

Anaerobia digestion of sheep manure to produce biogas and biofertilizer

Digestión anaerobia de estiércol de ovino para producir biogás y bioabono

Amante-Orozco, Alejandro¹; Martínez-Esquivel, R.²; Rössel-Kipping, E. Dietmar¹;
Pimentel-López, José^{1*}; García-Herrera, E. Javier¹; Gómez-González, Adrián¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Iturbide 73. Salinas de Hgo., San Luis Potosí. México. ²Maestría Tecnológica en Producción Sustentable de Bioenergéticos. Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí.

*Autor de correspondencia: josep@colpos.mx

ABSTRACT

Objective: To test three different sheep manure management to produce biogas and biofertilizer.

Design/methodology/approach: A 2.51 m³ membrane reactor was used and three ways of preparing the manure were evaluated: fresh crushed, fresh without treatment and dry ground. Each treatment was evaluated for one month and the daily production of biogas, the ambient temperature and the pH of the effluent and the flowing were recorded. The nutritional content of the digest was analyzed.

Results: The highest production of biogas (1.20 m³ día⁻¹) was obtained with fresh crushed manure, and was statistically higher than that generated with fresh untreated manure (0.86 m³ día⁻¹) and dry ground manure (0.75 m³ día⁻¹). These yields were from 0.05 to 0.08 m³ of biogas per kg of manure fed. The liquid effluent showed a low content of nutrients, however, about 56 liters were obtained daily. The mud, on the other hand, presented important contents of nutrients that makes it a material with high potential as a biofertilizer.

Limitations on study/implications: During the evaluation of untreated fresh manure and dry ground manure the ambient temperature was higher, but the biogas production was lower.

Findings/conclusions: It was demonstrated that good production of biogas and biofertilizers can be obtained from sheep manure by means of their anaerobic digestion in a tubular biodigester.

Keywords: Tubular biodigesters, biofuels, organic waste treatment.

RESUMEN

Objetivo: Evaluar tres diferentes manejos de estiércol de ovino para producir biogás y bioabono.

Diseño/metodología/aproximación: Se usó un reactor de geomembrana de 2.51 m³ y se evaluaron tres formas de preparar el estiércol de ovino: fresco triturado, fresco sin tratamiento y seco molido. Cada manejo se evaluó por un mes y se registró la producción diaria de biogás, la temperatura ambiente y pH del afluente y del efluente. Se analizó el contenido nutrimental del digerido.

Resultados: La mayor producción de biogás (1.20 m³ d⁻¹) se obtuvo con el estiércol fresco triturado, y fue estadísticamente mayor al generado con estiércol fresco sin tratar (0.86 m³ d⁻¹) y con estiércol seco molido (0.75 m³ d⁻¹). Estos rendimientos fueron de 0.05 a 0.08 m³ de biogás por kg de estiércol alimentado. El efluente líquido mostró bajo contenido de nutrientes, no obstante diariamente se obtuvieron alrededor de 56 L. El lodo, en cambio, registró contenidos importantes de nutrientes que lo hace un material con alto potencial como bioabono.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Durante la evaluación del estiércol fresco sin tratamiento y seco molido la temperatura ambiente fue mayor, pero la producción de biogás fue menor.

Hallazgos/conclusiones: Se demostró que a partir del estiércol de ovino se puede obtener buena producción de biogás y bioabonos, mediante su digestión anaerobia en un biodigestor tubular.

Palabras clave: Biodigestores tubulares, biocombustibles, tratamiento de residuos orgánicos.

estiércol de ovino, del cual se evaluó su potencial para producir biogás en un biodigestor bajo tres formas diferentes de manejo: Fresco triturado, fresco sin tratar y seco molido. Al residuo utilizado se le realizó un análisis químico proximal.

El contenido de humedad se determinó por su eliminación en estufa de secado a 105 °C hasta peso constante (AOAC, 2002). Los sólidos totales se determinaron por diferencia entre el peso fresco de la muestra y su contenido de humedad. Las cenizas se determinaron mediante la norma NMX-Y-093-SCFI-2003, que se basa en la calcinación de la materia orgánica (MO) o sólidos volátiles, los cuales se determinaron por diferencia en el peso de la muestra calcinada. Para determinar el contenido de proteínas, primero se determinó el contenido de nitrógeno con el método de Dumas, el cual se multiplicó por el factor 6.25 para estimar el contenido de proteínas. Para determinar las grasas se empleó la norma NMX-F-089-S-1978. Los carbohidratos se obtuvieron por diferencia, restando a los sólidos volátiles los contenidos de proteínas y grasas. También se determinó el carbono orgánico al multiplicar la MO por el factor 0.57, para obtener su relación carbono/nitrógeno (C/N).

