



LA FORMACIÓN DE INGENIEROS:
UN COMPROMISO PARA EL
DESARROLLO Y LA SOSTENIBILIDAD

15 al 18
DE SEPTIEMBRE

20
20

www.acofi.edu.co/eiei2020

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA DE TAMO DE ARROZ PRE-TRATADO

Andrés García, Diego Rojas, Jhessica Mosquera, Ana Paola Becerra, Paola Acevedo, Iván Cabeza

**Universidad Santo Tomás
Bogotá D.C., Colombia**

Resumen

Las actividades agroindustriales generan residuos orgánicos aptos para su uso en procesos de bioconversión, dándoles un valor agregado como bioproductos, lo cual contribuye a la prevención y mitigación de impactos ambientales derivados del manejo e inadecuada disposición de los mismos. Entre las prácticas actuales para la gestión de residuos de la post-cosecha se encuentra la quema y la descomposición a cielo abierto, por lo que Colombia como tercer productor de arroz paddy en América Latina, requiere del mejoramiento de su proceso productivo para aumentar la rentabilidad y mejorar su desempeño ambiental. Con el fin de aprovechar esta biomasa, el presente trabajo evalúa diferentes alternativas de pretratamiento del tamo de arroz proveniente del Departamento de Tolima, dirigidas para mejorar rendimientos obtenidos en procesos de digestión anaeróbica para producción de biogás a partir de materiales lignocelulósicos. Se evaluaron pretratamientos de orden químico (hidrólisis alcalina) y físico (hidrólisis térmica) con el objetivo de mejorar el potencial de degradación del tamo. La evaluación de los pretratamientos se estableció a partir de la caracterización inicial del sustrato, donde la carga orgánica se varió entre 10 y 20 gSV, para una relación sustrato inóculo de 3. El proceso de digestión anaerobia se llevó a cabo en reactores tipo batch bajo condiciones mesofílicas, cada pretratamiento fue evaluado por triplicado, incluyendo un ensayo sin ningún pretratamiento. Los resultados obtenidos muestran que la hidrólisis térmica incrementa la producción de biogás en un 11.94% en comparación con los ensayos sin pretratamiento, siendo la producción más alta de biogás (132.637 CH₄/gSV), para una carga orgánica de 10 gSV.

Palabras clave: biomasa lignocelulósica; digestión anaerobia; biogás

Abstract

Agro-industrial activities produces organic residues suitable for its use in bioconversion processes, giving them an added value for its apply as bioproducts, contributing to the prevention and mitigation of environmental impacts derived from the management and inadequate disposal of these. Among the current practices for post-harvest waste management is open burning and uncontrolled decomposition, so that's why Colombia, as the third largest producer of paddy rice in Latin America, requires to enhance its productive process to increase profitability and improve its environmental performance. In purpose of taking advantage of this biomass, the present research evaluates different pretreatment alternatives for rice straw from the Department of Tolima, aimed at improving yields obtained in anaerobic digestion processes for biogas production in lignocellulosic materials. Chemical (alkaline hydrolysis) and physical (thermal hydrolysis) pretreatments were evaluated in order to improve the degradation potential of rice straw. The evaluation of the pretreatments was established from the initial characterization of the substrate, where the organic load was varied between 10 and 20 gVS, for an inoculum substrate ratio of 3. The anaerobic digestion process was carried out in batch type reactors in mesophilic conditions, each pretreatment was evaluated in triplicate, including one trial without any pretreatment. The results obtained show that thermal hydrolysis increases biogas production by 11.94% compared to tests without pretreatment, being the highest biogas production shown (132.637 CH₄ / gSV), for an organic load of 10gsv.

