

- Se contará con una aplicación móvil que articule y divulgue la oferta del departamento de Caldas como un destino turístico-gastronómico importante.

5. CONCLUSIONES

► Si se quiere dinamizar el sector productivo en cualquier territorio es necesario recurrir a las nuevas tecnologías de la información, no solo por cuestiones de adaptación tecnológica sino por la viabilidad que tiene esta para poder en este caso de difundir.

► El departamento de Caldas en definitiva posee una riqueza cultural, gastronómica y turística que vale la pena visibilizar en diferentes contextos, promoviendo y fortaleciendo de esta manera la economía local con sus respectivas comunidades.

► Una vez más se evidencia que los proyectos de I-D-I bien diseñados en términos metodológicos, apuntan a la satisfacción de necesidades reales del mercado, donde no solo se involucra a investigadores SENNOVA sino también

a instructores y Aprendices integrantes de semilleros de investigación.

6. REFERENCIAS

MACÍA, Rosa Helena. (2003). El Patrimonio Gastronómico: Una Realidad Diaria e Irrenunciable. Tomado de: <http://docplayer.es/5104073-Rosahelena-macia-mejia-el-patrimonio-gastronomico-una-realidad-diaria-e-irrenunciable.html>. 1 de septiembre del 2016.

Ministerio de Cultura (2015). Patrimonio Cultural inmaterial. Tomado de: <http://www.mincultura.gov.co/areas/patrimonio/patrimonio-cultural-nmaterial/Paginas/default.aspx>. 2 de septiembre del 2016.

MIREIA Viladevall I. Guasch, (2003). (coord.) Gestión del patrimonio cultural. Realidades y retos, México, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla-BUAP.

Moral, M., & Fernández Alles, M. (2012). Nuevas Tendencias del Marketing: El Marketing Experiencial. Entelequia, 242,243.

Neef, M. M. (1993). Desarrollo y Necesidades Humanas. Santiago de Chile: Nordan.

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL USO DE RESIDUOS AGRÍCOLAS EN PROCESOS DE BIODIGESTIÓN ANAEROBIA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

EVALUATION OF THE POTENTIAL USE OF AGRICULTURAL WASTE IN THE ANAEROBIC BIODIGESTION PROCESS FOR THE PRODUCTION OF BIOGAS

Cindy Carolina Gámez Ávila¹, Sandra Milena Lozano Triana²,
Javier Andrés Quintero Jaramillo^{3*}.

Resumen

Investigaciones sobre la obtención de energías renovables se han orientado a la búsqueda de nuevas fuentes de materia prima, que permitan obtener energía de manera segura, eficiente y económica. De acuerdo a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue la evaluación de residuos agrícolas para procesos de Biodigestión anaerobia en la producción de biogás. Se caracterizaron sustratos mediante técnicas de laboratorio por medio de la determinación de pH, humedad, sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), carbono orgánico (CO) nitrógeno total (NT) y relación carbono nitrógeno (C/N), como posibles insumos en el proceso de digestión y co- digestión. Los sustratos evaluados fueron: sustrato 1 estiércol porcino Sustrato 2 residuos de cocina y Sustrato 3: Mezcla de sustrato 1 y sustrato 2. Los resultados obtenidos demostraron que los sólidos totales para el estiércol se encuentran en el rango óptimo para procesos de Biodigestión (15% y 49%) con un valor de 33,22%, los residuos de cocina podrían presentar una mayor producción de metano y para sólidos volátiles se encontraron valores de 91,96%, 75,89% y 70.35%, en los sustratos de residuos de cocina, estiércol y mezcla respectivamente.

¹ Centro Agropecuario La Granja, SENA Regional Tolima. Grupo de investigación Senagrotic. (8)2709600 IP 84706.

² Centro Agropecuario La Granja, SENA Regional Tolima. Grupo de investigación Senagrotic. (8)2709600 IP 84855.

³ Centro Agropecuario La Granja, SENA Regional Tolima. Grupo de investigación Senagrotic. (8)2709600 IP 84706.

* Autor para correspondencia. Correo electrónico: jaquintero@sena.edu.co.

