

Generación, caracterización y uso del biogás, producto de la digestión anaerobia de las excretas de ganado bovino

Juan A. Villanueva Hernández¹
Hugo A. Nájera Aguilar
José M. Gómez Ramos
Tania G. Hernández Lárraga
Alexis F. Velasco Ortíz

RESUMEN

En el sector agropecuario de México, existe una gran cantidad de unidades productivas que generan diversos desechos orgánicos considerados como un problema de salud pública y de contaminación ambiental, principalmente por las emisiones de metano y dióxido de carbono; la digestión anaerobia controlada es un proceso adecuado para la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). En el presente estudio se tuvo como objetivo generar y caracterizar el biogás en un biodigestor modelo DM-1 utilizando excretas de ganado bovino. Se evaluaron a nivel laboratorio dos cargas de materia orgánica con tiempos de retención de 29 y 10 días para la digestión de la materia orgánica. El promedio de producción de biogás para la primera y segunda carga fue de 1.20 y 1.53 litros/kilogramos de sustrato, respectivamente. En la caracterización del biogás se obtuvo un $74\% \pm 0.24$ de metano (CH_4), valores que se encuentran dentro del intervalo señalado como óptimo para su utilización como fuente alterna de energía.

Palabras claves: Digestión anaerobia, biogás, excretas de ganado bovino.

ABSTRACT

In the agricultural sector of Mexico, exists a great quantity of productive units that generate diverse organic garbage considered as a problem of public health and of environmental contamination, principally for the emission of methane and carbon dioxide; the anaerobic digestion is a process adapted for the reduction of gas emission of Greenhouse effect (GHGs). The main objective of this work is to generate and to characterize the biogas in a biodigester model DM-1 using excretas of bovine livestock. In the laboratory two loads were evaluated of organic matter with times of retention of 29 and 10 days for the digestion of the organic matter. The average of production of biogas for the first one and second load was 1.20 and 1.53 liters / kilogram of substratum, respectively. In the characterization of the biogas 74 % was obtained ± 0.24 of methane (CH_4), values that are inside the interval indicated like ideally for his use as alternate source of energy.

Key words: Anaerobic digestion, biogas, you excrete of cattle.

INTRODUCCIÓN

El uso racional y eficiente de los recursos biomásicos (la leña y los residuos orgánicos obtenidos en la actividad agropecuaria), es uno de las variantes más adecuadas para garantizar

¹Escuela de Ingeniería Ambiental, UNICACH. Libramiento Norte Poniente 1150, Col. Lajas Maciel, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas México. Tel y Fax (961) 1256033. antonio.villanueva@unicach.mx

el desarrollo sustentable de las comunidades rurales y así contribuir de forma significativa a la reducción de gases de efecto invernadero. En la actualidad, la implementación de biodigestores y estufas ecológicas se han transformado en una alternativa energética sustentable, además de ser un tratamiento más de residuos orgánicos y contribuir a la disminución de la contaminación ambiental. (IDAE, 2007).

Por consiguiente, si estimamos que la mitad de la población del mundo (la mayoría ubicada en los países en vías de desarrollo) utiliza biomasa para cocinar alimentos, así como para calefacción y para calentamiento de agua. En la gran mayoría de los casos, la biomasa se quema en fogones. En estos dispositivos la combustión se da de manera incompleta, lo que provoca grandes emisiones de partículas y gases contaminantes, que a su vez pueden provocar problemas de salud en la población expuesta. Se estima que la contaminación de interiores causa el 4% del total de enfermedades a nivel mundial y excede un millón de muertes prematuras al año (WHO, 2002). En México, se calcula que alrededor del 25% de la población utiliza biomasa como fuente de energía para uso residencial, principalmente en zonas rurales (Díaz-Jiménez 2000).

Así mismo, según datos de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2002), estiman que a escala internacional, más de 3,000 millones de personas no tienen acceso a fuentes modernas de energía para cocinar, dependiendo de combustibles como la biomasa (madera, estiércol y restos de cosecha) además de carbón. El conocimiento y la ejecución de esta tecnología a nivel nacional son escasos. Datos del Sistema de Información Energética (SIE, 2009), solo contempla la leña y el bagazo de caña como el uso de energía renovables provenientes de la biomasa, considerando un balance promedio nacional en el consumo de leña residencial, comercial y público en el periodo 2000-2008 de 0.004 peta-joule, así mismo, reporta un consumo nulo en el aprovechamiento del bagazo de caña.

