

En español

Tratamiento anaerobio de desechos lácticos y estiércol de cabra

J. Luis Magaña-Ramírez¹, Rubria Rubio-Núñez²,
Hugo Jiménez-Islas³, Martín T. Martínez-García⁴

RESUMEN

Se realizó una digestión anaerobia para la obtención de biogás a partir de residuos lácteos de crema, queso y suero de leche en combinación con estiércol de cabra, mediante el desarrollo de tres formulaciones, manteniendo constante la cantidad de los desechos de crema y queso y variando la cantidad de excreta de cabra y suero de leche. Se utilizó un inóculo de bacterias metanogénicas obtenido partir de una predigestión de estiércol de cabra. La temperatura de operación fue de 35 °C, con un pH de 7,0, determinándose el porcentaje de metano en el biogás por medio de cromatografía de gases. Los resultados mostraron que la mayor concentración de metano fue de 82%, obtenida con la formulación número tres.

Palabras claves: digestión anaerobia, desechos lácteos, estiércol de cabra, biogás.

Recibido: septiembre 17 de 2009

Aceptado: febrero 7 de 2011

Introducción

El biogás es el producto de la digestión anaeróbica y resultado de un proceso donde los materiales orgánicos son descompuestos por las bacterias en condiciones anaeróbicas. Es una mezcla de metano (60-70%), dióxido de carbono (40-30%), y otros gases como el sulfuro de hidrógeno, amoníaco, nitrógeno, hidrógeno y diversos compuestos orgánicos (Tsai y Lin, 2009). Hoy en día la electricidad y la producción de calor son los beneficios directos de la digestión anaeróbica. Además, otros beneficios de la producción de biogás incluyen la reducción de olores, la mineralización de nitrógeno orgánico, la reducción de patógenos, la disminución de gases de efecto invernadero y un mejor manejo de residuos orgánicos. Además, los residuos de digestión se pueden utilizar como fertilizantes (Sahlström, 2003; Mann y col., 2004).

La bioconversión de la materia orgánica en metano requiere de cuatro pasos y cinco grupos distintos de microorganismos. El primer paso es la hidrólisis (i). Los polímeros orgánicos, como proteínas, polisacáridos y las grasas, se hidrolizan a los monómeros correspondientes (azúcares, ácidos grasos de cadena larga, aminoácidos) por la acción de enzimas producidas por bacterias fermentativas (Angenent y col., 2004). En la fermentación (ii), los

In English

Anaerobic treatment of lactic waste and goat manure

J. Luis Magaña-Ramírez⁵, Rubria Rubio-Núñez⁶,
Hugo Jiménez-Islas⁷, Martín T. Martínez-García⁸

ABSTRACT

Anaerobic digestion was carried out to obtain biogas from lactic waste in combination with goat manure. Waste from lactic products such as cream, cheese and whey was mixed with goat manure using three formulations; the quantity of waste from cream and cheese was maintained, and only the quantity of manure and whey was varied. Methanogenic bacteria obtained from predigestion of goat manure were used as inoculants. Temperature was 35°C and pH 7.0. Biogas methane percentage was determined by gas chromatography. The results showed that the highest methane concentration obtained was 82% with formulation III.

Keywords: anaerobic digestion, lactic waste, goat manure, biogas

Received: September 17th 2009

Accepted: February 7th 2011

Introduction

Biogas, the result of anaerobic digestion, is when organic materials are decomposed by bacteria in anaerobic conditions. It is a mixture of methane (60%-70%), carbon dioxide (40%-30%) and other trace gases such as hydrogen sulphide, ammonia, nitrogen, hydrogen and organic compounds (Tsai and Lin, 2009). Today, electricity and heat production are direct benefits from aerobic digestion. Other benefits of biogas include odour reduction, organic nitrogen mineralisation, pathogen reduction, greenhouse gas reduction, and improved organic waste handling. The digested residues may also be used as fertilisers (Sahlström, 2003; Mann *et al.*, 2004).

