

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON BIOGÁS PRODUCIDO CON EXCRETAS DE BOVINOS

¹Vidal Santo Adrián, ²Canudas Lara Eduardo G., ³Canudas Hawks Eduardo D., ¹Zamudio Zamudio Teresa De Jesús, ¹Viguera Zúñiga Marco O.

¹Facultad de Ingeniería Región Veracruz, Universidad Veracruzana
Av. Adolfo Ruiz Cortines, No. 455, Fracc. Costa Verde, CP 94294, Boca del Río, Ver.
Teléfono: (01 229) 775 2000 Ext. 25119, email: avidal@uv.mx

²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Región Veracruz, Universidad Veracruzana
Circunvalación Esq. Yáñez s/n, Col. Unidad Veracruzana, C.P. 91710
Veracruz, Veracruz, México, email: ecanudas@uv.mx

³Faculty of Applied Sciences, Delft University of Technology
Lorentzweg 1, 2628 CJ, Delft, The Netherlands

avidal@uv.mx, ecanudas@uv.mx, ecanudas@gmail.com, tzamudio@uv.mx mvigueras@uv.mx

RESUMEN

Se produjo biogás a partir de excretas de bovinos de leche de doble propósito. Esta fuente de energía renovable puede ser usada directamente para cocinar en una estufa de gas o para la generación de energía eléctrica con un generador eléctrico a gasolina rediseñado para consumir el biogás. Respecto a la calidad del biogás se realizaron pruebas analíticas para saber la concentración de metano (CH₄) y si el diseño del filtro de virutas de hierro fue dimensionado adecuadamente para atrapar el ácido sulfhídrico (H₂S) del biogás. Respecto a la producción de energía eléctrica se probaron diferentes esquemas de generación hasta encontrar el más factible de realizar, logrando que se mantuviera la calidad de la energía en un rango aceptable de voltaje (~120 V) y frecuencia (~60 HZ). Durante esta prueba se produjeron 0.226 kWh de electricidad y se consumieron 222 L de biogás, esto daría una equivalencia de 1.6 kWh diarios por cada biodigestor de 5,000 L, lo que le permitiría al productor operar el motor de una ordeña durante 2.14 horas a partir de los desechos de sus vacas.

ABSTRACT

Biogas was produced from dual purpose dairy cattle manure. This source of renewable energy can be used directly for cooking on a gas stove or for producing electricity with a gasoline powered generator redesigned to consume biogas. Regarding the quality of biogas, laboratory tests were made to determine the concentrations of methane (CH₄) and whether the design of the iron shavings filter was properly sized to trap the hydrogen sulfide (H₂S) from the biogas. Regarding the production of electricity, different scheme were tried to find the most feasible procedure, and it was achieved to

maintain a good quality of energy in an acceptable range of voltage (~120 V) and frequency (~60 HZ). In this test was generated 0.226 kWh of electricity with a consumption of 222 L of biogas, this would give an equivalent of 1.6 kWh per day per biodigestor of 5,000 L, which would allow the producer to operate the motor of the dairy machine for 2.14 hours with the energy of the manure of the cows.

Palabras claves: Energías renovables, biomasa, sostenibilidad, cambio climático.

INTRODUCCIÓN

En las tres últimas décadas se ha comentado que los hidrocarburos se están agotando y que se deben comenzar a usar las energías renovables. Sin embargo, el promover el uso de las energías alternativas ha sido, en muchos de los casos, solamente un discurso político o una bandera de alguna organización. Se requiere analizar, diseñar y poner en marcha dispositivos que puedan transformar esa energía en beneficio de las comunidades. La energía eléctrica y térmica en las zonas rurales es una necesidad que muchas familias no pueden pagar. En este sentido, las investigaciones giran en torno al diseño de dispositivos de bajo costo, que puedan aprovechar la energía solar para el secado de granos y frutas, la energía de los vientos y mareas para generar energía eléctrica, la biomasa para producir biogás, etc. Los autores de este trabajo, contribuyen con investigaciones en esta área e iniciaron desde hace tres años la producción de biogás con excretas de ganado, que en una primera etapa fue producir biogás para aplicaciones de fuego directo como la cocción de alimentos; en una segunda etapa se estudió la factibilidad de usar el biogás para operar un sistema de refrigeración por absorción y recientemente se investiga y se experimenta con la producción de energía eléctrica

con motores de pequeña escala rediseñados para operar con biogás.

Se busca con ésta y otras investigaciones en las que se está trabajando, demostrar, como en otros países, que la demanda de energía en zonas rurales puede ser parcial o totalmente suministrada mediante el aprovechamiento de las energías renovables.