Palabras Clave: Biodigestión, Biogás, Residuos Orgánicos, Sustratos.**ABSTRACT**

Research on the obtaining of renewable energies has been oriented to the search of new sources of raw material that allow obtaining energy in a safe, efficient and economical way. According to the above, the objective of this work was to evaluate agricultural waste for anaerobic biodigestion processes in the production of biogas. Substrates were characterized by laboratory techniques through the determination of pH, humidity, total solids (ST), volatile solids (SV), organic carbon (CO) total nitrogen (NT) and nitrogen carbon (C / N) ratio, as possible inputs in the process of digestion and co-digestion. The substrates evaluated were: Substrate 1 porcine manure Substrate 2 kitchen waste and Substrate 3: Mixture of substrate 1 and substrate 2. The results obtained showed that the total solids for the manure are in the optimum range for Biodigestion processes (15% and 49%) with a value of 33.22%, kitchen waste could present a higher methane production and results of volatile solids, which are 91% , 96%, 75.89% and 70.35%, for the substrates of kitchen waste, manure and mixture respectively.

Key words: Biodigestion, Biogas, Organic Waste, Substrates.**1 Introducción.**

El calentamiento global es un fenómeno determinado por el aumento de la temperatura promedio de la atmósfera terrestre y de los océanos. Dicho calentamiento global, está motivado por el incremento en la concentración en el aire de ciertos gases, como el dióxido de carbono, el metano y el óxido nítrico, gases generados por la acción humana, en su mayoría procedentes del consumo de petróleo y carbón (Rodríguez and Mance 2009).

El cambio climático reciente ha tenido impacto generalizado en los sistemas humanos y naturales, en donde la influencia humana en el sistema climático es evidente (Gadea Rivas and Gonzalo 2019; Goel and Bhatt 2012). Lo anterior lo ratifica la Organización Meteorológica Mundial (OMM), donde informa que la temperatura en el mundo en los últimos cinco años ha sido la más cálida de la historia, registrando el año 2017 el promedio más alto de temperatura desde que se tienen registros (Organización Meteorológica Mundial 2018).

Colombia parece ser uno de los países más perjudicados, aunque solo contribuya con un 0,37 % de las emisiones mundiales (Andrade, Arteaga, and Segura 2016). El uso de energía en el país implica grandes emisiones de gases de efecto invernadero, ocasionadas por el transporte de gas natural, la quema de combustible, las despresurizaciones y las fugas en equipos. Para el 2011 Bogotá emitió entre 4,7 y 4,8 teragramos CO₂/año, lo que significa el 20% de lo emitido por toda la nación en este aspecto. Estas cifras pueden verse atribuidas a la gran producción de desechos en plazas de mercado y a la producción de carne para consumo humano, especialmente carne de cerdo.

En Colombia, para el año 2016 el consumo de carne de cerdo aumentó 9% pasando de 7,8 kg por persona en el 2015 a 8,5 kg por persona en el año 2016 (PorkColombia 2017). La producción de carne de cerdo se elevó un 4% respecto al 2016, alcanzando las 364.000 toneladas de carne. Para

este 2018, el gremio espera un aumento de la producción en torno al 6%. (Cubillos 2018)

Los inconvenientes de generación y manejo de residuos agrícolas no es solo un problema en países desarrollados, por ejemplo, en Colombia se produce diariamente 27300 toneladas de basura, de las cuales el 65% son residuos orgánicos y el 35% inorgánicos (Cardona Alzate *et al.* 2004). Los componentes que constituyen la fracción orgánica de las basuras colombianas son residuos de alimentos, papel, cartón, madera y residuos de jardín y sólo el 40% de los residuos sólidos municipales tiene un manejo adecuado, el 50% es manejado de forma indebida y el 10% es recuperado gracias al reciclaje. La descomposición de estos residuos orgánicos generan GEI que en mayor proporción son metano, sin embargo no todos los gases generan el mismo efecto y se debe tener en cuenta el potencial de calentamiento global (PCG), el cual está basado en los efectos de los gases de efecto invernadero en un horizonte temporal de 100 años como lo reportan (Boucher *et al.* 2009). El metano producido mediante la descomposición del material biodegradable, tiene un PCG a 100 años de 25, es decir, la emisión de una tonelada de metano a la atmósfera es equivalente a emitir 25 toneladas de dióxido de carbono (Rojas 2014)

