

Evaluación termoenergética de un biodigestor anaeróbico de contenido ruminal y material orgánico bovino.

Samuel Ivan Bonilla Gracia¹, Jorge Mario Mendoza Fandiño², Carlos Antonio Medellín³.

¹ ICT, Ingeniería Mecánica, Universidad de Córdoba, Colombia. sbonillagracia04@correo.unicordoba.edu.co

² ICT, Ingeniería Mecánica, Universidad de Córdoba, Colombia. jorge.mendoza@correo.unicordoba.edu.co

³ ICT, Ingeniería Mecánica, Universidad de Córdoba, Colombia. cmedellinmestra68@correo.unicordoba.edu.co

Resumen

El departamento de Córdoba-Colombia es conocido por ser una región de alta producción ganadera, producto de estas actividades se genera residuos orgánicos como son las heces fecales y contenido ruminal bovino. En este trabajo se evaluó el gas generado en un biodigestor rotativo durante un periodo de producción de 42 días. Se consideraron dos especies de muestras, la primera muestra contenía 100% heces bovinas (H100) y la segunda muestra tenía una mezcla de heces y contenido ruminal, el cual se empleó una relación de 70% heces y 30% contenido ruminal (H70-CR30). Asimismo, se monitorearon las variables de presión, temperatura y pH, además de analizar la composición del biogás generado. Los resultados mostraron que para la muestra H70-CR30 tuvo una producción mayor de 64% en comparación con la H100 y el ensayo cromatográfico mostro que para la muestra H70-CR30 se obtuvieron porcentajes de metano mayores que para la composición H100.

Palabras clave: biomasa, biodigestor, refrigeración y temperatura.

Abstract

The department of Córdoba-Colombia is known for being a region of high livestock production, as a result of these activities, organic waste such as feces and bovine ruminal content is generated. In this work, the gas generated in a rotary biodigester was evaluated during a production period of 42 days. Two species of samples were considered, the first sample contained 100% bovine feces (H100) and the second sample had a mixture of feces and ruminal content, which used a ratio of 70% feces and 30% ruminal content (H70-CR30). Likewise, the variables of pressure, temperature and pH were monitored, in addition to analyzing the composition of the biogas generated. The results showed that the H70-CR30 sample had a higher production of 64% compared to the H100 and the chromatographic assay showed that for the H70-CR30 sample higher methane percentages were obtained than for the H100 composition.

Keywords: biomass, biodigester, refrigeration and temperature.

1. Introducción

En la última década, el desarrollo político esta siendo enfocado hacia como desarrollar seguridad de suministro, asequibilidad y sostenibilidad energética, a este conjunto de los tres factores se le conocen como trilema energético. El trilema energético está relacionado también con la armonía que podemos tener con la naturaleza, ya que muchas actividades energéticas tienden a dañar el ecosistema donde vivimos. (B.W Ang, 2015)

En Colombia el sector eléctrico ha sido dominado tradicionalmente por la generación de energía hidroeléctricas y térmicas, en promedio tienen una

producción de 71% y 28%, respectivamente. Otras fuentes alternativas de energía, como la energía eólica y la energía renovable generan el 1 % restante de la generación media anual. (UPME,2015)

Dentro de ese 1% se encuentra la generacion de energia por desechos organicos, que por lo general se utilizan en zonas no interconectadas, esta tecnologia energetica se clasifican en funcion de la presencia de oxigeno en el proceso. Para el caso que vamos a trabajar, estaremos estudiando el comportamiento energetico para los residuos biologicos con ausencia de oxigeno, es decir, la digestion anaerobica. (Lin, 2019)

La digestión anaeróbica consiste en la biodegradación de la materia orgánica, esta materia se descompone y comienza a producir CH₄ y CO₂, la alta producción de este biogás se genera principalmente por la composición que puede tener el material orgánico que se usa para el proceso de digestión anaeróbica.(Ebrahimi & Houshfar, 2022)

2. Materiales y métodos

Se diseñó el biodigestor en función del gas necesario para realizar las pruebas de cromatografía, por lo que decidimos emplear el método de producción discontinua o por batches. Además, decidimos evaluar técnicamente si nos permitían cumplir con las necesidades que requeríamos, por ende, partimos de tanques con una capacidad de 13,3 litros, el cual llenamos a una capacidad de 9,3 litros con diferentes muestras de biomasa, como muestra la tabla 1 y figura 1.