Antecedentes

La producción de biogás con desechos orgánicos no es un tema nuevo en la comunidad científica, de hecho, existe una gran variedad de biodigestores que han demostrado desde hace muchos años ser muy eficientes como se describe en Vandevivere et al. (2002) y en Singh y Prerna (2008). De manera que el reto no está en el diseño del biodigestor sino en el aprovechamiento del biogás en sistemas de producción de energía eléctrica, potencia o enfriamiento. Investigaciones recientes (Mueller, 2007, Pipatmanomai et al., 2008 y Lansinga et al., 2008) han demostrado que el biogás puede ser utilizado en sistemas de generación de electricidad y en sistemas de calentamiento. Vidal et al. (2009) demostraron que el biogás puede ser usado para operar un sistema de refrigeración por absorción.

Para la generación de energía eléctrica la concentración de metano en el biogás deberá ser superior al 61% para garantizar el buen funcionamiento del generador, además de mantener una presión manométrica de alimentación en un rango de 7 a 21 kPa (Quesada et al., 2007). Coto et al. (2007) realizaron pruebas con soluciones a base de calcio para atrapar parte del CO₂, CO y H₂O, resultando ser el óxido de calcio (CaO) la que mejor atrapó estos componentes del biogás e incrementando la pureza de éste en un 12%.

METODOLOGÍA

El presente estudio se realizó en la Posta Zootécnica "Torreón del Molino" (PZTM) localizada en la Carretera Federal Veracruz-Xalapa km 14.5, Colonia Progreso, Tejería, dependiente de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Veracruzana (Herrera, 2010; Fuentes, 2011). El clima de la región registra una temperatura media anual de 25.3°C, siendo la temperatura máxima de 40°C, y la mínima de 17°C, y una precipitación anual acumulada de 1750 mm. Los vientos dominantes del norte y noroeste son de 30 a 40 km/h, los cuales pueden alcanzar rachas arriba de los 100 km/h.

Los biodigestores se instalaron en mayo del 2009 en un terreno adyacente a la sala de ordeña de la PZTM, este terreno era utilizado para depositar las excretas y basura orgánica de las vacas de ordeña sobre la superficie de una manera desordenada. Los cinco biodigestores son de flujo continuo y fueron construidos a partir de tinacos de

plástico reforzados para agua, con capacidad de 5,000 L c/u. Se diseñaron para que el 75% del volumen del tinaco sea para la fase líquida y el 25% para almacenamiento del biogás. Finalmente fueron enterrados en una fosa de 2 m de ancho x 11 m de largo, quedando la parte superior del biodigestor al nivel del suelo, ubicados en paralelo (Fig. 1).



Fig. 1. Biodigestores de 5,000 L cada uno, a la izquierda los registros de entrada de las heces y a la derecha registro de salida del organilodo, las mangueras son la salida del biogás.

Adicionalmente se instaló una bolsa triple de tubo de polietileno calibre 600 con capacidad de 3,000 L para almacenamiento de biogás. Las características del biodigestor son:

- 1) Una carga de materia orgánica seca (MOS) entre 1.0 y 2.0 kg/m³
- 2) Un tiempo de retención (TR) de esta MOS entre 30 y 50 días, y
- 3) Un contenido de materia seca (MS) del afluente entre 5 y 10%. Esto se logró con la adición de 5.0 kg de MOS más 37.5 L de agua fresca diariamente para cada biodigestor.

La fase de trabajo duró del 2 de noviembre de 2009 al 15 de diciembre de 2010. Las variables de respuesta que se tomaron en el siguiente experimento fueron:

- 1) Cantidad de biogás producido por día
- 2) Cantidad de biogás producido por kg de MOS y
- 3) Electricidad generada por m³ de biogás con un motogenerador de 3000 W de 160 cc.

Al motogenerador se le adaptó en el carburador un Venturi y un regulador de flujo del biogás. El biogás se suministró al generador con un soplador eléctrico sellado herméticamente en un tubo de PVC para evitar que el biogás se mezclara con aire. El soplador era capaz de mantener una presión de 3 kPa y un flujo de 18 L/m que era necesario para suministrar al motogenerador.

Análisis químico del biogás

Para conocer el porcentaje de CH₄ en el biogás se tomaron muestras de dos de los biodigestores que estaban en producción. Se contó con el apoyo de la Dra. Maricela Fernández y el Dr. Evaristo Ávila, quienes analizaron las muestras de biogás en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) usando un cromatógrafo de gases modelo Varian 3600.

Las condiciones de operación fueron:

Temperatura del detector 120°C
Temperatura de la columna 100°C
Temperatura del inyector 120°C
Gas de arrastre Argón
Flujo de 25 ml/min.

Después de realizar el análisis cromatográfico se pudo observar una buena producción de gas metano en los biodigestores ya que el porcentaje de CH₄ fue en promedio del 55%.