Keywords: lignocellulosic biomass; anaerobic digestion; biogas

1. Introducción

El aprovechamiento de biomasa residual propone dar solución a problemáticas ambientales tales como contaminación de suelos y fuentes hídricas debido a la mala gestión de los residuos, además de emisiones de material particulado, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y óxidos de azufre (SO_x) provenientes del uso de combustibles fósiles para la generación de energía, como afirma Idrovo *et al.* (2012). La biomasa residual de actividades agroindustriales es abundante en el país, y por sus altas cargas orgánicas ricas en micro y macro nutrientes se hacen susceptibles de ser integradas en procesos de bioconversión; este es el caso del tamo de arroz, una biomasa residual lignocelulósica altamente disponible en departamentos productores de arroz en Colombia, los cuales son principalmente Meta, Casanare, Tolima y Huila, según DANE (2020).

Colombia es el tercer productor de arroz paddy en América Latina, con una producción de aproximadamente 2 millones de toneladas al año y emisiones de metano (CH₄) de 0.24 ton CH₄ por cada hectárea cultivada, según Chirinda *et al.* (2018); agregando a lo anterior, Delgadillo-Mirquez, *et al.* (2018) afirma que la producción de arroz genera el 2% del PIB y es el apoyo económico de hasta 500,000 familias de 21,800 granjas arroceras. Sin embargo, la producción de arroz con cáscara tiene problemas competitivos debido al uso de la agricultura tradicional, lo que reduce la competitividad del producto en el mercado, las prácticas actuales de manejo y disposición de los residuos asociados a cultivos consisten principalmente en la quema o

descomposición a cielo abierto; lo que deja como resultado, según Singh, *et al.* (2019), impactos en la salud y el medio ambiente. La digestión anaerobia es una alternativa efectiva para la prevención y mitigación de daños ambientales provocados por la incorrecta disposición de la materia orgánica residual, esta tecnología permite la estabilización de la corriente residual generando productos de valor agregado durante el proceso, entre ellos el biogás el cual es susceptible de aprovechamiento energético.

La cantidad y calidad óptima de biogás producido para su uso en actividades domésticas e industriales, han sido parámetros limitantes en este campo, pues los procesos fermentativos anaeróbicos requieren de macro y micronutrientes en proporciones adecuadas que atiendan las necesidades microbiológicas y bioquímicas de los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica, además de depender directamente de la complejidad de la estructura molecular del sustrato a evaluar. Según Khalid, *et al.* (2011), en diferentes estudios se han propuesto pretratamientos a residuos agrícolas que faciliten el proceso de digestión tanto en tiempo como en optimización de la producción de biogás, lo cual reafirma Taherzadeh, *et al.* (2008) presentando resultados exitosos para el tratamiento de materiales lignocelulósicos.

Asimismo, estudios previos desarrollados por Chen, *et al.* (2015) y Croce, *et al.* (2016) han evaluado la digestión anaeróbica de residuos del cultivo de arroz como el tamo, en el marco de la búsqueda de alternativas ecológicas y rentables para minimizar los impactos y generar productos de valor agregado. No obstante, la eficiencia de la digestión anaeróbica implica el seguimiento de variables de control tales como: temperatura, pH, inóculo, carga orgánica y relación C / N; también, el uso de pretratamientos físicos, químicos y biológicos para mejorar el potencial de degradación, especialmente cuando se trata de biomasa lignocelulósica.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, el presente trabajo evalúa diferentes métodos de pretratamiento para mejorar el potencial bioquímico de metano (PBM) del tamo de arroz disponible en el departamento de Tolima (Colombia), contribuyendo a la investigación en la optimización de la producción de biogás a partir de materiales lignocelulósicos para diferentes usos, lo que constituye un aporte al aprovechamiento energético de biomasa en países con gran extensión de zonas de cultivo y ganadería como Colombia.

2. Materiales y métodos

El tamo de arroz fue suministrado por Biocultivos S.A y es proveniente de diferentes fincas ubicadas en Tolima, Colombia; se secó a 60 ° C durante 24 h y se aplicó una reducción del tamaño de partícula para garantizar su conservación antes de los pretratamientos y los ensayos experimentales de PBM. Por otra parte, para garantizar presencia de microorganismos anaerobios en los ensayos se utilizó como inóculo lodo proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la empresa Alpina S.A en Sopó, Cundinamarca, el cual fue refrigerado a 4 ± 1 °C para evitar su degradación antes de los ensayos. Las caracterizaciones fisicoquímicas iniciales se muestran en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica inicial del sustrato e inóculo.

