

Utilización de biogás para fabricación de quesos en establos lecheros

A. Alvarado Lassmann^{1*}, A. Toral Alcántara², N.A. Vallejo Cantú¹, A. Martínez Sibaja, A. Alvarado Lassman¹
¹División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9 No. 852, Col. E. Zapata C.P. 94320, Orizaba, Ver., México

²Centro Regional de Optimización y Desarrollo de Equipo de Orizaba, Prol. de Calle 2 S/N Col. Agrícola Librado Rivera, Orizaba, Ver., México

*arturolassmann@gmail.com

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En México predominan los pequeños productores de ganado bovino contando con entre 5 y 20 cabezas de ganado (73.5% del total de granjas). SAGARPA los considera como productores de bajos ingresos por lo que no son de interés para grandes empresas de generación de energía, sin embargo tienen potencial para la producción y aprovechamiento de biogás a través de la digestión anaerobia de excretas, aplicado en pequeños establos lecheros que pueden utilizar este tipo de sistemas generando energía para la fabricación de quesos. En este estudio se presenta la elaboración, mejora y funcionamiento de los dispositivos necesarios para el aprovechamiento del biogás producido en un reactor anaerobio para excretas de ganado vacuno incluyendo los avances y experiencias en la gestión y utilización de biogás para la producción de quesos en establos pequeños.

Palabras clave: Reactor anaerobio, Biogás, Excretas bovinas

Abstract

In most cases in Mexico, livestock producers are very small between 5 and 20 cattle (73.5 % of farms); considered by SAGARPA as low-income producers so that they are not of interest to large companies specialized in power generation, but have potential for biogas production and use, such as small dairies that can use these systems generating energy for cheese production.

This study showed the development, improvement and operation of the devices needed to use the biogas produced in an anaerobic reactor for cattle manure including advances and experience in the management and use of biogas for the production of cheese in small stables.

Introducción

La bioenergía es una fuente estratégica para promover la transición hacia un patrón energético más sustentable, dominado por las energías renovables, a través del uso eficiente, descentralizado y equitativo de la energía. En el ámbito internacional la bioenergía está teniendo un desarrollo muy acelerado, que va desde iniciativas globales para promover el uso de estufas eficientes y limpias de leña a gran escala, hasta el desarrollo de sistemas masivos de producción, distribución, uso y certificación de biodiesel y bioetanol. Varias de las aplicaciones bioenergéticas son totalmente competitivas y ya constituyen complementos necesarios y estratégicos de los combustibles fósiles. De hecho, en la actualidad la bioenergía constituye el 77% del consumo de los recursos energéticos renovables en el mundo. [Masera-Cerutti *et al.*, 2011].

Manejada de manera sustentable, la bioenergía presenta numerosas ventajas desde la óptica socioeconómica y ambiental: es versátil; escalable; brinda aplicaciones para los principales usos finales de la energía (calor, electricidad, combustibles para el transporte); permite crear sinergias importantes entre los sectores agrícola-forestal, energético, industrial, ambiental y social; puede promover el desarrollo rural sustentable a través de la creación de fuentes de trabajo e inversiones en ese medio y puede transferir importantes recursos económicos desde las áreas urbanas hacia las áreas rurales. Además, la producción sustentable de biomasa brinda numerosos servicios ambientales de tipo local y global, lo que incluye la transformación de residuos en recursos económicos, control de la erosión del suelo, regulación del ciclo hidrológico y preservación del hábitat para la fauna silvestre.

El biogás es un subproducto valioso de la descomposición de los residuos del ganado proveniente de las operaciones de producción de carne o leche. Se produce cuando la fracción orgánica de las excretas se descompone anaeróbicamente. El biogás típicamente contiene entre 60 y 70% de metano, el cual es el constituyente primario del gas natural. La recuperación del biogás puede constituir una fuente de energía renovable económicamente viable y limpia que reduce además las emisiones de gases de efecto invernadero [Yurong *et al.*, 2011].

El biogás proveniente de las excretas del ganado puede quemarse para suministrar energía de autoconsumo en forma de energía eléctrica, calentamiento o enfriamiento, mientras que la electricidad remanente puede venderse.

En la mayoría de los casos en nuestro país, las unidades productivas son muy pequeñas de entre 5 y 20 cabezas de ganado (73.5% del total de granjas) [INEGI, 2013]; considerados por SAGARPA como productores de bajos ingresos por lo que no son de interés para grandes empresas de generación de energía, pero que tienen potencial para el aprovechamiento de biogás, como por ejemplo los pequeños establos lecheros que pueden utilizar este tipo de sistemas generando energía para la fabricación de quesos.