Actualmente se estima que la leña aporta entre el 8% y el 10% de la energía final y entre el 36% y el 45% de la energía del sector residencial en México (Maserá 1993, Sheinbaum 1996, Díaz-Jiménez 2000, SENER 2002). En México, alrededor de 28 millones de personas usan leña, de acuerdo con datos del 2000 (Díaz-Jiménez 2000). Esta población está concentrada principalmente en el medio rural, en donde el 89% de la gente utiliza leña como fuente principal de energía para la preparación de alimentos, mientras que en el medio urbano sólo el 11% de la población usa este energético para el mismo uso final.

En México uno de cada cinco hogares, 80% de ellos rurales, utilizan algún tipo de biomasa para cocinar y calentar la vivienda con fogones abiertos. La mayor parte de los usuarios de leña se concentra en localidades del centro y sur del país, específicamente en los estados de Chiapas, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán (Díaz-Jiménez 2000).

En el Estado de Chiapas se ha iniciado el establecimiento de dicha tecnología, en particular en la localidad de Villa Hidalgo, municipio de Villaflores, que cuenta con 17 biodigestores Instalados y en funcionamiento (Coordinación de Universidades Politécnicas SEP 2009). En el Municipio de San Cristóbal de las Casas, Chiapas, la Secretaría de Pueblos Indios del Gobierno del Estado de Chiapas y la Asociación de Desarrollo Económico Local de Zacatecas, firmaron un convenio de colaboración con el objetivo de gestionar recursos ante organismos nacionales y extranjeros y así crear fuentes alternativas para la generación de gas natural por medio de la instalación de cinco mil biodigestores en diferentes comunidades indígenas de Chiapas. No obstante, en el estado y a nivel nacional no existen biodigestores con características particulares para cada tipo de clima o condiciones ambientales, además, de no contar con estudios en la caracterización del biogás.

Finalmente, la producción de biogás se llevó a cabo en un periodo de 10 días, obteniendo un volumen de

78.0 litros en el primer día, 183.74 y 200.9 litros en los días 2 y 3, respectivamente, lo que lográbamos un ascenso en la producción del biogás. Sin embargo, posteriores a estos días se observó un descenso significativo en la producción de 171.96 en el cuarto día y 90.13 litros en el quinto día y así sucesivamente hasta llegar a 23,8 litros en el décimo día, haciendo un total de producción en el lapso de tiempo de diez días de 998.30 litros en total.

Digestión anaerobia

La biodigestión anaeróbica es un proceso biológico mediante el cual la materia orgánica es transformada en ausencia de oxígeno y presencia de agua, obteniendo como subproducto una mezcla de gases llamado biogás y bioabono.

Se genera de forma natural en lugares tales como: pantanos, campos de arroz y de forma artificial se produce en un dispositivo llamado biodigestor.

Materia orgánica + H₂O + nutrientes → Células nuevas + materia orgánica resistente + CH₄ + CO₂ + NH₃ + H₂S + CALOR (Ortega, 2006).

Etapas de la digestión anaerobia

La digestión anaerobia se caracteriza por la existencia de cuatro fases consecutivas en el proceso de degradación del sustrato, la hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (figura 1).