Una forma de dar aprovechamiento a los residuos mencionados es mediante la descomposición anaerobia de la materia orgánica para producir biogás. El proceso de digestión anaerobia a residuos orgánicos y estiércol de cerdo ha demostrado la viabilidad técnica y versatilidad para adaptarse a diferentes condiciones (Flotats *et al.* 2001). Una forma de mejorar la eficiencia de la producción de biogás es mediante la co-digestión, usando por ejemplo residuos vegetales en combinación con estiércol de cerdo (Lattieff 2016)

Lo anterior nos permite concluir, que se deben evaluar estrategias que permitan la mitigación del calentamiento global. Por medio del presente trabajo de investigación,

se realizó una caracterización físico-química de residuos biodegradables como residuos de cocina y estiércol de cerdo, para determinar su uso potencial en la producción de gas metano mediante biodigestión y codigestión anaerobia en el Centro Agropecuario La Granja

2 Materiales y Métodos:

2.1 Sustratos:

Se seleccionaron tres tipos de sustratos de muestras recolectadas del Centro Agropecuario La Granja, identificadas de la siguiente manera: Sustrato 1 Estiércol de Cerdo (E), Sustrato 2 Residuos de cocina (RC) y Sustrato 3 mezcla de estiércol cerdo y residuos de cocina (RC+E), en una proporción 80:20 (Matuszewska *et al.* 2016). Cada uno de estos sustratos fueron utilizados para bioensayos a escala laboratorio para la obtención de biogás y de biofertilizante, mediante digestión anaerobia y co-digestión.

2.2 Determinación de parámetros físicos y químicos:

Para realizar la caracterización físico-química se midió pH, humedad, sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), carbono orgánico (CO) y nitrógeno total (NT) (Codazzi 2007). Con las dos últimas se definió la relación carbono nitrógeno (C/N), variable importante para la definición del potencial uso como productor de biogás (Liu *et al.* 2016).

La caracterización de los sustratos, se realizó en las instalaciones del laboratorio de Suelos del Centro Agropecuario La Granja Sena Regional Tolima, el Laboratorio de Físico-Química del Centro Agroindustrial Sena Regional Quindío y en el Laboratorio de Agrosavia en el Centro de investigación Nataima. Las metodologías usadas fueron estandarizadas y se ajustaron a los procedimientos internos estándares de cada laboratorio y de cada metodología. Todas las mediciones de masa fueron realizadas en una balanza analítica de 4 cifras decimales Santorius BP221S

A las muestras de residuos de cocina se les realizó separación, molienda y homogenización. Posteriormente se realizó la caracterización de cada uno de los sustratos en los laboratorios mencionados.

Las mediciones de pH se tomaron directamente en cada uno de los sustratos con un multímetro Consort C5020 usando la metodología reportada por el Standard Methods (APHA, AWWA, and WEF 2012).

Para la medición de Humedad y sólidos totales se realizó secado en Horno Memmert a una temperatura de 105° C durante 24 horas. Pasado este tiempo se realizó el desecado y pesaje, hasta encontrar peso constante. Una vez realizado este proceso, las muestras se llevaron a mufla a una temperatura de 550°C durante dos horas. Con el peso

al final de este proceso se determinaron los sólidos volátiles (Codazzi 2007).

Para la determinación de Carbono orgánico se usó el método de Walkley and Black reportado por el (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC] 2004).

Para la determinación de NT se usó la metodología del Ideam (Rodríguez 2007). Se realizó la digestión durante dos horas. Posteriormente se realizó la destilación en el equipo para Nitrógeno Kjeldahl Büchy B-324. Después de separada la muestra se realizó la titulación hasta punto estequiométrico con indicador buffer. La adición de reactivos y la titulación se realizaron con material volumétrico clase A.