El impacto que puede tener el contar con un paquete tecnológico que permita el crecimiento económico y encamine hacia el desarrollo sustentable a estos pequeños productores motivó a desarrollar el presente trabajo de investigación en el que se incluyen los avances y experiencias en la gestión y utilización de biogás para la producción de quesos.

Metodología

Diseño e implementación de reactor anaerobio horizontal de geomembrana a escala piloto para el tratamiento de la excretas de ganado bovino.

El reactor se fabricó en geomembrana de PVC de 2 mm de espesor y con dimensiones 7.5 m de largo, 1.75 m de ancho y 1.6 m de profundidad. El reactor se depositó dentro de una zanja con las siguientes dimensiones 9 m de largo, 1.75 m de ancho y 1.2 m de profundidad. Además se implementó un tanque de alimentación con una capacidad de 0.8 m³ y un depósito de salida con una capacidad de 1 m³ donde se acumula el efluente tratado del reactor.

El tanque de alimentación tiene en el fondo una malla de 4 mm, en él se introdujeron diariamente las excretas producidas por las 11 cabezas de ganado, las cuales fueron diluidas con agua hasta una concentración de 3% sólidos volátiles, las excretas diluidas pasan al reactor de geomembrana por gravedad, con un tiempo de residencia hidráulica de 30 días aproximadamente. La alimentación es diaria en modo semicontinuo, retirando una cantidad equivalente a la alimentada en el reactor. [Alvarado-Lassmann *et al.*, 2014]

Sistema para el aprovechamiento del biogás

Una vez producido el biogás en el reactor anaerobio, este debe ser aprovechado ya que de otra manera el sistema se sobrepresionaría y esto puede provocar fugas en el reactor; siendo el metano más perjudicial a la atmósfera que el CO₂ además de que además se presentan problemas para lograr la alimentación del mismo.

El biogás debe ser manejado como cualquier otro gas combustible. Mezclas de biogás con aire en una relación de 1:20 forman un gas detonante altamente explosivo. Se debe tener cuidado con tuberías de gas en recintos cerrados que tengan fugas.

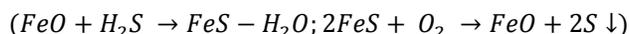
Para lograr la utilización del biogás se instaló una línea de conducción del biogás construida con manguera de poliuretano, contando con un declive de 5% con respecto al punto más elevado a la salida del reactor para permitir que el vapor de agua llegue al pozo de condensado.

Separación de vapor de agua del biogás

La tubería de gas debe estar provista de un sistema que permita eliminar el agua de condensación ya que generalmente el biogás está saturado con vapor de agua. Para llevar a cabo la separación del vapor de agua del biogás se diseñó y fabricó un pozo de condensado.

Separación de ácido sulfhídrico del biogás

El ácido sulfhídrico generado en la digestión anaerobia al mezclarse con agua condensada forma ácidos corrosivos por lo que deben tomarse precauciones ya que equipos como los refrigeradores y artefactos para agua caliente son sensibles a estos ácidos. Una solución que eleva los costos del sistema es considerar que la cámara de combustión y los quemadores deben estar hechos de acero colado, de acero especial o esmalte. Con ayuda de un filtro a base de óxido de hierro se puede purificar el biogás, eliminando el azufre de acuerdo con las siguientes reacciones:



El dispositivo que se diseñó y desarrollo para remover el H₂S consiste en reducir este compuesto pasando el biogás por una trampa de limadura de hierro.

Generación de energía calórica

La elección del quemador a utilizar se hizo en base a las recomendaciones de textos existentes de quemado de biogás y a la disponibilidad en el mercado local de los mismos. El quemador consiste en un aparato que mezcla un combustible con aire u oxígeno, y controla su combustión por medio de la regulación de la proporción de los mismos.

Caracterización del biogás producido

Se tomaron muestras periódicas de biogás para su caracterización por medio de cromatografía de gases con un equipo marca BUCK SCIENTIFIC, modelo 310 con columna CTR-I y utilizando helio como gas de acarreo, para determinación de porcentajes de oxígeno, nitrógeno, CO₂ y CH₄. Para medición de ácido sulfhídrico y comprobación del dispositivo de desulfurización se utilizó el principio de medición por colorimetría con un analizador de ácido sulfhídrico H₂S SICK MONOCOLOR.