La naturaleza y la composición química del sustrato condiciona la composición cualitativa de la población bacteriana de cada etapa, de manera que se establece un equilibrio fácilmente alterable cuando algún tóxico no permite el desarrollo de alguna de las poblaciones. La baja tasa de multiplicación de las bacterias involucradas y las bajas tasas de conversión del sustrato en biomasa bacteriana, en comparación con los sistemas aerobios de eliminación de materia orgánica, se concluye que el proceso es en líneas generales, lento, necesiándose varias semanas, incluso meses de

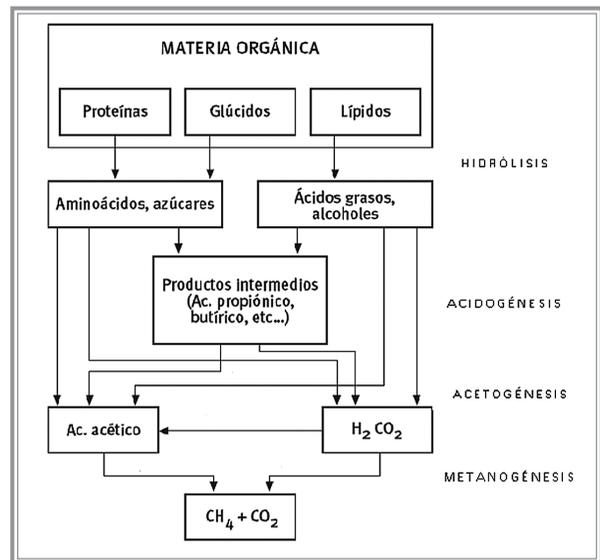


Figura 1 ■ | Fases de la digestión anaerobia (Tchobanoglous, 1994).

puesta en marcha, para conseguir un equilibrio estable (Tchobanoglous 1994).

Parámetros en el proceso de digestión anaerobia

Para mantener un sistema anaerobio que establezca eficientemente un residuo y obtener la máxima producción de energía a partir de la conversión biológica, las bacterias metanogénica y no metanogénicas deben estar en un estado de equilibrio dinámico, para establecer y mantener tal estado, los contenidos del reactor deben estar libres de oxígeno disuelto y de concentraciones inhibidoras de amoníaco libre y de constituyentes como metales pesados y sulfitos (Martí 2002).

a) Temperatura

Uno de los factores ambientales más importantes dentro del proceso de digestión anaerobia es la temperatura de operación de los biodigestores, además de ser considerado un parámetro principal para el diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de la digestión anaerobia. Las variaciones bruscas de temperatura dentro del digestor pueden provocar

la desestabilización total del proceso, por tal motivo es indispensable un sistema adecuado de agitación y un sistema de control de temperatura.

Existen tres rangos de temperatura en los que se puede llevar a cabo la digestión anaerobia, los Psicrófilos que se encuentran por debajo de los 25°C, los mesófilos (25 y 45°C) y termófilos (45 y 65°C). Las gamas de temperaturas óptimas son la mesofílicas (30 a 38°C) y las termófilas (55 a 60°C) (Martí, 2002).

b) pH y Alcalinidad

Para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH acuoso debería variar entre 6 y 8. El valor de pH en los digestores no sólo determina la producción de biogás si no también su composición, el descenso del pH por debajo de 6 genera un biogás muy pobre en metano y por consecuencia tiene menores cualidades energéticas.

El pH afecta los diferentes equilibrios químicos existentes en el medio, generando un desplazamiento a la formación de un determinado componente que tenga una influencia en el proceso. En el caso del equilibrio ácido-base del amoníaco y del ácido acético, al aumentar el pH se favorece la formación de amoníaco, que en elevadas concentraciones inhibe el crecimiento microbiano y a pH bajos se genera la mayoritariamente la formación no ionizada del ácido acético, que inhibe el mecanismo de degradación del propionato (Martí 2002).

c) Tiempo de retención y velocidad de carga orgánica

En los sistemas de mezcla completa, el tiempo de retención hidráulico (TRH) coincide con el celular, por lo que el TRH deberá ser suficientemente largo como para asegurar el crecimiento de la población bacteriana. Al aumentar el TRH, aumenta el grado de materia orgánica degradada así como la producción de metano (Martí 2002).

Valores indicativos de tiempos de retención usualmente más utilizados en la digestión de estiércoles a temperatura mesofílica (tabla 1). El límite mínimo de los

MATERIA PRIMA	T.R.H
Estiércol vacuno líquido	20 - 30 días
Estiércol porcino líquido	15 - 25 días
Estiércol aviar líquido	20 - 40 días

Tabla 1 ■ Valores Indicativos de Tiempos de Retención.