Bioconversion of organic material to methane requires four steps and five distinct groups of microorganisms. The first step is *hydrolysis*. Organic polymers such as proteins, polysaccharides and fats are hydrolysed to monomers (e.g. sugars, long-chain fatty acids, amino acids) by the action of enzymes produced by fermentative bacteria (Angenent *et al.*, 2004). Monomers are converted to volatile fatty acids (VFAs) and alcohols in *fermentation*.

¹ Ph.D. en Ciencias, Universidad Politécnica de Valencia, España. Profesor Investigador, Universidad de Guanajuato, México. magalu@dulcinea.ugto.mx

² M.Sc. en Ciencias en Ingeniería Bioquímica, Instituto Tecnológico de Celaya, México. Departamento de Química, Universidad Tecnológica de Salamanca, México. rubriaedith@gmail.com

³ Ph.D. en Ciencias, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México. Profesor Investigador, Instituto Tecnológico de Celaya, México. hugo.jimenez@it-celaya.edu.mx

⁴ M.Sc. en Administración de empresas y en Ing. Mecánica. Candidato a Ph.D. en Ciencias en Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato, México. garciamt@quijote.ugto.mx

⁵ Ph.D. Science, Universidad Politécnica de Valencia, Spain. Research Professor, Universidad de Guanajuato, Mexico. magalu@dulcinea.ugto.mx

⁶ M.Sc. Science in Biomedical Engineering, Instituto Tecnológico de Celaya, Mexico. Professor, Department of Chemistry, Universidad Tecnológica de Salamanca, Mexico. rubriaedith@gmail.com

⁷ Ph.D. Sciences, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, Mexico. Research Professor, Instituto Tecnológico de Celaya, Mexico. Hugo.jimenez@itcelaya.edu.mx

⁸ M.Sc. in Business Administration and Mechanical Engineering. Ph.D Candidate Chemical Engineering, Universidad de Guanajuato, Mexico. garciamt@quijote.ugto.mx

monómeros se convierten en ácidos grasos volátiles (AGV) y alcoholes. Luego, en la acetogénesis (iii), los AGV se convierten en acetato e hidrógeno por la acción de bacterias acetogénicas estrictas productoras de hidrógeno; estas bacterias crecen mediante asociaciones sintróficas con bacterias metanogénicas hidrogenotróficas, que mantienen la presión parcial del hidrógeno. Por último, la metanogénesis (iv) requiere de bacterias acetoclásticas metanogénicas para convertir el acetato en metano y dióxido de carbono. En la metanogénesis, aproximadamente el 70% de metano es producido por metanógenos acetoclásticos (Gerardi, 2003; Angenent *et al.*, 2004; Myint *et al.*, 2007). La producción de biogás puede verse afectada por factores de operación tales como el tiempo de retención hidráulico (TRH) y el grado de contacto entre el sustrato de entrada y la población de bacterias, el pH, la temperatura, la naturaleza del sustrato, la carga orgánica, demanda química orgánica (DQO), la relación carbono/nitrógeno (C/N) (Al-Dahhan *et al.*, 2005). Los diseños de digestores anaeróbicos son principalmente dependientes del tiempo de retención hidráulica y el tipo de residuos orgánicos. Los reactores empacados de película fija, reactores de lodos granulares de flujo ascendente (UASB), reactores horizontales con deflectores, reactores de flujo pistón, las lagunas cubiertas y los reactores anaerobios con deflectores, son de uso general para la biodigestión anaeróbica (Bouallagui *et al.*, 2003).