Debido a que hay rastros de H₂S en el biogás, se diseñaron e instalaron filtros de virutas de hierro en la línea de conducción, por lo que también se tomaron y analizaron muestras para saber si estos filtros eran eficientes para la disminución de H₂S en el biogás. Se contó con el apoyo de la Ing. Astrid Toscano quien usó el método de titulación iodométrica con sulfato de cadmio para analizar las muestras *in situ* tomadas antes y después de los filtros.

Datos de las condiciones de los biodigestores para este análisis.

T_{gas}: 29°C
P_{bar}: 30 cm de columna de agua = 0.905 inHg
P_{trab}: 30 cm de columna de agua = 0.905 inHg
P_{vap}: 1.182 inHg

En la Tabla 1 se muestran los valores de la concentración del ácido sulfhídrico antes y después de pasar por los filtros de virutas de hierro. Se puede apreciar que con la torre 1 hubo una disminución del 26% del H₂S y 33% en la torre 2, con lo que se demuestra la efectividad de los filtros de viruta de hierro para la absorción del H₂S del biogás (Fig. 2 y 3).

Tabla 1. Comparación del ácido sulfhídrico antes y después de pasar por el filtro de virutas de hierro.

| Pruebas | Antes del filtro ppm H ₂ S/m ³ | Después del filtro ppm H ₂ S/m ³ |
|---------|---|---|
| TORRE 1 | 0.0024 | 0.0018 |
| TORRE 2 | 0.0025 | 0.0017 |



Fig. 2. Proceso químico para determinar la concentración de H₂S.



Fig. 3. Instalación de los filtros de viruta y los medidores volumétricos de gas.

RESULTADOS

La producción de biogás se evaluó mediante la medición del volumen del biogás (m³ o su equivalente en L) producido por día con un medidor de gas, y esta lectura se realizó diariamente durante todo el experimento. La producción promedio diaria de biogás por cada biodigestor fue de 1,581 L a presión y temperatura estándar con una desviación estándar de 268 L, y la producción de biogás por kg de MOS fue de 324 L con una desviación estándar de 55 L (Herrera, 2010; Fuentes, 2011).

Este biogás producido puede ser usado directamente para cocinar en una estufa de gas o para generar electricidad a través de un generador de gasolina adaptado para biogás. Dado que el biogás producido es de bajo poder calorífico (PCI) se deberá tomar en cuenta las siguientes relaciones aire combustible (a/c) para una correcta combustión, ver Tabla 2.

El uso del biogás para cocinar fue de 8.3 L/min por hornilla en la estufa, lo que da un tiempo para cocinar de 3.1 horas/día tomando en cuenta una sola hornilla y un solo biodigestor (Canudas et al., 2010).

Tabla 2. Parámetros para la combustión del biogás (adaptado de Vidal et al. 2009)

| Porcentaje de CH ₄ en el Biogás | 55% | 60% | 70% |
|--|--------|--------|--------|
| Relación a/c | 6.3 | 6.9 | 8.9 |
| PCI [kJ/kg] | 16,613 | 18,124 | 22,927 |

La potencia alcanzada del generador con biogás puro fue de 0.724 kW. Se estima que con un biodigestor de 5,000 L se producirían 1.28 kWh diarios. Para producir esta energía de manera convencional se hubiera utilizado 0.55 L de gasolina. Esta producción de energía eléctrica permitiría operar una ordeñadora durante 1.7 horas.

Las pruebas de generación eléctrica usando biogás con 55% de CH₄ fueron óptimas durante 10 minutos de cada prueba, porque después se combinaban diferentes factores que provocaban el paro del generador eléctrico. Se comprimió el biogás, se le retiró la humedad, se probaron diferentes relaciones aire-combustible y no se logró generar electricidad por más de 10 min. Por tal razón en una segunda etapa de pruebas se le adaptó un kit de combustión al generador eléctrico, se diseñó y adaptó un soplador que mantenía constante el flujo de alimentación de biogás y se enriqueció éste agregando 7% de gas LP al volumen total del contenedor, mejorando con esto el poder calorífico inferior (PCI) del biogás en un 35% al pasar de 16,613 kJ/kg a 22,428 kJ/kg. Este incremento en el PCI del biogás sería equivalente a tener un biogás con ~ 70% de CH₄. Con estos arreglos se tuvo una mejor producción que superaron los 20 minutos y se decidió parar el generador eléctrico por la incertidumbre de causar posibles daños al soplador (Fig. 4-5).



Fig.4. Inicio de la experimentación con el generador eléctrico.



Fig. 5. Diseño del soplador, encapsulado para que no se contaminara el biogás con el aire.