T.R. está dado por la tasa de reproducción de las bacterias Metanogénicas debido a que la continua salida de efluente del digestor extrae una determinada cantidad de bacterias que se encuentran en el líquido. Esta extracción debe ser compensada por la multiplicación de las bacterias que pertenecen dentro del reactor (Hilbert 2003).

d) Velocidad de carga orgánica

La velocidad de carga orgánica (VCO) es la cantidad de materia orgánica introducida en el reactor por unidad de tiempo y volumen, siendo directamente dependiente de la concentración de sustrato y tiempo de retención fijado. En ausencia de inhibidores, la existencia de altas cargas orgánicas proporciona altas producciones de Biogás, sin embargo, puede aumentar el riesgo de sobrecargas que conlleven a la acidificación del proceso. (Martí 2002).

e) Agitación en el Reactor

- Pone en contacto el sustrato fresco con la población bacteriana y eliminar los metabolitos producidos por los microorganismos Metanogénicos al favorece la salida de los gases.
- Proporciona una densidad uniforme de la población bacteriana al interior del reactor.
- Previene la formación de espuma y la sedimentación en el reactor.
- Previene la formación de espacios muertos que reducirían el volumen efectivo del reactor y la formación de caminos preferenciales.
- Elimina la estratificación térmica, manteniendo una temperatura uniforme en todo el reactor.
- El sistema de agitación puede ser mecánico, hidráulico

lico y neumático, la velocidad de agitación debe ser suficientemente fuerte para asegurar la homogenización pero sin romper los agregados bacterianos.

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno, sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel). Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo, en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico. En lo atinente a estiércoles animales la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación de los mismos.

Biogás

El biogás es el producto gaseoso de la digestión anaerobia de compuestos orgánicos. Su composición, que depende del sustrato digerido, condiciones de operación y del tipo de tecnología utilizada, puede ser la siguiente:

50-70% de metano (CH_4). 30-40% de anhídrido carbónico (CO_2). $\leq 5\%$ de hidrógeno (H_2), ácido sulfhídrico (H_2S), y otros gases (IDAE 2007).

Debido a su alto contenido en metano, tiene un poder calorífico algo mayor que la mitad del poder calorífico del gas natural. Un biogás con un contenido en metano del 60% tiene un poder calorífico de unas 5.500 Kcal/Nm³ (6,4 kWh/Nm³). Es decir, salvo por el contenido en H_2S , es un combustible ideal (IDAE 2007).

Beneficios de tecnologías del biogás

El buen funcionamiento de los sistemas de biogás puede producir una amplia gama de beneficios para sus usuarios, la sociedad y el medio ambiente en general:

- Producción de energía (calor, luz, electricidad);
- Transforma los residuos orgánicos en abono de alta calidad;
- Mejora de las condiciones de higiene a través de la reducción de patógenos, huevos de gusanos y moscas.
- Reduce la carga de trabajo, principalmente para las mujeres, en la recolección de leña y la cocina.
- Ventajas medioambientales mediante la protección del suelo, agua, aire y la vegetación leñosa.
- Micro-beneficios económicos a través de la energía y la sustitución de los fertilizantes, adicionales.
- Fuentes de ingresos y aumentar los rendimientos de la ganadería y la agricultura.
- De macro-beneficios económicos a través de la generación de energía descentralizada, la importación de sustitución y protección del medio ambiente.

Así, el biogás generado en la fermentación de excretas de ganado vacuno, puede utilizarse en estufas convencionales adaptadas como una forma de energía sustentable para comunidades rurales. En base a esto, en el presente trabajo se generó y caracterizó el biogás en un biorreactor a partir de excretas de ganado vacuno, implementándolo como combustible alternativo en estufas convencionales adaptadas.

