

Caracterización de Biogás proveniente de la Fermentación de la mezcla de agua de lavado de Café y Glicerina Residual de Biodiesel por medio de Cromatografía de gases

Pineda G y Estrada E.
Escuela de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
Universidad de San Carlos de Guatemala

Resumen

El estudio consistió en la caracterización del biogás proveniente de la fermentación anaeróbica de la mezcla de agua de lavado de café y glicerina residual de biodiesel, por medio de cromatografía de gases. Se realizó el diseño y fabricación de microbiodigestores, empleando envases plásticos con capacidad de un litro, en los cuales se mezclaron diferentes proporciones entre glicerina, agua de lavado de café y estiércol de vaca. El gas metano producido fue analizado por cromatografía de gases, empleando una columna apolar y un detector de captura de electrones. Se realizó con el fin de determinar cualitativamente la presencia de metano, componente mayoritario en el biogás, proveniente de la fermentación anaeróbica de varias mezclas de agua de lavado de café, glicerina residual del proceso de producción de biodiesel y estiércol bovino. La biodegradación del agua de lavado de pulpa de café, siendo éste una buena fuente de nutrientes para las bacterias metanogénicas, produce un biogás con una alta concentración de metano. Mientras que la utilización de la glicerina residual del proceso biodiesel no logra completar el proceso de biodigestión dentro de los microbiodigestores, posiblemente por la presencia de inhibidores o debido a remanentes de sustancias químicas del proceso de producción de biodiesel.

Palabras Clave: Biogás, Biodigestión, Agua de lavado de pulpa de café, Glicerina residual, Cromatografía de gases.

Abstract

The study was about characterization of biogas from the anaerobic fermentation of the mix of water from the washing of coffee and residues of glycerin from the biodiesel, through gas chromatography. The designing and fabrication of microbiodigesters was done using litter plastic containers in which different quantities of glycerin, water from the washing of coffee, and cow manure were mixed. The methane gas obtained was analyzed through gas chromatography using an apolar column and a capture electron detector.

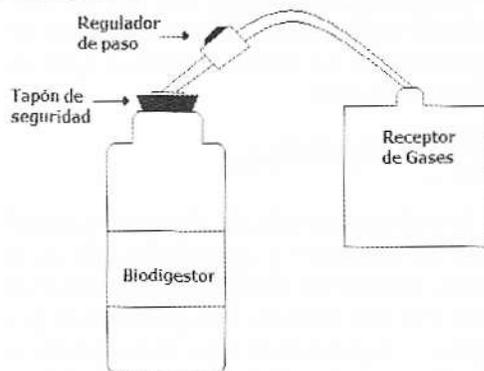
The purpose of the study was conducted to determine qualitatively the presence of methane, which is the highest gas found in the biogas from the anaerobic fermentation of the water from coffee washing, residues of glycerin and cow manure.

The biodegradation of water from coffee pulp washing is a good nutrient source for the methanogenic bacteria; it produces biogas with high concentration of methane.

The usage of residues of glycerin from the biodiesel process can't complete the biodigestion process inside the microbiodigesters, this is because of the presence of inhibitor or because of the remnants of chemical substances of the production of biodiesel.

Key words: Biogas. Biodigestion, washing water of coffee pulp, residual glycerin, gas chromatography.

Gráfica 1. Diagrama general del sistema de biodigestión



Fuente: Experimental

Producción de Biogás:

Se realizaron diferentes mezclas de agua de lavado de pulpa de café y de glicerina residual de biodiesel dentro de los envases plásticos de forma de tener un volumen aproximado de 300 mL.

Se inocularon las bacterias, mediante la inclusión de 250 g. de estiércol bovino fresco a cada uno de los microbidigestores.

Se midió el pH inicial. En caso necesario, el pH fue corregido utilizando solución saturada de bicarbonato de sodio o ácido acético para ajustarlo alrededor de 7.0.

Se colocaron los microbidigestores dentro de un baño de maría, estando éstos debidamente sellados. Se mantuvo la fermentación aproximadamente a 45°C.

Se monitorearon durante tres semanas el volumen y la presión del gas generado y la temperatura externa.