Hay muchos residuos orgánicos que se pueden utilizar en la digestión anaerobia. Las industrias lácteas generan residuos de suero de leche que se producen en mayor volumen. Muchas industrias lácteas pequeñas no tienen la capacidad tecnológica para el tratamiento o reutilización del suero de leche (Mockaitis *et al.*, 2006). Además, debido al problema de la alta concentración de sal y la estabilidad del proceso pobre en residuos lácteos, la codigestión de diferentes materiales puede mejorar el proceso de digestión anaerobia, ya que se puede afinar el equilibrio de nutrientes con la fuente de carbono (El-Mashad y Zhang, 2006). El estiércol de cabra contiene aproximadamente 2% de nitrógeno, 3% de fósforo (Orrico *et al.*, 2007) y un porcentaje de conversión en metano de más del 80% (Mogami *et al.*, 2006). Este estiércol se emplea en la fertilización y los tratamientos para la producción de metano. También el aserrín, la paja de arroz, el jacinto de agua y otros materiales vegetales con 63 a 67% de metano, se pueden utilizar para el mismo fin (Chakraborty *et al.*, 2002).

En México la generación de energía a partir de la biomasa es muy importante y requiere una investigación más exhaustiva, sobre todo porque el petróleo, un combustible no renovable, es la principal fuente de energía en el estado de Guanajuato. La biomasa constituida por estiércol de animales y residuos agrícolas, forestales, industriales, de tratamiento de aguas residuales, entre otros, están fácilmente disponibles. La biomasa puede ser la alternativa más adecuada para un máximo de 25% de la energía consumida en dicho estado de Guanajuato (Concyteg – SDA, 2005).

Este trabajo se centra en la producción de metano a partir de desechos lácticos y estiércol de cabra (Magaña-Ramírez *et al.*, 2006) en diferentes concentraciones para determinar la mayor concentración de metano en la fermentación por lotes. El metano se produce utilizando un biorreactor a escala de laboratorio, diseñado y fabricado en la Universidad de Guanajuato, con la participación de algunos profesores y estudiantes. Además, se plantea un escalamiento sencillo para estimar el volumen de

Then, in acetogenesis, VFAs are converted to acetate and hydrogen by obligatory hydrogen-producing acetogenic bacteria; these bacteria grow in syntrophic associations with hydrogenotrophic methanogenic bacteria, maintaining hydrogen partial pressure.

Methanogenesis requires acetoclastic methanogenic bacteria to convert acetate to methane and carbon dioxide. In methanogenesis, about 70% of methane is produced by acetoclastic methanogens (Gerardi, 2003; Angenent *et al.*, 2004; Myint *et al.*, 2007). Biogas production can be affected by operational factors such as hydraulic retention time (HRT) and the degree of contact between incoming substrate and bacteria population, pH, temperature, the nature of the substrate, organic loading, chemical organic demand (COD) and carbon/nitrogen ratio (C/N) (Al-Dahhan *et al.*, 2005). Anaerobic digester designs are mainly dependent on hydraulic retention time and type of organic waste. Packed fixed film reactors, up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors, horizontal baffled reactors, plug flow reactors, covered lagoons and anaerobic baffled reactors are commonly used (Bouallagui *et al.*, 2003).

Many organic wastes can be used in anaerobic digestion. The dairy industry produces residues in which whey is produced in the greatest volume. Many small dairy industries do not have the technological capability to treat or reuse whey (Mockaitis *et al.*, 2006). Furthermore, due to high salt concentration and poor process stability in dairy waste, the co-digestion of different materials may enhance the anaerobic digestion because better carbon to nutrient balance may be created (El-Mashad and Zhang, 2006). Goat waste has around 2% nitrogen, 3% phosphorous (Orrico *et al.*, 2007) and over 80% methane (Mogami *et al.*, 2006). Goat manure is used in fertilising treatments and for producing methane. Sawdust, rice straw, water hyacinth and other plant materials having 63%–67% methane may be used (Chakraborty *et al.*, 2002).

Biomass energy is very important in Mexico and requires more exhaustive investigation, especially because petroleum (a non-renewable fuel) is the main source of energy in the state of Guanajuato state. Biomass from crop residues, animal manure, forest and industrial waste, wastewater treatment residues, etc., is easily available. Biomass may be the most suitable alternative for up to 25% of the energy consumed in Guanajuato (CONCYTEG – SDA, 2005).