METODOLOGÍA

El proceso de digestión anaerobia para la obtención de biogás, se realizó en un biodigestor modelo DM-1 con una capacidad de 1100 Lts., dicho biodigestor contó con un sistema mecánico de homogenización, una entrada “influyente” y una salida “efluente”, una salida más para la recuperación de biogás y en este caso una para el sistema de monitoreo (Figura 2). Se realizaron dos cargas en el biodigestor, en la primera

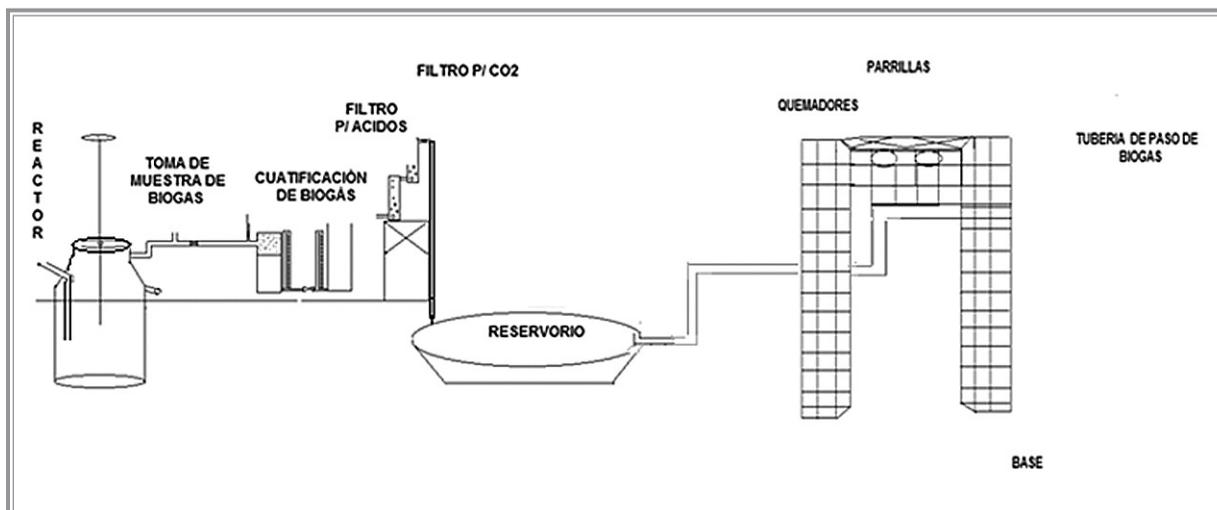


Figura 2 ■ | Diagrama general del sistema de Digestión Anaerobia.

se ingresó un volumen de 983.3 Lts. y en la segunda 884.97 Lts. de estiércol dejando 10% de inóculo de la corrida anterior, ambas acondicionadas con agua manejando una relación 1:1, además, se realizó la adecuada homogenización por la mañana y por la tarde. Durante el proceso de digestión anaerobia, en el reactor se llevó a cabo el monitoreo para determinar el comportamiento del pH, la temperatura y la presión.

Una vez que se detectó la presencia de biogás generada en el biodigestor, fue necesario realizar una prueba de combustión para comprobar la presencia de metano (CH_4). En el momento que se tuvo la combustión del biogás, se procedió a cuantificar y almacenarlo para su uso posterior.

Para realizar la cuantificación se abrió la llave de paso permitiendo que el biogás generado fluyera del biodigestor hacia el sistema de cuantificación, cerrando la llave de paso que conecta el sistema de almacenamiento "reservorio" con el sistema de cuantificación. Entre el sistema de cuantificación y el biodigestor, se instaló un filtro que contenía limadura de hierro con tamaño de partículas menores a 1 cm para eliminar el ácido sulfhídrico (H_2S).

En el sistema de cuantificación, el biogás ejerció una presión para desplazar el agua, lo cual generó una diferencia de alturas en los tubos, dicha altura representa la presión y el volumen ocupado por el biogás. Una vez estabilizada la altura se cuantificó el biogás, se tomó la temperatura del gas con el sensor LM 35 y se procedió al cierre de la válvula que conecta al biodigestor con el sistema de cuantificación. Se abrió la válvula que conecta al sistema de almacenamiento "reservorio" con el sistema de cuantificación, para dar paso al almacenamiento del biogás.

Cuando el biogás fluyó del sistema de cuantificación al reservorio, los niveles de altura se estabilizaron en el sistema de cuantificación.