3. Resultados y Discusión:

Los resultados del presente estudio, corresponden a la caracterización de tres sustratos para la evacuación del potencial en la producción de biogás. Se realizaron las determinaciones de %ST, %SV, pH, %C, %N y C/N

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos en la determinación de contenido de humedad y sólidos totales, para los tres sustratos evaluados

Sustrato	%Humedad	%ST
E	67.25	33.22
RC	86.65	13.35
RC + E	61.38	38.62

Tabla 1 Contenido de Humedad y Sólidos Totales

De acuerdo a lo reportado por (Varnero 2011) el porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla, guarda especial importancia para que el proceso de biodigestión funcione adecuadamente, encontrándose que el valor obtenido para estiércol de cerdo, se encuentra en el rango óptimo en el intervalo de 15%-49%. (Berrelleza *et al.* 2016) reportaron un valor de sólidos totales para residuos de alimentos de 21.20% siendo un valor superior al encontrado para los residuos de cocina. Para los tres sustratos evaluados el %ST es superior en comparación con los obtenidos para residuos de ganado, vacas lecheras y cerdos los cuales fueron de 8.5%, 8.5% y 6.0% respectivamente. Así mismo, los resultados encontrados son inferiores en comparación con residuos de ovejas/cabras y aves de corral los cuales fueron de 30% y 20% respectivamente según lo reportado por (Scarlat *et al.* 2018). Esto demuestra la potencialidad de los sustratos propuestos para la producción de biogás.

Para el estiércol de cerdo y la mezcla de los sustratos, se encuentra una relación entre el porcentaje de contenido de humedad y sólidos totales de 2:1, en contraste para los residuos de cocina la relación es 6:1

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en la determinación del porcentaje de cenizas y sólidos volátiles, para los tres sustratos evaluados. (Rodríguez and García 2017) mencionan que los sólidos volátiles que contiene una mezcla orgánica, en el proceso de biodigestión, teóricamente se convierten en metano.

Sustrato	%Ceniza	%SV
E	25.19	75.89
RC	12.28	91.96
RC + E	27.17	70.35

Tabla 2 Porcentaje de cenizas y Sólidos Volátiles

(Mojica *et al.* 2016; Olaya and González 2009) reportan valores de sólidos volátiles para estiércol de cerdo de 85% y 79.68% respectivamente. Para el presente trabajo se obtuvo un valor de 75.89% siendo ligeramente inferior a lo reportado.

Los sólidos volátiles indican la cantidad de material que puede ser usado como alimento para las bacterias. Para el caso de los residuos de cocina, se obtuvo un valor mayor en comparación a los demás sustratos, lo anterior se puede explicar debido a la composición bioquímica del sustrato donde es posible encontrar fuentes de azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno. (Varnero 2011)

En la Tabla 3 se presentan los valores obtenidos para la medición del pH

Sustrato	pH
E	5.84
RC	4.74
RC + E	5.48

Tabla 3 Valores de pH

Para el estiércol de cerdo, se obtuvo un pH de 5.84, para los residuos de cocina 4.74 y para la mezcla entre los dos sustratos se obtuvo un valor de 5.48. Trabajos realizados por (Olaya and González 2009; Yadvika *et al.* 2004) reportan un pH óptimo entre 6.8 – 7.2 mencionado que valores inferiores a este rango pueden causar desequilibrio en el proceso y disminución en la producción de metano.

(Guevara Vera 1996) menciona que el rango óptimo de pH en la etapa de acidogénesis para el proceso de biodigestión está entre 4.1 – 6.8, encontrándose los valores medidos en ese rango. (Berrelleza *et al.* 2016) reportaron un pH en la caracterización inicial de residuos de alimentos de 5.15, siendo un valor superior al encontrado en el presente trabajo de investigación.

En lo que respecta a los porcentajes de N, C y la relación C/N de cada uno de los sustratos, se presentan los resultados en la Tabla 4, encontrando que la relación C/N más alta

corresponde a los residuos de cocina con un valor de 36.11, siendo este valor superior según lo reportado por (Bolívar and Ramírez 2012; Li, Park, and Zhu 2011) los cuales mencionan un rango entre 20 y 30.