Cuantificación del biogás producido

Debido a que la distancia entre el biodigestor y el quemador de biogás es grande y no se cuenta con un soplador o compresor para evitar gastos adicionales se utiliza solo la presión del biogás en la cámara de almacenamiento del biodigestor por lo que para iniciar la cuantificación del biogás primero se deja cerrada la salida de biogás del biodigestor el tiempo suficiente hasta notar un incremento en el efluente normal del reactor tomándose este punto como presión máxima en este momento se deberá abrir la salida de biogás y se procederá a la medición de biogás con un medidor de flujo másico marca SIERRA INSTRUMENTS, modelo TOP TRAK 820 hasta que la presión disminuya al grado de bajar la flama del quemador. Los siguientes 4 días se debe medir el biogás constantemente conectando el medidor a una computadora por medio de puerto serial RS-232 para poder totalizar los resultados obtenidos.

Evaluación del rendimiento y energía producida con el biogás

Para evaluar los resultados en cuanto al aprovechamiento del biogás se lleva a cabo el análisis de las cinco etapas que han sido aplicadas en el estable las cuales son:

- 1.- Calentamiento de agua para lavado de ubres de las vacas antes de ser ordeñadas.
- 2.- Calentamiento en hornilla de cocina para hervir leche.
- 3.- Motor de combustión interna de 4 H.P.
- 4.- Calentamiento para fabricación de gelatina de requesón.
- 5.- Fabricación de quesos.

Resultados y discusión

Separación de vapor de agua del biogás

Se pusieron a prueba dos tipos de pozos de condensado Figura 1; el primero con salida tipo U el cual no necesita ser operado ya que la purga es automática al rebasar el líquido la altura de la salida del pozo. Este tipo de pozo no fue conveniente debido a que cuando una persona se sube al digestor para manipular la llave de salida o tomar muestras la presión alcanzada en el biodigestor provoca la salida del líquido del tubo y en ocasiones la fuga de biogás. Figura 1(a). Se fabricó y probó un segundo tipo de pozo con válvula de salida el cual no presentó problema ya que se le incluyó una mirilla de nivel de líquido para indicar al operador cuándo deberá abrir la válvula de purgado Figura 1(b).

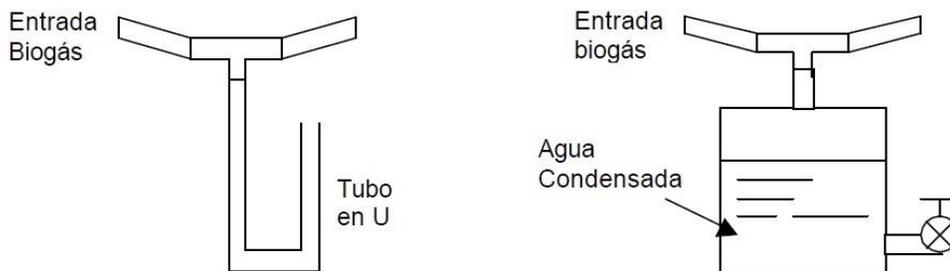


Figura 1 eliminación de agua de condensación en la tubería de biogás.
 a) Trampa de agua de tubo en U b) Separador de agua con válvula de drenaje

Separación de ácido sulfhídrico del biogás

Tomando en cuenta la capacidad máxima teórica de producción de biogás del reactor instalado de 5,540 L /d y la alimentación en modo batch de 150 Kg dividida en 2 cargas de 75 Kg de excretas; una a las 8 AM y la segunda a las 4 PM y un flujo máximo de biogás calculado de 250 L/h se llevó a cabo el diseño y desarrollo de un filtro de acero como se observa en la Figura 2.



Figura 2. Filtro de Acero en PVC cédula 80.

Especificaciones del filtro:

Diámetro interior:	4"
Longitud:	40"
Carga de limadura de hierro:	15 KG
Caudal máximo:	30 m ³ /h
Retención:	8.62 Kg / H ₂ S

Se analizó el biogás a la salida del reactor como referencia encontrándose en promedio la presencia de ácido sulfhídrico a razón de 15.96 ± 0.19 ppm; una vez instalado el filtro se obtuvo una proporción de 3 ppm y a los 5 días de funcionamiento se obtuvo 0.48 ppm. A los 12 meses se le cambió la carga de limadura de hierro y actualmente el filtro se ha operado por 14.5 meses (desde la recarga de hierro) y la proporción de H₂S promedio es de 0.52 ppm.