Una vez almacenado el biogás, se procedió a pesar el reservorio, posteriormente se abrió la válvula que conectaba con la estufa, para dar paso al flujo de biogás generando la combustión para el uso del biogás.

Para la caracterización del biogás, se almacenaron muestras en dos bolsas de diálisis y en dos frascos de cristal, ambos en estado de vacío, para después ser llevado al laboratorio de la UNAM unidad Juriquilla.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Producción de biogás

En el presente estudio, de acuerdo con lo recomendado por Castañeda (2007), se trabajó con las variables de temperatura, control de pH y presencia de inóculo, dado que con ellas se permite el adecuado desarrollo de las 4 fases de digestión anaerobia y se favorece al incremento de la producción de biogás.

La producción de biogas se llevó a cabo en un periodo de 10 días, obteniendo un volumen final de 998.30 Lts. Dicha producción y cuantificación se inició al día siguiente después de realizar la carga del biodigestor, lo que se atribuye a la presencia de inóculo generado en la carga anterior, además de tener las condiciones óptimas de temperatura en el bioreactor.

Durante el primer día de la producción se cuantificó un volumen de 78.0 Lts, alcanzando su máxima producción los días 2, 3 y 4 con una producción de 183.74, 200.9 y 171.96 Lts, respectivamente (Figura 3).

El descenso significativo en la producción se presentó a partir del día 5 con un volumen de 90.13 Lts hasta llegar a registrar la mínima producción el día 10 con 23,8 Lts. Es importante tomar en cuenta la temperatura del biogás para llevar a cabo la cuantificación, debido a que los gases presentan una expansión al aumentar la temperatura, dicha producción y cuantificación de biogás se realizó a una temperatura promedio de 32.1°C

Todo el proceso de digestión anaerobia se realizó a una presión promedio constante de 1.007 Atm para las

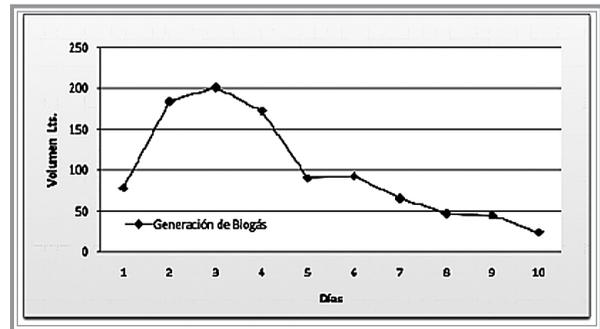


Figura 3 ■ Producción de biogás durante el proceso de digestión anaerobia.

dos cargas, siendo el óptimo 1.005 Atm (Kennedy y Berg, 1982), además, en el caso de la segunda carga el biogás generado se cuantificó a una temperatura promedio de 32.1°C durante los 10 días de digestión anaerobia.

Los resultados obtenidos en la caracterización del biogás determinaron que para el caso de la bolsa de diálisis se detectó que el 90% del biogás es metano (CH_4), siendo este un valor muy alto, lo que se atribuye a la pérdida de CO_2 por fuga (permeabilidad a través de la bolsa), aumentando la proporción de metano en la muestra. Los resultados que se obtuvieron para el caso de la botella 1 fue de 70.31% CH_4 y 19.2% de CO_2 ; y para el caso de la botella 2, 74.52% CH_4 y 20% de CO_2 (Tabla 2). Dentro de la caracterización se determinó la presencia de O_2 , esto se atribuye al recipiente contenedor del biogás, el cual no se encontraba en completo estado de vacío, de igual forma no se detectó la presencia de H_2 y CO .

ID MUESTRA	% H_2	% O_2	% CH_4	% CO	% CO_2
BOLSAS PARA DIÁLISIS	ND	1.26±1.00	90.82±0.60	ND	7.92±1.44
BOTELLA 1	ND	10.68±3.96	70.31±5.34	ND	19.02±3.2.0
BOTELLA 2	ND	4.78±2.42	74.52±0.24	ND	20.70±2.65

Tabla 2 ■ Composición del biogás generado durante el proceso de digestión anaerobia. ND= No detectado.