This work has focused on methane production using lactic waste and goat manure (Magaña-Ramírez *et al.*, 2006) in different concentrations to determine the highest methane concentration in batch fermentation. The methane was produced using a laboratory-scale bioreactor previously designed and manufactured in the University of Guanajuato, México by some teachers and students. A simple scale-up calculation for estimating the dimensions for a rural digester are proposed, using the volume opera

En español

In English

operación de un digestor rural a partir del volumen de operación y la concentración de metano obtenido en los experimentos en laboratorio.

Materiales y métodos

Equipo

Los ensayos se llevaron a cabo en un proceso de fermentación por lotes a escala de laboratorio usando un reactor de acero inoxidable (Magaña-Ramírez y col., 2006). El reactor tiene un volumen total de 10 L y está provisto de un mezclador manual, puerto de alimentación para los residuos de carga, válvula de seguridad y un sistema de control de la temperatura. Un dibujo esquemático del sistema de digestión anaeróbica del reactor se muestra en la figura 1, y el equipo en físico se muestra en la figura 2. El biodigestor también está provisto de un termómetro bimetalico, manómetro de Bourdon que está conectado con el colector de biogás. El biorreactor se operó a 35 °C y se acopló con el colector de gas.

La concentración de metano se determinó con un cromatógrafo modelo 3920B Perkin-Elmer que se suministra con un detector de termoconductividad. La norma, o la muestra patrón, fue de gas natural proporcionada por Pemex (Petróleos Mexicanos) con una pureza del 97% de metano.

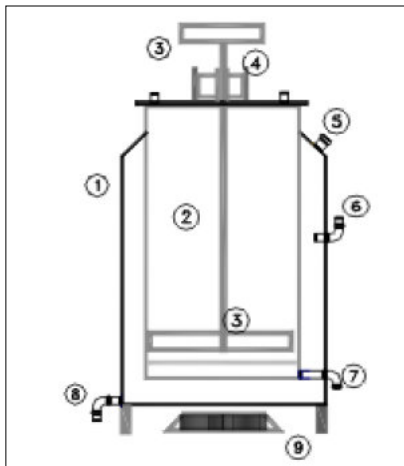


Figura 1. Diagrama del sistema del reactor. 1) Cubierta exterior. 2) Recipiente de material biológico. 3) Agitador manual. 4) Sello hermético. 5) Orificio de alimentación de agua caliente. 6) Orificio de instalación del termómetro. 7) Orificio de descarga y toma de muestra. 8) Orificio de descarga de agua caliente. 9) Sistema de calentamiento.

Sustrato

Los desperdicios lácticos como el queso, la crema y el suero de leche provenientes de fábricas locales de queso se utilizan en combinación con el estiércol de cabra. Las bacterias metanogénicas obtenidas a partir de la digestión previa de estiércol de cabra se usan para inocular los ensayos experimentales. Las formulaciones utilizadas se muestran en la tabla 1.

Los residuos de queso y crema, al igual que el agente inoculante, se mantuvieron en 200 g, mientras que el estiércol de cabra se ha añadido cada vez más en las formulaciones II y III. Posteriormente se adicionó suero de leche en proporciones diferentes para obtener 5 L de volumen total para todos los casos. La tem-

peratures and methane concentration obtained in the laboratory-scale experiments.

Materials and Methods

Equipment

The assays were carried out using laboratory-scale batch fermentation in a stainless steel reactor (Magaña-Ramírez *et al.*, 2006). The reactor had 10 L total volume, a manual agitator, feed port for load waste, safety valve and a temperature control system. Figure 1 shows a drawing of the anaerobic digestion reactor system and Figure 2 depicts the physical apparatus. The biodigester was also provided with a bi-metallic thermometer, Bourdon manometer connected to the biogas collector. The bioreactor was set to 35 °C and coupled to the gas collector.