Durante esta prueba se produjeron 0.226 kWh de electricidad y se consumieron 222 L de biogás, lo que es equivalente a 0.33 kWh/kg MOS, con una calidad de la energía en un rango aceptable de voltaje (~120 V) y frecuencia (~60 HZ) (Fig. 6). De esta manera se estima que se podrían producir 1.6 kWh diarios por cada biodigestor de 5,000 L. Esta producción de energía eléctrica le serviría a el productor operar el motor de una ordeña durante 2.14 horas a partir de los desechos de sus vacas.



Fig. 6. Voltaje y frecuencia del motogenerador operado con biogás.

CONCLUSIONES

La utilización de los biodigestores es una tecnología factible de usar en las empresas agropecuarias para utilizar de manera ecológica los desechos orgánicos, como en este caso las heces del ganado y los desperdicios de pasto. Esto reduce la contaminación ambiental y por ende la producción de gases efecto invernadero como es

el metano (CH₄), así como los malos olores, insectos transmisores de enfermedades, los parásitos intestinales y moscas que se reproducen en las heces, entre las principales.

La ventaja de usar el biogás para cocinar reduce la necesidad de cortar leña, o comprar gas LP comercial, lo que en el primer caso reduce la deforestación y en el segundo caso reduce la cantidad de gases efecto invernadero y además representa un ahorro de dinero para los productores.

Es posible generar electricidad a pequeña escala en ranchos de doble propósito exclusivamente con las heces del ganado que producen durante las 2 horas de ordeña a través de un generador de gasolina adaptado a biogás enriquecido con gas LP a razón de 7% por volumen de Biogás.

Se continuará con esta investigación para probar diferentes desechos orgánicos y cepas de bacterias metanogénicas en los biodigestores y se realizarán modificaciones al motogenerador para evaluar el desempeño de éste al variar el ángulo de adelanto de la chispa.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los Ing. Ezequiel Uscanga García e Ing. Raúl Yepez Serna, por su apoyo técnico en este proyecto y a los MVZ Guillermo E. Herrera Carrillo, Erick Valentín Fuentes Sánchez y José Antonio Andrade Salas, estudiantes de la FMVZ-UV.

REFERENCIAS

Canudas L., E.G., G.E. Herrera C., E.D. Canudas H., F.I. Juárez L., y M. Klauss. 2010. Producción de biogás a partir de desechos de bovinos como una alternativa de energía renovable. Memorias del XXIII Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Veracruz y II del Trópico Mexicano 2010. Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz, Ver., México. p.174.

Fuentes S., E. V. 2011. Producción de biogás a partir de excretas de bovinos. Tesis de Licenciatura, FMVZ - Universidad Veracruzana. Veracruz, Ver. México. 74pp.

Herrera C., G. E. 2010. Producción de biogás a partir de desechos de bovinos como una alternativa de energía renovable. Tesis de Licenciatura, FMVZ - Universidad Veracruzana. Veracruz, Ver. México. 84pp.

Coto, J.E., Maldonado, J.J., Botero, R., Murillo, J.V. 2007. Implementación de un sistema para generar

electricidad a partir de biogás en la finca pecuaria integrada de earth. *Tierra Tropical* 3 (2): 129-138.

Lansinga, S., J. Viquez, H. Martínez, R. Botero, J. Martínez. 2008. "Quantifying electricity generation and waste transformations in a low-cost, plug-flow anaerobic digestion system". *Ecological Engineering* 34 332-348.

Mueller, S. 2007. Manure's allure: Variation of the financial, environmental, and economic benefits from combined heat and power systems integrated with anaerobic digesters at hog farms across geographic and economic region. *Renewable Energy* 32 248-256.

Pipatmanomai, S., S. Kaewluan, T. Vitidsant. 2009. Economic assessment of biogas-to-electricity generation system with H₂S removal by activated Carbon in small pig farm". *Applied Energy* 86, 669-674.

Quesada, R., Salas, N., Arguedas, M., Botero, R. 2007. Generación de energía eléctrica a partir de biogás. *Tierra Tropical* 3 (2): 139-147

Singh, S.P., P. Prerna. 2009. Review of recent advances in anaerobic packed-bed biogas reactors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Vol. 13, (6-7), August-September 2009, 1569-1575.

Vandevivere P., De Baere L. and Verstraete W. 2002. Type of anaerobic digester from solid wastes. Biomethanization of organic fraction of Municipal solid wastes ed. By J. Mata-Alvares. IWA Publishing.

Vidal, A., Vega, A., Reyes, M., Cruz, M.A., Sánchez, C.A. 2009. Utilización del biogás producido con estiércol de vacas para la operación de un sistema de refrigeración por absorción. En: Congreso de Investigación de AcademiaJournals.com. Volumen I, Las Ingenierías, Boca del Río, Veracruz, México, 55-60.