Se utilizó un biodigestor tubular de geomembrana de 5 m de largo y 0.8 m de diámetro y un volumen de 2.5 m³ (Figura 1 y 2), así como un reservorio para el biogás de 1 m³ (Figura 3). El reactor se colocó en una pileta que en sus extremos cuenta con piletas menores, una para alimentar el sustrato (afluente) y otra para la salida del digerido (efluente). Se dio una pendiente de 5% en la salida para favorecer el flujo del sustrato.

INTRODUCCIÓN

Alrededor del 90% de la energía que se consume en el planeta proviene de fuentes fósiles, con lo cual se emite grandes cantidades de gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global (Avella, 1999), y a la par, grandes cantidades de residuos orgánicos se generan en la obtención y transformación de productos agropecuarios. Según FAO (2015), en México se desperdicia en promedio el 37% de los productos agropecuarios alimenticios, los cuales cuando no son bien manejados provocan problemas de contaminación y sanidad.

Una alternativa atractiva que coadyuve a la solución de esta problemática, consiste en la utilización y tratamiento de esos residuos para obtener biocombustibles mediante su digestión anaerobia en reactores (Abbasi *et al.*, 2012; Bohutskyi y Bouwer, 2013), con lo cual los residuos se revalorarían. Esta alternativa resulta aún más interesante en zonas rurales con alta marginación donde el suministro de energía convencional es nulo o muy deficiente, de ahí que la aplicación de esta biotecnología les proveería a sus habitantes de energía para su autoconsumo, además de obtener un bioabono de calidad con los beneficios socioeconómicos y ambientales que ello implica.

Uno de los residuos orgánicos de mayor disponibilidad en zonas rurales son los estiércoles, la mayoría de los cuales posee características que los hace susceptibles de ser usados para producir biogás mediante su fermentación anaerobia con el uso de biodigestores, además de responder muy bien a la codigestión con otros residuos agrícolas (Treviño-Amador *et al.*, 2013). Para condiciones de zonas rurales, los biodigestores deben ser sencillos de operar y de costo financiero accesible. En el mercado existen biodigestores tubulares de geomembrana con dichas características, y su mayor duración compensa su costo en relación a los fabricados con polietileno. En este trabajo, se utilizó estiércol de ovino para obtener biogás mediante su fermentación anaerobia en un biodigestor tubular de geomembrana, para lo cual se probaron tres formas diferentes de manejo del residuo antes de incluirlo al biodigestor y evaluar su efecto en la cantidad de biogás generado y subproductos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en Salinas de Hidalgo, SLP, México, donde la temperatura media anual oscila de 12 a 18 °C. Por su disponibilidad en la región se utilizó

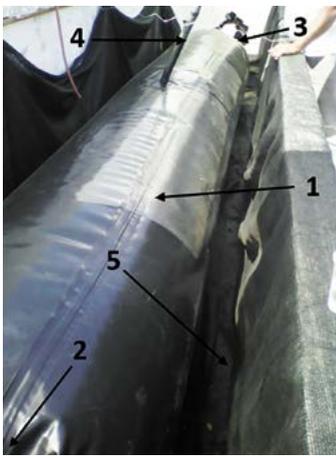


Figura 1. Aspecto general del biodigestor tubular de geomembrana: 1: Cuerpo del biodigestor, 2: Alimentación del afluente, 3: Salida del efluente, 4: Salida del biogás al reservorio, 5: Pileta con cubierta.

kg mezclados con 42 L de agua, lo que representó un contenido de sólidos totales de 7.32%.

Se registró diariamente el valor del pH tanto del afluente como del efluente, la temperatura ambiental y la producción de biogás. Al afluente y efluente también se les determinaron los sólidos volátiles, esto una vez para cada uno de los manejos del estiércol. Asimismo, tanto al efluente como a los lodos de salida se les realizó una caracterización química para valorar su potencial como biofertilizantes o bioabonos. Para la producción de biogás se realizó un ANOVA para un diseño completamente aleatorio y una comparación de medias con la prueba de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presenta el análisis proximal del estiércol de ovino junto con los resultados reportados por otros autores. Los resultados obtenidos son similares a los encontrados por Belleza (2015) y en mayor grado diferentes a los indicados por Varnero (2011) en Sudamérica. Esta composición de los sólidos volátiles en el residuo utilizado, con alto predominio de carbohidratos, no es la óptima, ya que estos compuestos producen menor volumen de biogás por unidad de masa, lo opuesto a las grasas (Varnero, 2011).