Aprovechamiento del biogás

Costo inicial de materiales y mano de obra de instalación del biodigestor (enero – mayo 2013): **\$ 17,900.00**

Para analizar los resultados obtenidos en cuanto al aprovechamiento del biogás se hace una comparación de las cinco etapas que se han realizado posteriores a la instalación, puesta en marcha, inoculación y periodo de estabilización del biodigestor:

- Etapa 1.- Calentamiento de agua para lavado de ubres de las vacas antes de ser ordeñadas
Una vez instalado el filtro de ácido sulfhídrico (18 de junio 2013) se hicieron pruebas de calentamiento con el biogás generado en una hornilla con quemador de aluminio y parrilla de hierro. Como al inicio todavía era evidente el olor a ácido sulfhídrico se optó por poner el quemador en un calentador de agua para el lavado de las ubres de las vacas antes de ser ordeñadas. Figura 3.

Costo de 1 calentador usado **\$ 500.00** utilidad del biogás en pesos: **\$221.70**

Tiempo transcurrido	Promedio de Producción diaria Biogás	Producción total aproximada	Aplicación:
39 días 20-06-2013 a 28-07-2013	3,640 L	141,960L	Calentamiento de 30L diarios de agua



Figura 3. Calentador de Agua con quemador de biogás.

Litros de gas ocupados para calentar agua: 8,600 L
Litros de gas quemados para vaciar el biodigestor: 133,360L (\$ 500.88)

- Etapa 2.- Calentamiento en hornilla de cocina para hervir leche.
El 29 de julio de 2013 se instaló una parrilla con dos hornillas para poder hervir leche Figura 4. Hasta esta fecha la leche del establo era vendida a ALPURA a un precio promedio de \$4.60 pesos por Litro. Se inició la oferta al público de leche hervida a \$9.50 el Litro lográndose duplicar el ingreso promedio.

Costo de la parrilla \$ 1,200.00

Utilidad del biogás \$ 87,310.00
Tomando en cuenta el aumento del precio por litro de leche hervida en un año.



Figura 4. Parrilla de 2 quemadores para hervir leche.

- Etapa 3.- Motor de combustión interna de 4 H.P.
Se rescató un motor de gasolina de 4 H.P. que era de un generador eléctrico y con alumnos residentes del Instituto Tecnológico de Orizaba se reacondicionó el motor y se hicieron las adaptaciones para que pudiera ser operado con biogás y ser utilizado para impulsar la trituradora de alimento de las vacas; el consumo de biogás del motor fue de 4,300 Litros por hora lo que resultó más de la mitad de la producción diaria de biogás por lo que no se consideró rentable y se continuó con el hervido de la leche. Para bajar el consumo de gas del motor es necesario comprar un kit comercial de conversión con un costo aproximado de \$ 7,000.00.
Refacciones del motor y conversión a biogás: \$ 2,700.00
- Etapa 4.- Calentamiento para fabricación de gelatina de requesón.
Al no ser viable la opción del motor a gas se optó por agregar la producción de gelatinas de requesón y la venta de las natas de la leche hervida con lo que se pudo aumentar el ingreso sin gastar en modificaciones al sistema de aprovechamiento del biogás.
- Etapa 5.- Fabricación de quesos.

Con la utilidad de la venta de leche hervida, natas se inició la adecuación de un cuarto para la fabricación de quesos como lo son: Fresco, Ricotta, tipo Cottage y Queso crema así como gelatinas de requesón y gelatinas de leche. Los trabajos se iniciaron en enero de 2015 y se terminaron las adecuaciones y la instalación del ducto de biogás el 21 de febrero de 2015. Se diseñó y fabricó un tanque enchaquetado en acero inoxidable para la pasteurización del queso. Figura 5.

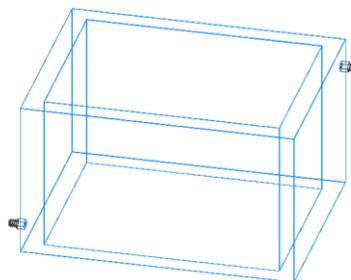


Figura 5. Tanque enchaquetado para pasteurización de leche

El tanque tiene una capacidad de 75 Litros y una vez que se alcanza la temperatura deseada se inyecta agua por la parte inferior para enfriar y la salida de agua del tanque se conecta a un tinaco con aislante térmico para poder utilizar el agua caliente en el lavado de las ubres de las vacas para ser ordeñadas.