Se realizaron pruebas de presencia de productos de la fermentación anaeróbica.

Conforme la digestión se llevaba a cabo, se clasificaron los microbidigestores mediante resultados de Negativo/Positivo, con la prueba de combustión.

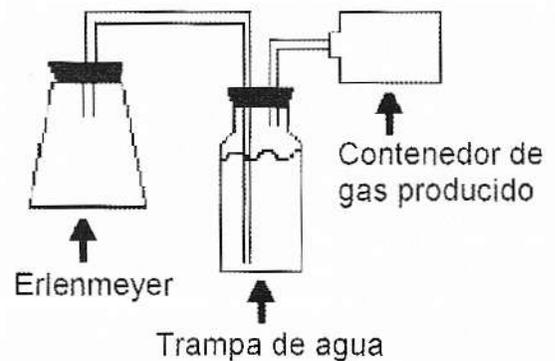
Los resultados positivos, fueron analizados por cromatografía de gases.

Preparación de gas patrón de metano:

Pesar 16 g. de acetato de sodio, 20 g. de hidróxido de sodio y 20 mL. de óxido de calcio (CaO).

Colocar los compuestos, previamente mezclados con un mortero, dentro de un Erlenmeyer de 250 mL. Armar el sistema para la generación del gas patrón, como se observa en la Gráfica No. 2.

Gráfica 2. Diagrama general del sistema para la generación del gas patrón de metano.



Fuente: Experimental

Calentar, con flama directa, el Erlenmeyer, a medida que el material sólido se funde.

Cuando se dé la generación del gas metano, capturarlo en bolsa de polímero plástico (la misma que es utilizada para la captura de biogás).

Metodología

Empleando un cromatógrafo de Gases Agilent 6890N GC, provisto con un detector de captura de electrones y una columna capilar apolar AT-PETRO, con una longitud de 100 metros, 0.25 mm de diámetro interno y 0.50 μ m de capa interna de fase estacionaria se realizó en análisis del biogás generado. Las condiciones instrumentales son las siguientes:

Temperatura del inyector: 230 °C.

Temperatura del detector: 230 °C.

Temperatura del horno: 200 °C.

Volumen de inyección: 200 μ L.

Gas de arrastre: Nitrógeno.

Flujo de gas inerte: 30 mL/min.

Tiempo aproximado de corrida: 15 min.

Resultados

Tabla 1. Datos de las cantidades de ambos sustratos utilizados en el proceso de fermentación anaeróbica.

| Microbiodigestor | Agua de lavado de pulpa de café (litros) | Glicerina residual (litros) | Producción biogás | pH inicial | pH final |
|------------------|--|-----------------------------|-------------------|------------|----------|
| Bd 1 | 0 | 0.300 | Negativo | 6.89 | 4.78 |
| Bd 2 | 0 | 0.250 | Negativo | 6.97 | 5.23 |
| Bd 3 | 0 | 0.200 | Negativo | 7.02 | 5.59 |
| Bd 4 | 0 | 0.150 | Negativo | 6.99 | 4.89 |
| Bd 5 | 0 | 0.100 | Negativo | 7.05 | 5.62 |
| Bd 6 | 0 | 0.075 | Negativo | 7.01 | 5.87 |
| Bd 7 | 0 | 0.050 | Negativo | 6.90 | 5.03 |
| Bd 8 | 0 | 0.025 | Negativo | 6.95 | 4.99 |
| Bd 9 | 0 | 0.005 | Negativo | 7.02 | 5.47 |
| Bd 10 | 0 | 0 | Negativo | 7.01 | 5.53 |
| Bd 11 | 0.300 | 0 | Positivo | 6.97 | 7.25 |
| Bd 12 | 0.250 | 0 | Positivo | 7.07 | 7.32 |
| Bd 13 | 0.200 | 0 | Negativo | 7.21 | 7.28 |
| Bd 14 | 0.150 | 0 | Positivo | 7.08 | 7.29 |
| Bd 15 | 0.100 | 0 | Positivo | 7.05 | 7.31 |
| Bd 16 | 0.075 | 0 | Positivo | 7.03 | 7.30 |
| Bd 17 | 0.050 | 0 | Positivo | 7.04 | 6.18 |
| Bd 18 | 0.025 | 0 | Positivo | 7.01 | 7.24 |
| Bd 19 | 0.005 | 0 | Positivo | 7.04 | 7.28 |
| Bd 20 | 0 | 0 | Negativo | 6.98 | 5.69 |
| Bd 21 | 0.050 | 0.250 | Negativo | 7.01 | 5.19 |
| Bd 22 | 0.075 | 0.225 | Negativo | 6.96 | 5.36 |
| Bd 23 | 0.100 | 0.200 | Negativo | 6.98 | 4.88 |
| Bd 24 | 0.125 | 0.175 | Negativo | 7.06 | 5.02 |
| Bd 25 | 0.150 | 0.150 | Negativo | 7.05 | 4.07 |
| Bd 26 | 0.200 | 0.100 | Negativo | 7.07 | 4.53 |
| Bd 27 | 0.225 | 0.075 | Negativo | 7.04 | 4.68 |
| Bd 28 | 0.250 | 0.050 | Negativo | 6.99 | 3.25 |
| Bd 29 | 0.275 | 0.025 | Negativo | 7.02 | 3.76 |
| Bd 30 | 0.295 | 0.005 | Negativo | 7.01 | 2.18 |