El estiércol presentó contenidos de 45.3% y 1.7% de carbono orgánico y de

De acuerdo a la temperatura del lugar y según recomienda Varnero (2011) se estableció un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 40 d, y según Varnero y Arellano (1990) para este tipo de biodigestores, el sustrato se preparó con una relación agua:estiércol de 3:1. El biodigestor se operó con un volumen efectivo de 2.26 m³. Bajo estas condiciones se determinó una carga diaria de estiércol de 14

kg mezclados con 42 L de agua, lo que representó un contenido de sólidos totales de 7.32%.

Se registró diariamente el valor del pH tanto del afluente como del efluente, la temperatura ambiental y la producción de biogás. Al afluente y efluente también se les determinaron los sólidos volátiles, esto una vez para cada uno de los manejos del estiércol. Asimismo, tanto al efluente como a los lodos de salida se les realizó una caracterización química para valorar su potencial como biofertilizantes o bioabonos. Para la producción de biogás se realizó un ANOVA para un diseño completamente aleatorio y una comparación de medias con la prueba de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presenta el análisis proximal del estiércol de ovino junto con los resultados reportados por otros autores. Los resultados obtenidos son similares a los encontrados por Belleza (2015) y en mayor grado diferentes a los indicados por Varnero (2011) en Sudamérica. Esta composición de los sólidos volátiles en el residuo utilizado, con alto predominio de carbohidratos, no es la óptima, ya que estos compuestos producen menor volumen de biogás por unidad de masa, lo opuesto a las grasas (Varnero, 2011).

El estiércol presentó contenidos de 45.3% y 1.7% de carbono orgánico y de



Figura 2. Unión de los componentes del biodigestor: a: cuerpo del biodigestor con salida del biogás en la parte superior, b: cuerpo y reservorio unidos mediante un tramo de tubería de PVC.

nitrógeno, respectivamente, por lo que su relación C/N fue de 26:1, la cual está dentro del rango considerado como óptimo (20:1 a 30:1) para la fermentación anaerobia de residuos orgánicos (Varnero, 2011). Belleza (2015) obtuvo una relación de 21:1 para el estiércol de ovino, en tanto que Varnero (2011) reportó la relación 35:1. La producción diaria promedio de biogás fue mayor (1.20 m³) con el estiércol fresco triturado en relación a los otros manejos (Cuadro 2).

La producción de biogás durante la fermentación anaerobia se favorece con la temperatura (Varnero, 2011). No obstante que durante la evaluación del estiércol fresco sin tratar y seco molido la temperatura fue mayor, la producción de biogás fue menor, en condiciones similares de temperatura la diferencia pudo ser mayor.



Figura 3. Aspecto del reservorio para el biogás por encima de la pileta. 1: Reservorio de geomembrana, 2: Pileta cubierta con plástico para efecto invernadero, 3: Conexión al biodigestor para transmisión del biogás.

Para varios autores, como Varnero (2011), la digestión anaerobia actúa bien en un rango de pH de 6.0-8.0. El pH promedio del afluente, en el presente caso fue mayor (8.2-8.5) a este rango; sin embargo, no se observaron limitaciones en la generación de biogás. Es notable que el estiércol fresco que mostró el mayor pH en el afluente (8.5) resultó con el menor valor en el efluente (7.1).

En Bolivia, Martí (2008) reportó producción de biogás de 0.2 m³ d⁻¹ con biodigestores tubulares de 5 m³ similares al usado en este trabajo, la cual resulta muy inferior a la obtenida en este

(2010) obtuvieron resultados exitosos en el uso de lodos y afirman que la mayor ventaja de la aplicación de los digeridos se debe a la presencia de nitrógeno en forma amónica, el cual es rápidamente convertido a nitrato y disponible para el cultivo.

Diariamente se producen alrededor de 56 ltros de efluente, lo que representa una fuente considerable de nutrientes. Stobbia *et al.* (2017), reportan que el uso de efluente a una concentración de 25% en agua, suministró nutrientes, proteínas, sustancias hormonales y bacterias biocontroladoras, que promovieron el poder germinativo y el crecimiento de plántulas de hortalizas, por lo que su uso representa una excelente alternativa que compite con los fertilizantes convencionales. Los contenidos en el lodo de los principales macronutrientes obtenidos en este trabajo, se encuentran dentro de los rangos reportados por otros autores para estiércoles (Cuadro 4). Los resultados obtenidos coinciden a los reportados por PROBIOGAS (2010) donde usaron una mezcla de estiércol de bovino y tabaco (*Nicotiana tabacum* L.).