Methane concentration was determined by Perkin-Elmer chromatograph model 3920B supplied with a thermo conductivity detector. The standard, or pattern sample, was natural gas provided by PEMEX (Petróleos Mexicanos) having 97% methane purity.

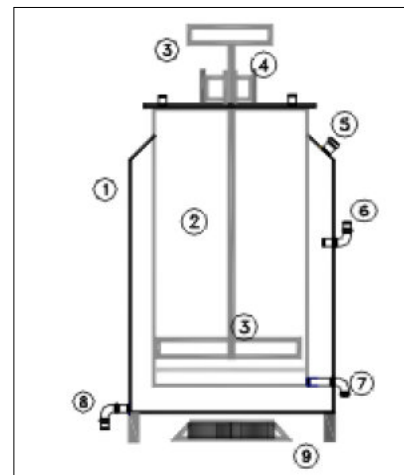


Figure 1. Reactor system. 1) exterior cover, 2) recipient for biological material, 3) hand-operated agitators, 4) hermetic seal. 5) hot water feed orifice, 6) thermometer installation orifice, 7) discharge and sample-taking orifice, 8) orifices for hot water discharge, 9) heating system.

Substrate

Lactic residues such as cheese, cream and whey from cheese factories in the small dairy industry were used in combination with goat manure. Methanogenic bacteria obtained from previous goat manure digestion were used to inoculate the experimental assays. The formulations used are shown in the Table 1.

Cheese and cream waste were maintained at 200 g, the inoculants was also maintained at 200 g. Goat manure was increasingly added to formulation II and III. Afterwards, milk whey was added in different proportions to obtain 5 L total volume for all cases. Temperature was maintained at mesophilic bacterial growth temperature (35 °C) and pH was adjusted to 7.0. Anaero

En español

peratura se mantuvo a (35 °C), que es la temperatura a la que crecen las bacterias mesófilicas, y el pH se ajustó a 7.0. El proceso de digestión anaeróbica se mantuvo durante 15 días, y al menos una vez al día se aplicó agitación manual al biorreactor.

Tabla 1. Formulaciones usadas

Material	Formulación I		Formulación II		Formulación III	
	Volumen (Litros)	Peso (Gramos)	Volumen (Litros)	Peso (Gramos)	Volumen (Litros)	Peso (Gramos)
Suero de leche	4.5		4.3		4	
Desperdicio de queso		200		200		200
Desperdicio de crema		200		200		200
Inoculante		200		200		200
Estiércol de cabra				400		1400
Volumen total	5		5		5	

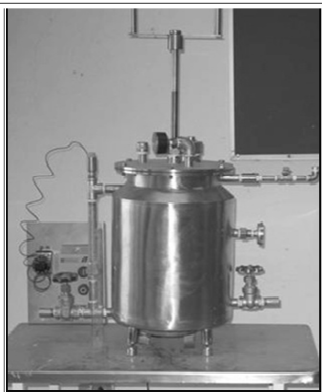


Figura 2. Biodigestor a pequeña escala

Resultados y discusión

Para la formulación I el pH se redujo a 4,0 y el biogás producido no forma el pico característico de la presencia de metano. Probablemente este efecto fue causado por el suero de la leche y otros residuos lácticos, que tienen baja alcalinidad de bicarbonato y tienden a acidificar rápidamente, originando una caída en el proceso anaeróbico. Por lo tanto, este resultado fue descartado. En la formulación II nuevamente el reactor exhibió un funcionamiento inestable, el pH disminuye después de 7 días a 3,5; se añadió al reactor alcalinidad suplementaria mediante bicarbonato de calcio, logrando un pH mayor a 7,0; la presión se mantuvo en 7 lb_i/pul² (una lb_i/pul² por día aproximadamente).

Después de 15 días el biogás producido se analizó, reportándose un contenido de 22% de metano. En la formulación III el pH se ajustó y se mantuvo en 7,0 para los 15 días. Un pico de metano fue detectado y se midió una concentración de 82%. En comparación, otros investigadores utilizaron suero de queso salado y lo mezclaron con residuos de aves de corral y con estiércol de ganado, habiendo obtenido un contenido de metano del 64% y 63%, respectivamente (Patel y Madamwar, 1996).