	Sólidos totales (%)	Sólidos volátiles (%)	Nitrógeno Total Kjeldahl (%)	Demanda química de oxígeno (g/L)	C/N
Tamo de arroz	92.35 ± 0.02	72.93 ± 0.03	1.06 ± 0.15	283.85	43.21
Inóculo	4.79 ± 0.00	4.32 ± 0.02			

Fuente. Autores.

La evaluación del PBM del tamo de arroz pretratado se basó en cambios en la carga orgánica inicial, se evaluaron cargas de 10 y 20 g SV, con una relación sustrato-inóculo de 3, la carga orgánica fue ajustada de acuerdo a la caracterización inicial de sustrato e inóculo. Los pretratamientos evaluados fueron: (1) Hidrólisis alcalina, según Liu *et al.*, (2011) al sustrato se le adiciona una solución de NaOH en concentración de 10 g/L, en una relación 10:1 (v/p) líquido sólido y se lleva al autoclave durante 60 minutos a 102 °C, posteriormente es lavado con agua de grifo hasta alcanzar un pH aproximado de 9 y puesto contacto con solución de H₂O₂ al 3%, para finalmente ser dispuesto en un horno por 24 horas a 55°C. (2) Hidrólisis térmica, el tamo de arroz se hidrata con agua destilada en una relación líquido sólido 8:1 (v/p), y tratamiento de temperatura en autoclave durante 30 minutos a 102 °C. Para garantizar la representatividad de los datos, cada pretratamiento se evaluó por triplicado y se incluyeron ensayos de tamo de arroz sin pretratar.

El proceso de digestión anaeróbica se realizó en frascos ámbar de 250 ml (en adelante llamados reactores), que se llenaron con una cantidad de sustrato pretratado, inóculo y agua destilada para completar un volumen de 200 mL, correspondiente a un volumen trabajado del 80% del reactor; y sellado con silicona para garantizar condiciones anaeróbicas. Los reactores se colocaron en un baño termostatzado en condiciones mesofílicas (35 ± 1 °C) durante 21 días consecutivos (ver Figura 1). El volumen de biogás producido diariamente se midió como el desplazamiento de una solución de NaOH al 0.5 M, utilizada como trampa de CO₂, según lo propuesto por Holliger (2016), Angelidaki (2009) y Owen (1979) y la composición de biogás fue medida con el equipo BIOGAS 5000® Landtec. Al finalizar el proceso de digestión, se recolectaron muestras para caracterizar el digestato obtenido.

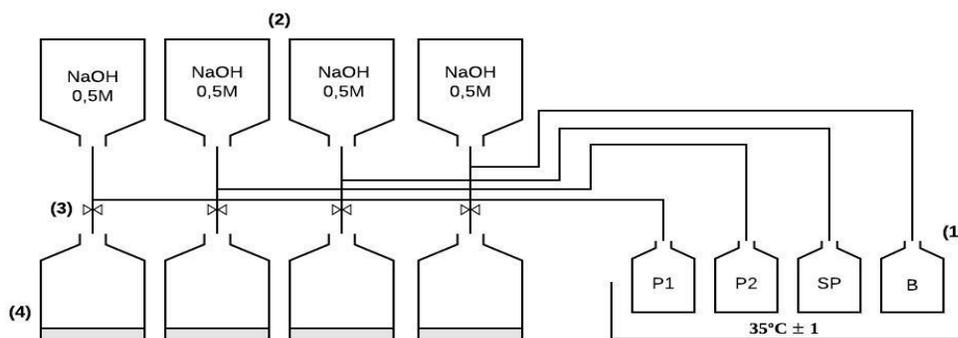


Figura 1. Esquema de configuración experimental de producción de biogás en digestión anaerobia.

(1) Reactores, (2) Solución de hidróxido de sodio 0,5M, (3) Equipo de microgoteo, (4) Botella de medición de volumen desplazado, (P1) Pretratamiento de h. alcalina, (P2) Pretratamiento de h. térmica, (SP) Sin pretratamiento, (B) Blanco.