Sustrato	%N	%C	C/N
E	3.11	34.94	11.25
RC	1.01	36.56	36.11
RC + E	3.09	36.07	11.69

Tabla 4 Porcentaje de N, C y relación C/N

Por otra parte (Varnero 2011), menciona que valores inferiores a 8 para la relación C/N inhiben la actividad bacteriana. Las relaciones encontradas para el estiércol y la mezcla en el presente trabajo de investigación, no presentarán problemas de inhibición de actividad bacteriana, debido a que son superiores al valor reportado.

4. Conclusiones:

Los sólidos totales para el estiércol de cerdo corresponden a un valor de 33,22%, valor que se encuentra dentro del intervalo reportado como óptimo para procesos de biodigestión anaerobia, los cuales están entre 15% y 49%.

Los residuos de cocina podrían presentar una mayor producción de metano, de acuerdo a los resultados encontrados de sólidos volátiles, los cuales son de 91,96%, 75,89% y 70.35%, para los sustratos de residuos de cocina, estiércol y mezcla respectivamente.

El rango óptimo de pH para producción de metano es de 6,8 a 7,2. El estiércol de cerdo obtuvo un pH de 5,84 siendo el valor más cercano a lo establecido en la literatura, seguido de la mezcla con un valor de 5,48 y 4,74 para los residuos de cocina, por lo que se hace necesario un ajuste de pH como pretratamiento.

Los sustratos analizados durante la presente investigación, se encuentran dentro de los valores óptimos en la relación C/N. El valor más alto corresponde a los residuos de cocina con 36.11, seguido por la mezcla con 11,69 y estiércol con 11,25. Es decir, que los tres sustratos presentan una composición de biomasa adecuada para la biodigestión.

5. Referencias

- Andrade, Jair, Camilo Arteaga, and Andrea Segura. 2016. "Emisión de Gases de Efecto Invernadero Por Uso de Combustibles Fósiles En Ibagué, Tolima (Colombia)." *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 18(1):103.
- APHA, A. P. H. A., A. W. W. A. AWWA, and W. E. F. WEF. 2012. *Standard Methods. For the Examination of Water and Wastewater*. 22. edited by A. W. W. A. (AWWA) & W. E. F. (WEF American Public Health Association (APHA)).