Análisis económico:

EGRESOS		INGRESOS	
Biodigestor	\$ 17,900.00	Biogás para calentamiento de agua	\$ 221.70
Calentador de Agua	\$ 500.00	Utilidad venta leche hervida (julio 2013 a julio 2014)	\$ 87,310.00
Parrilla	\$ 1,200.00	Utilidad venta leche hervida y gelatinas de requesón (agosto 2014 a febrero 2015)	\$ 53,200.00
Conversión de motor	\$ 2,700.00	Utilidad venta quesos y gelatinas (marzo 2015 a julio 2015)	\$ 40,500.00
Adecuación cuarto quesos	\$ 8,600.00		
Tanque pasteurizador	\$ 5,500.00		
Tanque de agua de 250L con aislante térmico	\$ 1,800.00		
Costos de operación y mano de obra	\$122,000.00		
Total:	\$160,200.00	Total:	\$ 181,231.70

Saldo Actual: \$ 21,031.70

El análisis demuestra que el proyecto ha resultado en un desarrollo económico para el establo quedando a la fecha un saldo a favor que permitirá la fabricación y puesta en marcha de un segundo reactor anaerobio mejorado y cabe mencionar que durante el estudio se tomó en cuenta que el biodigestor solo tiene capacidad para las excretas de 11 vacas y ahora se cuenta ya con 16 vacas y 4 becerros por lo que también el biogás producido ya no es suficiente para la fabricación de quesos con la leche obtenida diariamente así que se está utilizando gas LP para concluir el proceso.

Trabajo a futuro

Actualmente se está trabajando en el diseño de un segundo biodigestor mejorado el cual al ser puesto en operación permitirá incrementar la producción de energía calorífica y adicionar al proceso la producción de energía motriz para el triturador de pastura del ganado.

Conclusiones

Mediante el presente trabajo se logró optimizar el aprovechamiento de biogás en la producción de quesos y el agua caliente del pasteurizador para el lavado de las ubres de las vacas para ser ordeñadas; obteniéndose a la fecha un desarrollo económico del establo con un balance económico con saldo a favor en el cual no es tomado en cuenta el ingreso del precio base del litro de leche de 4.60 con el que operaba el estable antes del proyecto.

Referencias

1. Masera-Cerutti O., Coralli F., García Bustamante C., Riegelhaupt E., Arias Chalico T., Vega Greff J., Díaz Jiménez R., Guerrero Pacheco G., Cecotti L. (2011). LA BIOENERGÍA EN MÉXICO, Situación actual y perspectivas, *Imagia comunicación* – 4
2. Yurong, L., Nantakorn, B., Sopone, W., Zhiliang, P., y Sodchol, W. (2011). Biogas generation from anaerobic fermentation of animal manures and the nutrient dynamics in the residues. *Suranaree J. Sci. & Technol.*, 18(3), 207-216.
3. Alvarado-Lassmann A., N. A. Vallejo Cantú, A. Martínez Sibaja, J.M. Méndez C., A. Alvarado Lassman (2014). Implementación de un reactor anaerobio de geomembrana en un rancho de ganado vacuno. *Coloquio de investigación multidisciplinaria revista de investigación*. Vol. 2 No. 1
4. INEGI, Cría y explotación de animales en Veracruz de Ignacio de la llave. Censo agropecuario 2007 – 2013 SNIEG.
5. Casas-Prieto M. A., Rivas L. B.A., Soto Z. M., Segovia L. A., Morales M., H. A., Cuevas G. M.I., D. C. M. (2009). Estudio de factibilidad para la puesta en marcha de los biodigestores anaeróbicos en establos lecheros en la cuenca de Delicias, Chih. *Cuarta Época*. 13(8).
6. Doroteo O. J. C. (2012). Aprovechamiento de biogás proveniente del abono de ganado vacuno en un establo ubicado en Ixtapaluca Estado de México. Tesis de Maestría. Maestría en Ingeniería Civil. IPN.
7. EPA, U.S. Environmental Protection Agency (2010). Methane and nitrous oxide emissions from natural sources. Washington, DC, USA.
8. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. (2012). Development of renewable energy sources in Germany 2011. Berlin, Germany.
9. German Biogas Association. (2012). Biogas segment statistics 2011. Freising, Germany.
10. Oslaj, M., and Mursec, B. (2010). Biogas as a renewable energy source. *Technical Gazette*, 17(1), 109-114.