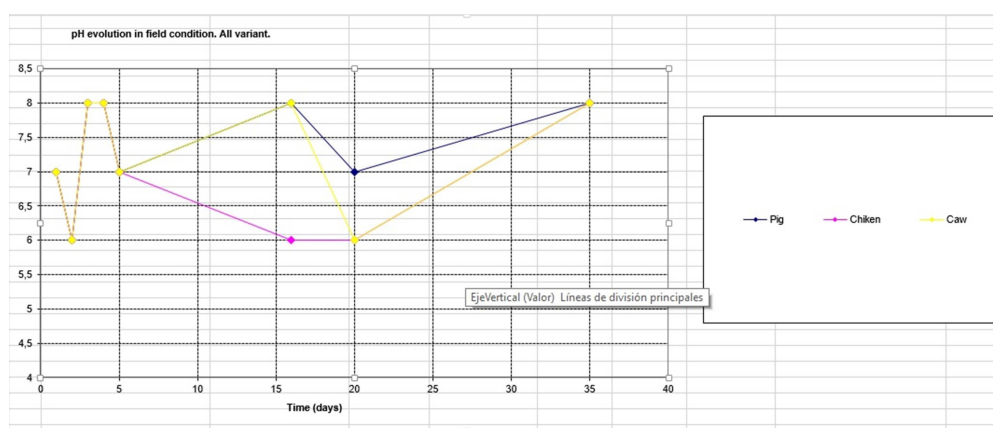


Figura 3. Evolución del pH en los sustratos valorados durante el ciclo de biodigestión.

CONCLUSIONES

- El sustrato vacuno presentó el mayor rendimiento de biogás (1457,15 L/kg_{FM}), seguido del porcino (906,23 L/kg_{FM}) y el avícola (131,09 L/kg_{FM}), lo que sugiere que la excreta vacuna es la biomasa más prometedora para la producción de biogás en las condiciones evaluadas.
- El bajo rendimiento del sustrato avícola relación" C/N: 6/1, sugiere la presencia de inhibidores de la digestión anaeróbica, lo que requiere investigaciones adicionales.
- Se recomienda investigar la causa de la variabilidad observada entre las réplicas.
- Este estudio se limitó a la evaluación de excretas en monofermentación; futuras investigaciones podrían explorar la codigestión de diferentes tipos de excretas y el uso de pre-tratamientos para mejorar el rendimiento de biogás
- La evolución del pH en los sustratos evaluados se comportó de forma similar en todos los casos, estando dentro del rango óptimo de biodigestión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AINIA: *Ensayo de potencial de biogás*, [en línea], Asistencia Tecnológica, 2008, Disponible en: <https://www.ainia.com>.
- BARREDA, J.E.; ANCCO, M.R.; NÚÑEZ, A.D.; AGUIRRE, C.E.; TEJADA, K.; PACHECO PACHECO, G.M.: "Co-Digestión de tres tipos de estiércol (Vaca, Cuy y Cerdo) para obtener biogás en el sur del Perú", *Revista de investigaciones altoandinas*, 24(3): 174-181, 2022, ISSN: 2313-2957.
- BRULÉ, M.: *The effect of enzyme additives on the anaerobic digestion of energy crops*, [en línea], Institut für Agrartechnik, Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie, Fakultät Agrarwissenschaften, PhD. Thesis, Universität Hohenheim, Germany, 180 p., 2014, Disponible en: <http://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2014/1030/>, [Consulta: 15 de diciembre de 2014].
- BRULÉ, M.; VOGTHERR, J.; LEMMER, A.; OECHSNER, H.; JUNGBLUTH, T.: "Effect of enzyme addition on the methane yields of effluents from a full-scale biogas plant.", *Landtechnik*, 66(1): 50-52, 2011, ISSN: 0023-8082.
- FORSTER-CARNEIRO T; ISAAC R; PÉREZ M; SCHVARTZ C. *Anaerobic Digestion: Pretreatment of Substrates*. En: Ackmez Mudhoo. *Biogas production. Pretreatment methods in anaerobic digestion*. Edit. Scrivener-Wiley, 2012. p.1-20.
- KURAKAKE, M.; IDE, N.; KOMAKI, T.: "Biological pretreatment with two bacterial strains for enzymatic hydrolysis of office paper", *Current microbiology*, 54(6): 424-428, 2007, ISSN: 0343-8651.
- MARTÍNEZ, C.; OECHSNER, H.; REINHARDT, A.; GARCÍA, Y.; LÓPEZ, L.: "Studies of chemical-thermal pre-treatment in biomass to use for biogas production in Cuba", *Journal of Basic and Applied Research International*, 14(3): 215-224, 2015.
- MARTÍNEZ, H.C.; GARCÍA, L.Y.: "Utilización de pre-tratamientos básicos y específicos para la producción de biogás. Revisión y análisis", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(3): 81-92, 2016, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- MARTINEZ, H.C.; OECHSNER, H.; BRULÉ, M.; MARAÑÓN, M.E.: "Estudio de algunas propiedades físico-mecánicas y químicas de residuos orgánicos a utilizar en la producción de biogás en Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(2): 63-69, 2014, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- MARTINEZ, H.C.; BRULÉ, M.; OECHSNER, H.: "Metodología HBT (Hohenheim Yield Test) para la determinación del potencial de metano en sustratos agrícolas", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN -1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, Vol. 30. No.2 (April-May-Jun, pp-70-78), 2021.
- NC 74-22: 85: *Determinación de la humedad inicial y de la materia seca*, Inst. Oficina Nacional de Normalización (NC), La Habana, Cuba, Vig de 1985.
- NC 74-30: 85: *Determinación del contenido de cenizas*, Inst. Oficina Nacional de Normalización (NC), La Habana, Cuba, Vig de 1985.

- TAHERZADEH, M.J.; KARIMI, K.: "Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review", *International journal of molecular sciences*, 9(9): 1621-1651, 2008, ISSN: 1422-0067, DOI: [10.3390/ijms9091621](https://doi.org/10.3390/ijms9091621).
- TANIGUCHI, M.; SUZUKI, H.; WATANABE, D.; SAKAI, K.; HOSHINO, K.; TANAKA, T.: "Evaluation of pretreatment with *Pleurotus ostreatus* for enzymatic hydrolysis of rice straw", *Journal of bioscience and bioengineering*, 100(6): 637-643, 2005, ISSN: 1389-1723, DOI: <https://doi.org/10.1263/jbb.100.637>.
- VDI-4630.: *Fermentation of organic material characterization of substrate, sampling collection of material data, fermentation tests, [en línea]*, no. 4630, no. 4630, VDI-Richtlinien, Berlin, Vig de 2006.
- VINTILOIU, A.; BRULÉ, M.; LEMMER, A.; OECHSNER, H.; JUNGBLUTH, T.; JURCOANE, S.; ISRAEL, R.F.: "Influence of temperature and pH value on enzyme activity in the biogas process.", *Landtechnik*, 64(1): 22-24, 2009, ISSN: 0023-8082.
- ZHONG, W.; ZHANG, Z.; QIAO, W.; FU, P.; LIU, M.: "RETRACTED: Comparison of chemical and biological pretreatment of corn straw for biogas production by anaerobic digestion", *Renewable Energy*, 36(6): 1875-1879, 2011, ISSN: 0960-1481, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.12.020>.