Por otra parte, Patel y col. (1999) utilizaron suero de queso dulce, obteniendo biogás con un contenido de 72% de metano. Si el contenido de metano obtenido es mayor del 70% la digestión se considera de buen desempeño (Saddoud y col., 2006). La concentración de suero de leche fue relativamente baja, con una formulación de 4 litros y 1400 g de estiércol de cabra. En esta

In English

bic digestion was sustained for 15 days, and manual shaking took place at least once daily.

Table 1. Formulations used

Material	Formulation I		Formulation II		Formulation III	
	Volume (Liters)	Weight (Grams)	Volume (Liters)	Weight (Grams)	Volume (Liters)	Weight (Grams)
Milk whey	4.5	-	4.3	-	4	-
Cheese waste		200		200		200
Cream waste		200		200		200
Inoculant		200		200		200
Goat manure				400		1400
Total volume (L)	5		5		5	



Figure 2. Small-scale biodigester

Results and discussion

The pH was decreased to 4.0 for formulation I and the biogas so produced did not form the typical methane peak. This was most likely caused by milk whey and other lactic residues which had low bicarbonate alkalinity and tended to acidify quickly thereby causing anaerobic process failure. This result was thus discarded. The reactor also exhibited unstable operation with formulation II. pH decreased after seven days to 3.5, supplemental alkalinity was added using calcium bicarbonate, and pH increased to 7.0. Pressure remained at 7 psi (about one psi per day).

The biogas so produced was analysed after 15 days and the formation of 22% methane was reported. pH was adjusted in formulation III and maintained at 7.0 for all 15 days. A methane peak was seen and 82% concentration measured. By comparison, other researchers have used salty cheese whey mixed with poultry waste and cattle dung, obtaining 64% and 63% methane content, respectively (Patel and Madamwar, 1996).

Patel *et al.*, (1999) used sweet cheese whey, yielding 72% methane content. Digestion was considered to have performed well if methane content was greater than 70% (Saddoud *et al.*, 2006). When whey concentration was lower, 4 litres and 1,400g of goat manure were used; the organic matter concentration provided by the goat manure in this combination increased alka

En español

combinación la concentración de materia orgánica proporcionada por el estiércol de cabra aumentó la alcalinidad, favoreciendo la generación de metano.

Dimensionamiento de un biodigestor rural

Con base en los experimentos descritos en este trabajo, se presenta una aproximación del escalamiento para un biodigestor de uso rural.

Requisitos

La cantidad necesaria de biogás para satisfacer las necesidades internas de una familia rural varía entre 1 y 1,5 metros cúbicos diarios, según el contenido de metano (Monroy y Viniestra, 1990). Las presiones de funcionamiento de un biodigestor rural se calcula que oscilan entre 1.200 – 3.000 Pa, y el contenido del metano en el biogás varía entre 50 y 70% (BorrotoyBorroto, 1999).

Utilizando los resultados de la formulación III, en la concentración del 82% de metano, presión de trabajo de 1lb_f/pul²(psi) por día y la producción de biogás igual a 5 litros de mezcla orgánica, el cálculo de 1,0 L por día es simple.

Evaluación del volumen de gas requerido

Considerando el comportamiento de gas ideal, las relaciones deben tener en cuenta que: 1 litro por día para el volumen de base de biogás a una presión de 1 psi, y 5 litros por día para el volumen de base de biogás a una presión de 0,2 psi, para producir 1.500 litros diarios de biogás se requieren 1.500 L de volumen de la mezcla orgánica. Suponiendo que el 20% del volumen del digestor es para el biogás, un volumen de operación total de 1.875 litros se necesita para el biodigestor.