- Berrelleza, Lorena, Francisco Armendariz, Onofre Monge, Maria Certucha, and Sergio Perez. 2016. "Generación de Biogás a Partir de Residuos Orgánicos Del Comedor de La Universidad de Sonora." Universidad de Sonora 9.
- Bolívar, Hernán Euclides and Elkin Yesid Ramírez. 2012. "Propuesta Para El Diseño de Un Biodigestor Para El Aprovechamiento de La Materia Orgánica Generada En Los Frigoríficos de Bogotá."
- Boucher, Olivier, Pierre Friedlingstein, Bill Collins, and Keith P. Shine. 2009. "The Indirect Global Warming Potential and Global Temperature Change Potential Due to Methane Oxidation." *Environmental Research Letters* 4(4):1–5.
- Cardona Alzate, Carlos Ariel, Oscar Julián Sánchez Toro, Julián Andrés Ramírez Arango, and Luis Eduardo Alzate Ramírez. 2004. "Biodegradación de Residuos Orgánicos de Plazas de Mercado." *Revista Colombiana de Biotecnología* VI(2):78–89.
- Codazzi, I. G. .. 2007. *Métodos Analíticos Del Laboratorio de Suelos*. Segunda. Colombia.
- Cubillos, Reinaldo. 2018. "Latinoamérica: Un 2018 Que Será de Expansión y Apertura de Nuevos País." Retrieved October 27, 2019 (https://www.3tres3.com/articulos/latinoamerica-un-2018-que-sera-de-expansion-y-apertura-de-nuevos-pais_38988/).
- Flotats, X., E. Campos, J. Palatsi, and X. Bonmatí. 2001. "Digestión Anaerobia de Purines de Cerdo y Co-Digestión Con Residuos de La Industria Alimentaria."
- Gadea Rivas, María Dolores and Jesús Gonzalo. 2019. "Trends in Distributional Characteristics: Existence of Global Warming." *Journal of Econometrics*.
- Goel, Anjali and Ranjana Bhatt. 2012. "Causes and Consequences of Global Warming." *International Journal Of Life Science Biotechnology and Pharma Research* 1(44):91–118.
- Guevara Vera, Antonio. 1996. "Fundamentos Básicos Para El Diseño de Biodigestores Anaeróbicos Rurales: Producción de Gas y Saneamiento de Efluentes."
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. 2004. "Norma Técnica Colombiana [NTC] 5167: Productos Para La Industria Agrícola. Productos Orgánicos Usados Como Abonos O Fertilizantes Y Enmiendas O Acondicionadores De Suelo." *Icontec Internacional* (571):1–10.
- Lattieff, Farkad Ali. 2016. "A Study of Biogas Production from Date Palm Fruit Wastes." *Journal of Cleaner Production* 139:1191–95.
- Li, Yebo, Stephen Y. Park, and Jiying Zhu. 2011. "Solid-State Anaerobic Digestion for Methane Production from Organic Waste." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(1):821–26.
- Liu, Chuanyang, Huan Li, Yuyao Zhang, and Can Liu. 2016. "Improve Biogas Production from Low-Organic-Content Sludge through High-Solids Anaerobic Co-Digestion with Food Waste." *Bioresource Technology* 219:252–60.
- Matuszewska, Anna, Marlena Owczuk, Anna Zamojska Jaroszewicz, Joanna Jakubiak Lasocka, Jakub Lasocki, and Piotr Orliński. 2016. "Evaluation of the Biological Methane Potential of Various Feedstock for the Production of Biogas to Supply Agricultural Tractors." *Energy Conversion and Management* 125:309–19.
- Mojica, Cuitláhuac, Eleazar Vidal, Belzabet Rueda, and Dulce Acosta. 2016. "Estudio de Las Características Físico-Químicas de Residuos Orgánicos Para Su Uso Potencial En La Producción de Biogás." *Artículo Revista de Energía Química y Física* Marzo 3(6):15–22.
- Olaya, Yeison and Luis González. 2009. *Fundamentos Para El Diseño de Biodigestores*. Vol. 51.
- Organización Meteorológica Mundial. 2018. "La Organización Meteorológica Mundial Confirma 2017 Como Uno de Los Tres Años Más Cálidos de Los Que Se Tienen Datos." 1. Retrieved October 27, 2019 (<https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/la-organización-meteorológica-mundial-confirma-2017-como-uno-de-los-tres>).
- PorkColombia. 2017. *Análisis de Coyuntura Del Sector Porcicultor Del Año 2016 y Perspectivas 2017*.
- Rodriguez, Carlos Hernan. 2007. "Nitrogeno Total En Agua Por El Metodo Semi-Micro Kjeldhl – Electrodo De Amoniac." 9.
- Rodriguez, David and Andrés Garcia. 2017. "Diseño y Construcción de Un Biodigestor Para La Producción de Biogás a Partir de Hece Caninas."
- Rodríguez, M. and Henry Mance. 2009. *Cambio Climático: Lo Que Está En Juego*.
- Rojas, José Pablo. 2014. "Residuos Sólidos y Calentamiento Global – Parte 1." *Cegesti* (254):1–3.
- Scarlat, Nicolae, Fernando Fahl, Jean François Dallemard, Fabio Monforti, and Vincenzo Motola. 2018. "A Spatial Analysis of Biogas Potential from Manure in Europe." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 94(September 2017):915–30.
- Varnero, Maria Teresa. 2011. *Manual de Biogas*. Proyecto C. Chile.
- Yadvika, Santosh, TR Sreekrishnan, Sangeeta Kohli, and Vineet Rana. 2004. "Enhancement of Biogas Production from Solid Substrates Using Different Techniques-a Review." *Bioresource Technology* 95:10.