Tabla 1. Contenido de materia orgánica en cada reactor

Contenido de materia orgánica			
Reactor	Masa de estiércol (Kg)	Masa de contenido R. (Kg)	Volumen (L)
H100	9,314	2,8	9,3
H70-CR30 I	6,565	2,8	9,3
H70-CR30 II	6,570	2,820	9,3

Fuente: Elaboración propia.



Figura 1. Esquema del sistema para reactores.

La metodología para tomar los datos de presión, temperatura y pH constaba de un rango de tiempo cada tres días, para lo cual se detuvo la agitación en un periodo de tiempo de alrededor de 15 a 20 minutos, donde se tomaron las muestras en el orden de pH, presión y temperatura. El pH se midió en muestras que se extrajeron a través de la válvula, las cuales se almacenaron a baja temperatura hasta que se realizaba posteriormente su medición, la presión se midió directamente del manómetro instalado en la tapa del tanque y para la temperatura se conectó la termocupla al sistema de adquisición de datos y se esperó entre 1 y 3 minutos a que la lectura se estabilizara, luego de finalizado el proceso se realizaron las cromatografías y las pruebas con el biogás.

Para el desarrollo de la investigación es valioso identificar las variables y los instrumentos que debemos tener para realizar las pruebas, estos instrumentos se pueden ver en la Tabla 2 donde se organizan según su variable.

Tabla 2. Tabla de instrumentos

Tabla de instrumentos	
Variable	Instrumento
Temperatura	Termocupla tipo K
Presión	Manómetro
Balanza	Peso
Baeker	Volumen
Datos	DataloggerApplent
Composición del gas	Cromatógrafo de gases
pH	pH-metro

Fuente: elaboración propia.

2.1. Variables y ecuaciones.

El poder calorífico inferior (LHV) es la medida para saber el rendimiento del biogás, y se conoce como la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de masa de combustible. No obstante, el LHV de la ecuación (3) depende de HHV de la ecuación (4) del cual indirectamente depende de la composición elemental del material como se muestra en la tabla 2 de (J. D. Rhenals-Julio 2021) y la tabla 3 (Young & Pian, 2003).

$$HHV = 349,1[\%C] + 1178[\%H] + 100,5[\%S] - 103,4[\%O] - 15,1[\%N] - 21,1[\%Cenizas] \quad (3)$$

$$LHV = HHV - hg \left[\left[9 * \frac{[\%H]}{100} \right] + \frac{[\%M]}{100} \right] \quad (4)$$

Tabla 2. Análisis Elemental para contenido ruminal.

Análisis Elemental	
Carbono, C [%]	33.95
Hidrogeno, H [%]	4.80
Oxígeno, O [%]	36.5
Nitrógeno, N [%]	1.01

Fuente: J. D. Rhenals-Julio, J. M. Mendoza, T. De la Vega & F. J. Sofan, LADEE, vol. 2, (2021).

Tabla 3. Análisis Elemental para materia orgánica bovino.

Análisis Elemental	
Carbono, C [%]	44.65
Hidrogeno, H [%]	5.85
Oxígeno, O [%]	38.18
Nitrógeno, N [%]	2.05

Fuente: Young y Pian, Energy 28 ,(2003).

Además, como se espera seguir avanzado en el aprendizaje de gases generados por el proceso de digestión anaeróbica, debemos tener en cuenta la temperatura de flama adiabática que puedan llegar a tener cada una de las muestras. Con este valor podemos conocer el valor teórico máximo de los productos después de llevarse a cabo una combustión en un reactor completamente adiabático, esto se realiza mediante el programa de ASPEN HYSYS.

2.2 Composición de los tratamientos.

En el proceso de identificación de variable dentro de la investigación, estuvimos ensayando en un cromatógrafo de gases para identificar la composición del gas. Para saber si el gas que se estaba formando en el proceso de digestión anaeróbico tenía un correcto porcentaje de CH₄, para eso se necesita un gas de referencia para tener el porcentaje de CH₄ que tiene los tratamientos que estamos evaluando.

Siguiendo ese orden de ideas, la eficiencia en combustibles depende crucialmente de la composición elemental que tiene cada uno. Por eso, se dio a la tarea de saber la composición de todas las muestras que estamos tratando.

Tabla 4. Composición H70-CR30

Tabla de porcentaje en la cromatografía		
Componente	Formula	%
Metano	CH ₄	58,378
Dioxido de Carb.	CO ₂	41,622

Fuente: elaboración propia.