Fuente. Autores.

La caracterización fisicoquímica de materias primas y muestras de digestato se realizaron acorde con estándares internacionales, usando como método 2540B APHA - SM para sólidos totales (TS), ASTM D3174 para sólidos volátiles (VS), ASTM D1426 para Nitrógeno Total Kjeldhal (NTK) y ASTM D1252 para Demanda Química de Oxígeno (DQO).

3. Resultados y discusión

A partir de la digestión anaeróbica del tamo de arroz con los pretratamiento mencionados, se evidenció que la hidrólisis térmica tuvo el mejor desempeño para los ensayos con una carga orgánica de 10 gSV (producción de 132.637 mL de CH₄/g SV), mientras que para las combinaciones con 20 gSV, el mejor desempeño fue de la hidrólisis alcalina (125.565 mL de CH₄ / gSV); de estos resultados se puede establecer que, con respecto a la evaluación del sustrato sin pretratamiento, la hidrólisis térmica incrementa la producción de biogás para las cargas orgánicas de 10 gSV un 11.94%, mientras que la hidrólisis alcalina para cargas orgánicas de 20 gSV incremento un 44.1% el rendimiento del proceso con hidrólisis alcalina como pretratamiento (Ver Figura 2).

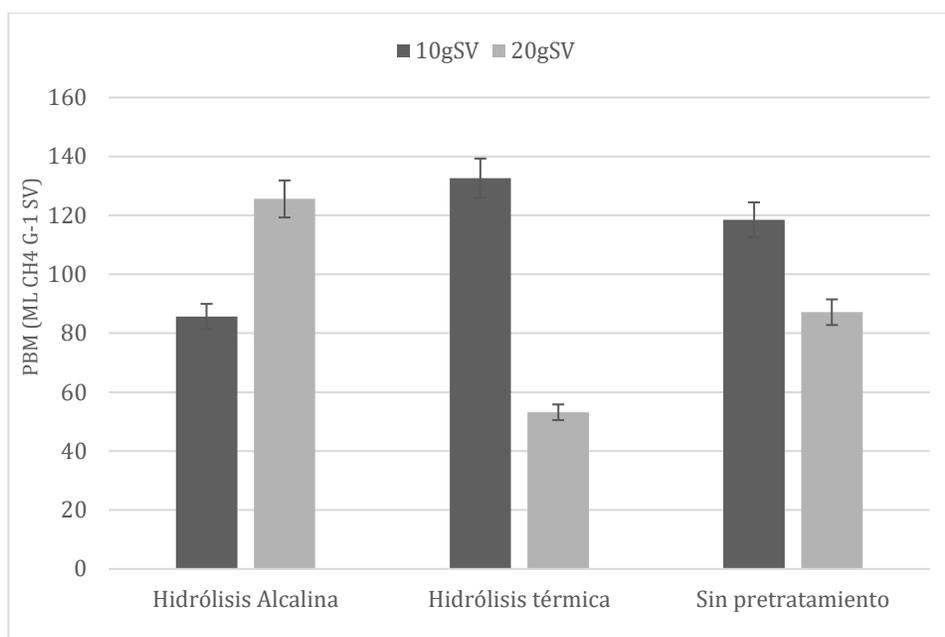


Figura 2. PBM del tamo de arroz en cargas orgánicas de 10 gSV; sin pretratamiento y con pretratamientos de hidrólisis térmica e hidrólisis alcalina.

PBM. Potencial de producción de Biometano.

Fuente. Autores.