Los resultados presentados (Tabla 2) muestran que el biogás contenía entre 70.31 ± 5.34 y 74.52 ± 0.24 de CH_4 , valores que se encuentran dentro del intervalo señalado como óptimo (IDAE, 2007) y dentro del rango de acuerdo al sustrato utilizado (Coombs, 1990).

Tiempo de combustión en estufa

El rendimiento del biogás generado durante la primera carga resultó ser muy satisfactoria en cuanto al tiempo de cocción de alimentos, utilizando 633 gramos de biogás, equivalentes a 884.3 lts del mismo, alcanzando un tiempo de combustión de 4 hrs. en una hornilla comercial, comparado con el gas LP.

El rendimiento del biogás obtenido durante la segunda carga fue de 2 hrs de combustión en dos hornillas comerciales, quemándose 690 gramos de biogás equivalentes a 998.7 lts del mismo, cabe señalar que solo el 74.2 % del biogás es metano. Dichos tiempos de combustión se detuvieron en horas exactas con el objetivo de almacenar biogás para muestras de estudio.

Los resultados obtenidos en la comparación de los tiempos de combustión utilizando biogás y gas LP como combustibles (tabla 3), resultaron ser similares, esto se puede atribuir al alto contenido de metano en el biogás, lo cual implica un alto poder calorífico.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación indican que el proceso se realizó de manera satisfactoria para las dos cargas, determinando un promedio en el pH durante el proceso de digestión anaerobia dentro de los rangos de neutralidad 6.96 en la primera y 7.10 en la segunda carga, tomando en cuenta que a la segunda carga se utilizó el 10% de inóculo, por tal motivo, el comportamiento del pH se presentó de una forma más estable y dentro de la neutralidad, reduciendo las posibilidades de inhibición por acidificación de la materia.

Durante esta investigación el comportamiento promedio diario de la temperatura interna del biodigestor, se mantuvo dentro de un rango de promedio

ALIMENTOS	TIEMPO/Mín. Estufa ecológica	TIEMPO/Mín. Estufa convencional
HERVOR DE AGUA/Lts.	20.53	18.24
COCCIÓN DE ARROZ	31.57	30.16
HUEVOS	6.40	6.10

Tabla 2 ■ Comparación en los tiempos de combustión del biogás con respecto al gas LP.

mesofílico, 31.2°C para la primera, y en 32.68°C en la segunda carga.

Dicha estabilidad en el comportamiento de la temperatura se debe a que el suelo tuvo la función de ser un aislante térmico natural, favoreciendo a la reproducción y estabilidad bacteriana que conlleva a una mayor producción de biogás.

La implementación del sistema de cuantificación por desplazamiento de agua resultó eficiente, tomando como bases que dicho sistema permitió cuantificar el biogás generado en un rango de 0 a 18.24 Lts. por cada cuantificación, proporcionando la presión en la cual se realizó el proceso de digestión anaerobia y los puntos máximos y mínimos en la producción de biogás. Dicho sistema es fácil de adaptar a las características y funcionamiento del biodigestor, siendo este proporcional al tamaño del sistema.

Por otro lado, no existen riesgos de fugas en el sistema y es fácil de operar. Utilizando este sistema de cuantificación la cantidad de biogás recuperado durante la primera carga fue de 884.05 Lts. durante 29 días de digestión anaerobia. Sin embargo, la producción de biogás generado durante la segunda carga fue de 998.30 lts en tan sólo 10 días, una producción mayor a la primera y en menos tiempo, por tanto, la presencia de inóculo favoreció la aceleración en la degradación de la materia (por los microorganismos aclimatados) y por lo tanto una mayor y rápida producción de biogás.