La incorporación al suelo de sustratos orgánicos, como los lodos, permiten mejorar su estructura, lo que aminora los problemas de compactación y propensión a la erosión, a la vez que elevan su capacidad de retención de humedad. En ese sentido, Mandujano (1981) afirma que un metro cúbico de bioabono aplicado directamente, es capaz de suministrar hasta 200 kg de N, de los que las plantas podrán disponer entre 60 y 70 kg en el primer año.

CONCLUSIONES

El estiércol fresco triturado produjo 1.2 m³ d⁻¹ de biogás, rendimiento

Cuadro 1. Análisis proximal realizado al estiércol de ovino referenciados bibliográficamente.

Variable (%)	Este trabajo	Varnero (2011)	Belleza (2015)
Humedad	70.7	55-68	73.5
Sólidos totales	29.3	32-45	26.5
Sólidos volátiles	79.0	75	81.8
Cenizas	21.0	25	18.2
Proteína ¹	10.9	3.75	14.3
Grasas ¹	1.1	6.3	4.1
Carbohidratos ¹	88.0	64	81.6

¹ en base seca.

Cuadro 2. Producción de biogás con los tres manejos del estiércol de ovino y condiciones de pH y temperatura durante su medición.

Manejo del estiércol	pH		Temperatura ambiente (°C)	Producción de biogás (m ³ d ⁻¹)
	Afluente	Efluente		
Fresco triturado	8.5	7.1	19.0	1.20 a
Fresco sin tratar	8.2	7.6	22.5	0.86 b
Seco molido	8.2	7.4	20.3	0.75 b

Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey $\alpha=0.05$).

trabajo (0.75-1.2 m³ d⁻¹), aunque las temperaturas en Bolivia fueron menores de 10 °C, lo que explicaría estas diferencias. Varnero (2011) menciona un factor de producción de 0.05 m³ de biogás por kg de estiércol fresco de ovino. Los factores de producción en este trabajo fueron de 0.05 a 0.08 m³ kg⁻¹ de estiércol fresco, que son iguales o mayores a los reportados por Varnero, los cuales se obtuvieron en Sudamérica, principalmente en Bolivia, donde las temperaturas son menores y la generación de biogás es menos eficiente.

En cuanto al potencial del digerido (efluente y lodos) para ser usados como biofertilizantes y bioabonos, se observaron cantidades significativamente mayores de macro y micro nutrientes en el lodo (Cuadro 3), el cual aún contiene alrededor de 12% de materia orgánica, lo que lo convierte en una fuente importante de nutrientes y un excelente abono para mejorar el suelo, sobre todo en aquellos empobrecidos con bajos contenidos de materia orgánica y baja fertilidad.

Stobbia *et al.* (2017), encontraron que el uso del lodo tiene es eficiente para mejorar los suelos y la retención de humedad. También en el proyecto PROBIOGAS

Cuadro 3. Conductividad eléctrica, pH, macro y micro elementos en efluente y lodos.

Variable	Efluente	Lodo
Cond. Eléctrica (dSm ⁻¹)	15.8	15.9
pH	7.4	8.9
* Nitrógeno total (%)	0.16	2.02
* Fosforo (P ₂ O ₅) (%)	0.02	0.68
* Potasio (K) (%)	0.36	2.14
* Calcio (Ca) (%)	0.11	3.00
* Magnesio (Mg) (%)	0.04	0.58
* Sodio (Na) (%)	0.06	0.42
* Azufre (S) (%)	0.02	0.55
* Hierro (Fe) mg kg ⁻¹	24	2296
* Cobre (Cu) mg kg ⁻¹	0.5	16.5
* Manganeso (Mg) mg kg ⁻¹	3.8	204.0
* Zinc (Zn) mg kg ⁻¹	1.8	91.6
* Boro (B) mg kg ⁻¹	2.1	45.3

* Resultados reportados en base húmeda.

Cuadro 4. Contenidos (porcentaje en base húmeda) de nutrientes en bioabonos reportados por varios autores.