El tamo de arroz pretratado mediante hidrólisis alcalina demostró mejorar el proceso de digestión anaeróbica, lo cual, según Dai, *et al.* (2014) y Qian, *et al.* (2019), se debe a la degradación eficiente del contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa en el sustrato. A pesar que investigaciones anteriores han señalado que la hidrólisis térmica como pretratamiento físico tiene

limitaciones debido a los requisitos de alta energía y alta presión que aumentan los costos, es necesario realizar una evaluación completa donde se tenga en cuenta la región que genera la biomasa. Es importante señalar que el tratamiento alcalino ha registrado un aumento de los rendimientos de metano para el tamo de arroz hasta en un 67.55%, y se debe tener en cuenta que, como afirma Singh (2019), los tratamientos químicos pueden ser peligrosos para el medio ambiente si se liberan sin tratamiento y no se tiene un adecuado control sobre los mismos. De acuerdo con la literatura, la digestión anaeróbica de la biomasa lignocelulósica no es viable sin el proceso de pretratamiento, siendo los rendimientos de PBM de tamo de arroz evaluado sin pretratamiento alguno alrededor de 100-90 mL de CH₄ / gSV para las dos cargas orgánicas.

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica final de los pretratamientos evaluados.

	10 gSV			20 gSV		
	HA	HT	SP	HA	HT	SP
Sólidos totales (g/mL)	1.48	3.83	3.62	1.597	4.834	5.113
Sólidos volátiles (g/mL)	0.349	0.684	0.68	0.412	0.887	1.008
Demanda química de oxígeno (g/L)	6.6	5.65	6.35	7	7.1	7.05

(HA) Hidrólisis Alcalina, (HT)Hidrólisis térmica, (SP) Sin pretratamiento.

Fuente. Autores.

A partir de la caracterización de los digestatos (Tabla 2), se estimó la eliminación efectiva (rendimiento de remoción) en la carga orgánica durante el proceso de digestión anaeróbica en relación con la caracterización inicial de DQO; como resultado, se obtuvo un rendimiento en la remoción de carga orgánica de 42.04% para los ensayos con 20 gSV, mientras que para los ensayos con 10 gSV fue del 74.51% y fueron los de mayor producción de biogás; estos datos se presentan como un promedio de todos los ensayos evaluados. También se obtuvo como resultado de esta caracterización SV y ST, los cuales mostraron una reducción de sólidos totales para 10 gSV de 79.852%, 60.52% y 60.736% y para 20 gSV de 76.189%, 48.776% y 41.788%, así como en sólidos volátiles de 84.09%, 68.823% y 68.994% y para 20 gSV de 81.197%, 59.55% y 54.032%; para hidrólisis alcalina, hidrólisis térmica y sin pretratamiento, respectivamente.

4. Conclusiones

Los pretratamientos iniciales evaluados parecen ser adecuados para mejorar la biodegradabilidad del tamo de arroz, generando un aumento significativo en los rendimientos de biogás. El tratamiento de hidrólisis térmica con una carga orgánica de 10 gSV aumentó la producción de biogás en un 11.94%, siendo la de mayor rendimiento entre todos los ensayos experimentales para ambas cargas orgánicas, dando como resultado una producción de biogás superior por 39.64 mL CH₄/ gSV con respecto a la evaluación con hidrólisis alcalina y 11.9 mL CH₄/ gSV frente al tamo de arroz sin pretratamiento. La evaluación del total de pretratamientos propuestos es necesaria para recomendar un proceso a gran escala, de esta forma se evidencia que los resultados obtenidos son interesantes para evaluar la optimización de la digestión anaeróbica en procesos de

codigestión tomando como punto de partida los rendimientos de tamo de arroz pretratado y teniendo en cuenta la disponibilidad de otros sustratos orgánicos en la zona.