La composición de la muestra H70-CR30 el cual obtuvimos los compuestos con mayor porcentaje en el gas producido por medio de la digestión anaeróbica, como se muestra en la tabla 4. Mientras que en la tabla 5, Se puede llegar a apreciar los porcentajes de la composición H100. No obstante, se puede validar que los ensayos están correctos ya que el componente CH₄ tiene mayor porcentaje en ambos.

Tabla 5. Composición H100

Tabla de porcentaje en la cromatografía		
Componente	Formula	%
Metano	CH ₄	52,849
Dióxido de Carb.	CO ₂	47,151

Fuente: elaboración propia.

Asimismo, para el gas patrón o gas de referencia, como era de esperarse, siendo un gas vehicular y tratado para que pueda tener un gran rendimiento para trabajar bajo condiciones industriales, tiene un porcentaje de

aproximadamente 99 % metano, que se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Composición Gas patrón(gas natural vehicular)

Tabla de porcentaje en la cromatografía		
Cromatografía	Formula	%
Metano	CH ₄	98,104
Nitrogeno	N ₂	14,359
Dioxido de carbono	CO ₂	0.1113

Fuente: Empresas gases del caribe.

2.2. Resultados

Las mediciones de presión presentaron una tendencia bastante lineal que en promedio dio un aumento de presión diario para el tratamiento 1 de (H70-CR30) de 1,58 psi, para el tratamiento 2 de (H70-CR30) de 1,44 psi. Mientras que para el tratamiento 1 de (H100) de 0,88 psi. Como la presión está directamente relacionada con la producción, podemos decir que la mezcla de contenido ruminal y heces bovinas presenta una mayor producción de biogás que para la materia orgánica conformada solamente por heces como lo muestra la Figura (2).

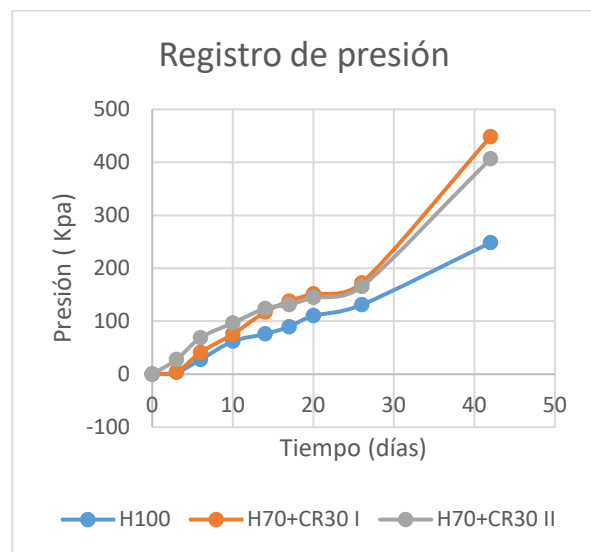


Figura 2. Esquema del registro de presión para los tres reactores.

Por otro lado, el registro de pH mostro al inicio una acidificación producto de la actividad bacteriana ácido génica y que luego se produce una neutralización y posterior alcalinización teniendo un pico alrededor de los 17 días y luego una neutralización final, todo esto es reflejo de la actividad biológica dentro de los tratamientos, que se llega apreciar en la figura 3.

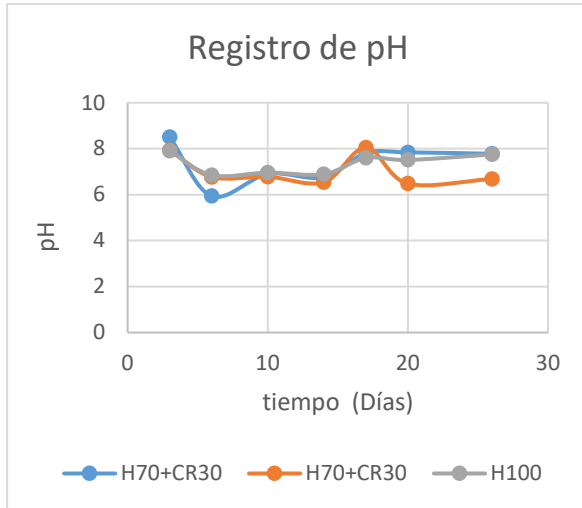


Figura 3. Esquema del registro de pH para los tres reactores

Al mismo tiempo que se fue obteniendo los datos de presión y de Ph, también se fue registrando los valores de las temperaturas de los 3 tratamientos, el cual tienen un rango de 30° a 34,1° C, como se muestra en la figura 4.