Parámetros de diseño para el biodigestor

Los digestores rurales pueden ser diseñados y construidos sobre la base de los siguientes parámetros: volumen de operación: 1.875 m³, volumen de mezcla orgánica: 1.500 L, presión de operación en el biodigestor: 7 psi, presión del biogás en la válvula de salida: 0.2 psi, pH 7, y la temperatura: 35 °C. Se debe agitar todos los días con una duración de 2 minutos. Esta información puede ser utilizada para el diseño de una campana flotante para un biodigestor hindú o un gasómetro para un biodigestor chino.

Conclusiones

El propósito de este trabajo fue el de obtener biogás a partir de desechos lácticos y validar el biorreactor diseñado. Se demostró que el biodigestor de laboratorio es un aparato seguro para enseñar eficientemente y llevar a cabo las actividades de investigación relacionadas con el desarrollo del proceso de digestión anaerobia. El biogás puede ser detectado por un aumento de la presión durante el proceso de la digestión anaeróbica, y la concentración de metano se midió mediante análisis cromatográficos. La formulación III fue la mejor, con un rendimiento de 82% de metano.

Este resultado puede utilizarse para estimar las dimensiones potenciales de biodigestores rurales. La metodología desarrollada es adecuada para escalar y estimar el volumen de operación de

In English

linity, promoting methane generation.

Rural biodigester dimensioning

Based on the experiments described in this work, an approach to scaled-up biodigester for rural use is presented.

Requirements

The necessary quantity of biogas for satisfying a rural family's domestic requirements varies between 1 and 1.5 cubic meters daily, depending on methane content (Monroy and Viniestra, 1990). The operational pressures for a rural biodigester have been calculated to be between 1,200-3,000 Pa and methane content in biogas varies between 50% and 70% (Borroto and Borroto, 1999).

Calculating 1.0 L per day was straightforward using the results for formulation III, 82% methane concentration, 1 psi per day working pressure and 5 L organic mixture biogas production.

Evaluation of the volume of required gas

Assuming an ideal gas pattern, the following ratios were taken into account: 1 L per day for basic biogas volume at 1 psi pressure and 5 L per day for basic biogas volume at 0.2 psi pressure. Producing 1,500 L biogas every day requires 1,500 L volume organic mixture. Assuming 20% digester volume is for biogas, 1,875 litre volume is needed for a biodigester.

Design parameters for the biodigester

A rural digester can be designed and constructed on the basis of the following parameters: 1.875 m³ operational volume, 1,500 L organic mixture volume, 7 psi operational pressure in the biodigester, 0.2 psi biogas pressure at the exit valve, pH 7, at 35°C. Shaking was applied once every day for 2 minutes. This information could be applied for designing a floating bell for a Hindu biodigester or a gasometer for a Chinese biodigester.

Conclusions

This work was aimed at obtaining biogas from lactic waste and validating a previously designed bioreactor. It was shown that the lab biodigester was a safe apparatus for effectively teaching and carrying out research activities related to developing anaerobic digestion. Biogas could be detected by an increase in pressure during anaerobic digestion; methane concentration was measured by chromatographic analysis. Formulation III had the best methane yield (i.e. 82%).

This result was used for calculating potential dimensions for rural biodigesters. The methodology is suitable for implementing and scaling-up for designing biodigesters as a source of renewable energy.

los biodigestores como fuentes de energía renovable.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero de la Dirección de Investigación y Estudios de Posgrado de la Universidad de Guanajuato, México.