Otro factor importante que se logró determinar por el método de cuantificación de biogás por desplazamiento de agua, fue el punto de descenso en la producción, dicho punto de descenso nos permite conocer el día o los días óptimos para alimentar el reactor y mantener la producción por arriba de los 100 Lts/día, este factor nos permite realizar una producción de biogás mas eficiente y mantener el equilibrio entre la producción y el consumo de biogás. Para este estudio resultó que la alimentación del biodigestor se puede realizar entre los días 4 y 5 después de la carga principal. Esto mantiene una alta y constante producción de biogás

Los resultados en la modificación de la estufa convencional para utilizar biogás como combustible resultaron exitosos. La modificación y adaptación principal basada en retirar la espera, el uso de válvulas quemador e implementar los quemadores, nos permitió el flujo adecuado de biogás a baja presión, realizar una combustión adecuada y aproximar los tiempos de combustión del biogás comparado con el gas comercial. El desempeño que se obtuvo en su funcionamiento, registró un rendimiento de 2 hrs de combustión en 2 hornillas para la primera carga y de 4 horas de combustión en una hornilla para la segunda carga, en la cual se logró la preparación de alimentos (huevos, arroz, y la purificación de agua por ebullición). Con base en los resultados obtenidos podemos determinar que la implantación y adaptación de las estufas convencionales resultan eficientes para su funcionamiento a base de biogás. Sin embargo, debido a su alto contenido de metano $74.52\% \pm 0.24$ es un combustible ideal, en este caso para la cocción de alimentos e incluso para la generación de energía eléctrica.

Con estos datos obtenidos, se concluyen de manera satisfactoria nuestros objetivos generales y específicos, además de confirmar la hipótesis de que el biogás generado en la fermentación de excretas de ganado vacuno, puede utilizarse en estufas convencionales, como una

forma de energía sustentable que funcionan a base de dicho combustible son una más de las alternativas energéticas sustentables en comunidades rurales.

LITERATURA CITADA

CASTAÑEDA SAGRARIO V., 2007. *Efecto de Control de Ph, Temperatura Y Adición de Nitrógeno Sobre La Digestión Anaerobia de Residuos Orticolas*, Instituto Politécnico Nacional

COOMBS J., 1990. *The present and future of anaerobic digestion, en Anaerobic digestion: a waste treatment technology*, A. Critical reports on applied chemistry. Elsevier applied science LTD. 93-138.

DÍAZ-JIMÉNEZ, R., 2000. *Consumo de Leña en el Sector Residencial de México. Evolución Histórica y Emisiones De CO₂*, Tesis Maestría en Ingeniería (Energética), División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM, P. 113, México, D. F.

HILBERT J. A., 2003. *Manual Para la Producción de Biogás*, Instituto de Ingeniería Rural I.N.T.A – Castelar.

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (IDAE), BESEL, S.A. (Departamento de Energía) Madrid, 2007. *Biomasa: Digestores Anaerobios*, Depósito Legal: M-45366-2007 ISBN-13: 978-84-96680-21-0.

KENNEDY-BERGER., 1982. *Effect of hydraulic and organic overloading on thermophilic downflow stationary fixed film (DSFF) reactor.*

MARTÍ ORTEGA N., 2002. *Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process*, Copyright, Boca Raton,, Florida. Usa. 2006 , ISBN 1-58112-332-9

MASERA O., 1993. *Sustainable Fuelwood Use in Rural Mexico, Volume I: Current Patterns of Resource Use*, Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, Berkeley, California.

ORTEGA CHARLESTON S., A., NOYOLA ROBLES, M., ROJAS OROPEZA, Y P., CASTRO ORTÍZ, 2006. *Digestión Anaerobia Mesofilica Y Termofilica de Lodos Biológicos de Desecho Y Lodos de Tratamiento Primario Avanzado. Puesta en Marcha del Proceso*, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria.

SECRETARÍA DE ENERGÍA (SENER), 2002. *Balance Nacional de Energía. SE*, México D.F.

SHEINBAUM C., 1996. *Tendencias Y Perspectivas de la Energía Residencial en México. Análisis Comparativo con Las Experiencias d Conservación de los Países de La OCDE*. Programa Universitario de Energía (PUE), Documentos de Análisis y Prospectiva del PUE. UNAM. México, DF.

TCHOBANOGLIOUS G., H., THEISEN Y S., VIGIL, 1994. *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Mcgraw-Hill. Isbn 04-481-124.

WHO, 2002. *Addressing The Links Between Indoor Air Pollution, Household Energy And Human Health.*, Who/Hde/Hid/02.10

www.sie.energia.gob.mx (Secretaria de Información energética)., 2009.