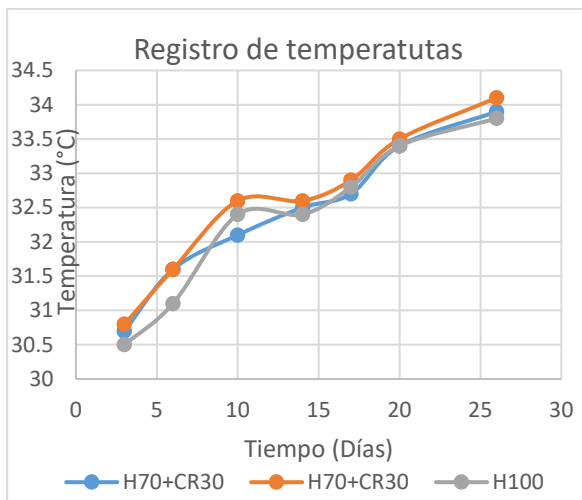


Figura 4. Esquema del registro de temperaturas para los 3 reactores.

Mediante el programa de simulación ASPEN HYSYS pudimos calcular el poder calorífico y la temperatura de flama adiabática del sistema, este resultado se aprecia en la Tabla 8.

Tabla 8. Propiedades de la combustión del biogás obtenidas por el software ASPEN HYSYS.

Tabla de porcentaje en la cromatografía		
Biogás	Poder Calorífico (LHV KJ/kg)	Temperatura De flama adiabática (°C)
H100	15,11	1812
H70-CR30	16,93	1832

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Conclusiones

La biomasa es una fuente de energía alternativa que nos permite darle mayor provecho a recursos energéticos producto de actividades como la ganadería que generan biomasa, de los resultados podemos destacar que el gas producido por la mezcla H70-CR30 tiene mejores propiedades con un poder calorífico 12% mayor que la mezcla H-100, al igual que para la temperatura de flama adiabática con un 1,2 % mayor, además del registro de presiones para el día 41 en los tanques de la mezcla H70-CR30 tuvo una presión de entre 63-80 % y fueron superiores durante todo el proceso, además de un porcentaje de metano 10,4 % mayor a la mezcla H-100, por lo cual estas materias primas tienen gran potencial para su uso en la producción de biogás.

Por parte de la variable pH, se concluye que desde que se toma la muestra hasta el fin del proceso hay una variación razonable, porque comienza con un pH de 7.4, luego disminuye con un pH de 5.9 y luego aumenta hasta llegar el valor a 7.3.

Para finalizar, podemos afirmar que la cogeneración en el proceso de la digestión anaeróbica aumenta la producción de biogás, lo cual ayuda a generar un mayor porcentaje de metano en el volumen del biogás.

2.4. Agradecimientos

Los autores agradecen al Programa Colombia científica como fuente de financiación, en el marco de las convocatorias Ecosistema científico, contrato No. FP44842- 218-2018, y a la Universidad de Córdoba como fuente de financiación, en el marco de la Convocatoria Interna de proyectos de investigación enmarcada en la Sostenibilidad de los Grupos de investigación, así mismo al programa de Maestría en Ingeniería Mecánica.

2.5. Referencias

- [1] Ang, B. W., Choong, W. L., & Ng, T. S. (2015). Energy security: Definitions, dimensions and indexes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1077–1093.
<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2014.10.064>

[2] Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia, Bogotá (2015)

[3] Ebrahimi, A., & Houshfar, E. (2022). Thermodynamic analysis and optimization of the integrated system of pyrolysis and anaerobic digestion. *Process Safety and Environmental Protection*, 164, 582–594. <https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2022.06.043>

[4] Lin Long, Shah Ajay, Keener Harold, & Li Yebo. (2019). Techno-economic analyses of solid-state anaerobic digestion and composting of yard trimmings. *Waste Management*, 85, 405–416. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2018.12.037>

[5] J. D. Rhenals-Julio, J. M. Mendoza, T. De la Vega & F. J. Sofan, “Evaluación energética de la co-combustión de contenido ruminal-metano en frigoríficos y mataderos del departamento de Córdoba-Colombia”, *LADEE*, vol. 2, no. 1, pp. 44–53, 2021.

[6] Young, L., & Pian, C. C. P. (2003). High-temperature, air-blown gasification of dairy-farm wastes for energy production. *Energy*, 28(7), 655–672. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(03\)00004-5](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(03)00004-5)