Elemento	Este trabajo (lodo)	Varnero (2011)	Aso y Bustos (1991)	Botero y Preston (1987)	PROBIOGAS (2010)
N	2.02	2.0-3.0	1.55	2.6	2.28
P	0.68	1.0-2.0	2.92	1.5	0.85
K	2.14	1.0	0.74	1.0	2.39
Ca	3.00	-	3.20	-	-
Mg	0.58	-	0.57	-	-

superior estadísticamente al volumen producido con el estiércol fresco sin tratar de $0.86 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ y de $0.75 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ con el estiércol seco molido. En cuanto a los digeridos, los lodos mostraron mayor concentración de macro y micronutrientes, así como de materia orgánica, en relación a los efluentes, que los vuelve un subproducto de la digestión anaerobia con alto potencial como bioabono. Los efluentes, por su parte, aun cuando contienen cantidades menores de nutrientes, su producción es diaria y en cantidades apreciables, de tal manera que su valor potencial como biofertilizantes también resulta interesante. Los resultados obtenidos demuestran que a partir del estiércol de ovino se puede obtener buena producción de biogás y bioabonos de buena calidad.

LITERATURA CITADA

- Abbasi, T., Tauseef, S.M., Abbasi, S.A. (2012). Biogas energy. SpringerBriefs in Environmental Science 2. New York: Springer.
- Association of Official Analytical Chemists International. (2002). Official methods of analysis of AOAC International. 16a edition. Mr., E.U.
- Aso, P.J., Bustos, N.V. (1991). Uso de residuos orgánicos, estiércol y cachaza, como abonos. Avance agroindustrial 44. Estación experimental agroindustrial. Tucumán, Argentina.
- Avella, J.C. (1999). La eficiencia energética y competitividad: Una visión empresarial. Ingeniería química, 31 (357),191-197.
- Belleza, J.C. (2015). Producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos orgánicos de tuna de nopal (*Opuntia* spp.). Tesis profesional. Instituto Tecnológico de Oaxaca. México.
- Bohutskyi, P., Bouwer, E. (2013). Biogas production from algae and cyanobacteria through anaerobic digestion: A review, analysis, and research needs. In: Weifu, L.J. (ed.). Advanced biofuels and bioproducts Vol. 1. New York: Springer.
- Botero, B.R., Preston, R.T. (1987). Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas: Manual para su instalación, operación y utilización. Cali, Colombia.
- FAO. (2015). Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y El Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Boletín 2.
- Mandujano, A.M.I. (1981). Biogás: Energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos. Manual para el promotor de la tecnología. Organización Latinoamericana de Energía. Cuernavaca, Morelos. México.
- Martí, H.J. (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. Cooperación Técnica Alemana (GTZ), Programa de Desarrollo Agropecuario (PROAGRO), Componente Acceso a Servicios Energéticos. La Paz, Bolivia.
- NMX-F-089-S-1978. Determinación de extracto etéreo (método soxhlet) en alimentos. Foodstuff-determination of ether extract (Sohxhlet). Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- NMX-Y-093-SCFI-2003. Alimentos para animales – Determinación de cenizas en alimentos terminados e ingredientes para animales – Método de prueba.
- PROBIOGAS. (2010). Desarrollo de un modelo sostenible de producción de biogás y obtención de otros compuestos valorizables a partir de cultivos energéticos autóctonos y no alimentarios (tabaco y chumbera). Recuperado de [http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/40F10B203B986744C12579C3004D99D4/\\$FILE/SP7.pdf](http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/40F10B203B986744C12579C3004D99D4/$FILE/SP7.pdf)
- Stobbia, D., Viera, F.B., Dutto, J., Ledesma, A. (2017). Evaluación de biofertilizante líquido y sólido como residuos energéticos provenientes de la biomasa degradada por biodigestión en la producción de plantines hortícolas en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Córdoba, Argentina. 6th International Workshop Advances in Cleaner Production. Sao Paulo, Brazil. 5 p.
- Treviño-Amador, I.A., Méndez-Llorente, F., López-Carlos, M.A., Aguilera-Soto, J.I., Ramírez-Lozano, R.G., Núñez-González, M.A., Zuñiga, E.J.C., Fuentes-Rodríguez, J. (2013). Biogas production from *Opuntia ficus-indica* and dairy cattle manure. Proc. 7th International Congress on Cactus Pear and Cochineal. Acta Hort, 995, 339-342.
- Varnero, M.M.T. (2011). Manual de biogás. Gobierno de Chile, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y Agricultura. Santiago de Chile.
- Varnero, M.M.T., Arellano, J. (1990). Aprovechamiento racional de desechos orgánicos. Ministerio de Agricultura (FIA). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Informe Técnico. Santiago de Chile, 98 p.
- Zamora, F., Durán, N., Medina, M., Torres, D., Acosta, Y., Moreno, R., & Zamora, F. J. (2011). Comportamiento agronómico de cultivares de tártago (*Ricinus communis* L.) en el sector Cuabana, Falcón, Venezuela. Revista Multiciencias, 11(2), 129-135.