5. Referencias

Artículos de revistas

- Angelidaki, I. et al. (2009). Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. *Water science and technology*. Vol. 59, No. 5, pp. 927-934.
- Chen, X. Yuan, H. Zou, D. Liu, Y. Zhu, B. Chufo, A. Jaffar, M. Li, X. (2015). Improving biomethane yield by controlling fermentation type of acidogenic phase in two-phase anaerobic co-digestion of food waste and rice straw, *Chem. Eng. J.* Vol. 273. pp. 254-260.
- Chirinda, N. Arenas, L. Katto, M. Loaiza, S. Correa, F. Isthitani, M. Loboguerrero, A.. Martínez, D. Graterol, E. Jaramillo, S. Torres, C.F. Arango, M. Guzmán, M. Ávila, I. Hube, S. Kurtz, D. Zorrilla, G. Terra, J. Irisarri, P. Tarlera, S. La Hue, G. Scivittaro, W. Noguera, A., Bayer, C. (2018). Sustainable and low greenhouse gas emitting rice production in Latin America and the Caribbean: A review on the transition from ideality to reality, *Sustainability*. Vol. 10.
- Croce, S. Wei, Q. D'Imporzano, G. Dong, R. Adani, F. (2016). Anaerobic digestion of straw and corn stover: The effect of biological process optimization and pre-treatment on total bio-methane yield and energy performance, *Biotechnol. Adv.* 34. pp. 1289-1304.
- Dai, B. L., Zhu, A. F., Mu, F. H., Xu, N., & Wu, Z. (2014). Experiments on anaerobic digestion of rice straw for biogas production under NaOH pretreatment. *Advanced Materials Research* Vol. 953, pp. 220-223.
- García, C., Delgadillo, L., Hernández, M. (2018). Biodegradation of rice straw under anaerobic digestion, *Environ. Technol.* Vol. 10. pp. 215-222.
- Holliger, C., Alves, M., Andrade, D., Angelidaki, I., Astals, S., Baier, U., Ebertseder, F. (2016). Towards a standardization of biomethane potential tests. *Water Science and Technology*, Vol. 74(11), pp. 2515-2522.
- Khalid, A. Arshad, M. Anjum, T. Mahmood, and L. Dawson. (2011). The anaerobic digestion of solid organic waste, Vol. 31, No. 8. pp. 1737-1744.
- Liu, Y. Fang, G. Dang, F. Zhu, B. Zhou, Q. Xia, Y. Li, X. (2011). Effect of NaOH +H₂O₂ pretreatment on corn straw anaerobic digestion, *Nongye Gongcheng Xuebao*. Vol. 27. pp. 260-263.
- Owen, W. et al. (1979). Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity. *Water research*. Vol. 13, No. 6, pp. 485-492.
- Qian, X., Shen, G., Wang, Z., Zhang, X., Chen, X., Tang, Z., & Zhang, Z. (2019). Enhancement of high solid anaerobic co-digestion of swine manure with rice straw pretreated by microwave and alkaline. *Bioresource Technology Reports*, Vol. 7, 100208.
- Singh, R., Kumar, S. (2019). A review on biomethane potential of paddy straw and diverse prospects to enhance its biodigestibility, *J. Clean. Prod.* Vol. 217, pp. 295-307.

- Taherzadeh, M. J., & Karimi, K. (2008). Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review. *International journal of molecular sciences*, Vol. 9, No. 9, pp. 1621-1651.

Fuentes electrónicas

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE & Federación Nacional de Arroceros - FEDEARROZ. (2020). Boletín Técnico: Encuesta Nacional de Arroz Mecanizado – ENAM 2020.
- Idrovo, A., Hurtado, M., Blanco, L., Bermúdez, J., & Jaimes, D. (2012). Diagnostico nacional de salud ambiental. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*.

Sobre los autores

- **Andrés García:** Estudiante de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás. andres.garcias@usantotomas.edu.co
- **Diego Rojas:** Estudiante de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás. diego.rojasa@usantotomas.edu.co
- **Jhessica Mosquera:** Ingeniera Ambiental de la Universidad Santo Tomás, Estudiante de Maestría en Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia. jhessica.mosquera@usantotomas.edu.co
- **Ana Paola Becerra:** Ingeniera Ambiental de la Universidad de Boyacá, Master en Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Decana. anabecerra@usantotomas.edu.co
- **Paola Acevedo:** Ingeniera Química, Doctora en Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander. Profesor Titular. paolaacevedo@usantotomas.edu.co
- **Iván Cabeza:** Ingeniero Químico de la Universidad Industrial de Santander, Master en Energías Renovables de la Universidad de León, Doctor en Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Universidad de Sevilla. Profesor Titular. ivancabeza@usantotomas.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2020 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)