Referencias / References

- Al-Dahhan, M.H., Karim, K., Klasson, K. T., Hoffman, R., Drescher, S.R., DePaoli, D.W., Anaerobic digestion of animal waste: effect of mixing., *Bioresource Technology*, (96), 2005, pp. 1607-1612
- Angeant, L.T., Karim, K., Al-Dahhan, M.H., Wrenn, B.A., Dominguez-Espinosa, R., Production of bioenergy and biochemicals from industrial and agricultural wastewater., *TRENDS in Biotechnology*, Vol. 22, No. 9, September, 2004, pp. 477 - 485
- Boroto-Nordelo, A., Boroto-Bermúdez, A.J., Energización de comunidades rurales ambientalmente sostenible., *Universidad de Cienfuegos, Ediciones LTDA.*, Colombia, 1999.
- Bouallagui, H., Cheikh R.B., Marouani, L., Hamdi, M., Mesophilic biogas production from fruit and vegetable waste in a tubular digester., *Bioresource Technology*, (86), 2003, pp. 85-89.
- Chakraborty, N., Sarkar, G.M., Lahiri, S.C., Biomethanation of plant materials and agricultural residues using dung samples as wild population of microbes and also with isolated methanogens., *The Environmentalist*, (22), 2002, pp. 173-182.
- CONCYTEG – SDA., Sistema de Información Energética, Guanajuato, Guanajuato, México, June, 2005.
- El-Mashad, H.M. Zhang, R., Anaerobic codigestion of food waste and dairy manure., *ASABE Annual International Meeting*, Paper Number: 066161, 2006.
- Gerardi, M.H., *The microbiology of anaerobic digesters.*, *Wastewater Microbiology Series*, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc, 2003, pp. 51-61.
- Mann, S.L., Hansen, C.L., Hansen, C.S., Anaerobic digestion and Bio-gas., *ASAE/CSAE Annual International Meeting Sponsored by ASAE/CSAE*, Paper Number: 044087, August, 2004.
- Magaña-Ramírez, J. L., Torres, R. E., Martínez, G. M., Sandoval-Juárez, C., Hernández-Cantero, R., Producción de Biogas a nivel laboratorio utilizando estiércol de cabras., *Acta Universitaria, Universidad de Guanajuato, México*, (16), 2006, pp. 27-37.

Acknowledgment

The authors wish to acknowledge financial support provided by the University of Guanajuato's Research and Degree Studies office (Mexico).

- Mockaitis, Gustavo, Ratusznei, S.M., Rodrigues J.A., Zaiat, M., Foresti, E., Anaerobic whey treatment by a stirred sequencing batch reactor (ASBR): effects of organic loading and supplemented alkalinity., *Journal of Environmental Management*. (79), 2006, pp. 198-206.
- Mogami, C.A., Souza, C.F., Paim, V.T., Tinoco, I.F., Baêta, F.C., Methane concentration in biogas produced from dejections of milk goats fed with different diets., *ASAE/CSAE Annual International Meeting Sponsored by ASAE/CSAE*, Paper Number: 064068, July, 2006.
- Monroy O., Viniegra G. *Biología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos.* Editorial.AGT, México, 1990.
- Myint, M., Nirmalakhandan, N., Speece, R.E., Anaerobic fermentation of cattle manure: modeling of hydrolysis and acidogenesis., *Water Research*, (41), 2007, pp. 323-332.
- Orrico, A. C. A., Lucas, J., Orrico, M. A. P., Characterization and anaerobic digestion of goat manure., *Eng. Agríc.*, 2007, 27, (3), pp. 639-647.
- Patel, C., Madamwar, D., Biomethanation of a mixture of salty cheese whey and poultry waste or cattle dung., *A study of effect of temperature and retention time*, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, (60), 1996, pp. 159-166.
- Patel, P., Patel, C., Madamwar, D., Anaerobic Upflow fixed-film bioreactor for biomethanation of salty cheese whey., *Applied Biochemistry and Biotechnology*, (76), 1999, pp. 193-201.
- Sahlström, L., A review of survival of pathogenic bacteria in organic used in biogas plants., *Bioresource Technology*, (87), 2003, pp. 161-166.
- Saddoud, A., Sayadi, S., Hassaïri, I., Anaerobic membrane reactor with phase separation for the treatment of cheese whey., *Bioresource Technology*, 2007, pp. 2102-2108.
- Tsai, W-T., Lin, Ch-I., Overview analysis of bioenergy from livestock manure management in Taiwan., *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (13), 2009, pp. 2682-2688.