Fuente: Datos Experimentales.

Tabla 2. Datos cromatográficos empleados en el análisis de biogás

| | |
|--|--|
| Cromatógrafo de Gases Agilent 6890N GC | Detector de captura de electrones |
| Columna capilar apolar AT-PETRO (100 metros de longitud) | Diámetro interno de la columna: 0.25 mm. |
| Capa interna de fase estacionaria: 0.50 μ m. | |
| Temperatura del detector: 230 °C | Temperatura del inyector: 230 °C |
| Temperatura del horno: 200 °C | Gas de arrastre: nitrógeno |
| Volumen de inyección: 200 μ L | Flujo de gas inerte: 30 mL/min |
| Tiempo de análisis: 17 min | Tiempo de retención aproximado: 9.7 min |

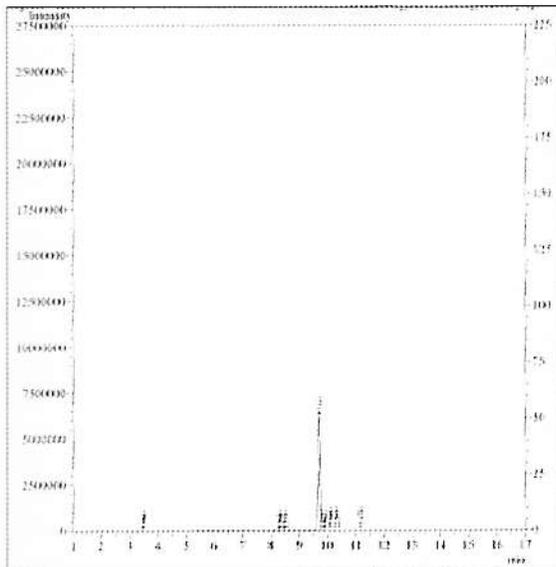
Fuente: Datos Experimentales.

Tabla 3. Resultados cromatográficos de análisis de biogás

| Microbiodigestor | Tiempo de retención | Altura de la señal | Área de la señal |
|------------------|--|--------------------|------------------|
| Std | 9.71 | 6,171,411 | 31350214 |
| Bd 11 | 9.65 | 15,787,771 | 64210253 |
| Bd 12 | 9.65 | 4,370,727 | 47037128 |
| Bd 14 | 9.66 | 17,119,338 | 74506770 |
| Bd 15 | 9.69 | 18,163,743 | 75960112 |
| Bd 16 | 9.67 | 15,154,994 | 61879379 |
| Bd 17 | Biogás perdido, falla en bolsa recolectora | | |
| Bd 18 | 9.68 | 14,056,883 | 56176867 |
| Bd 19 | 9.61 | 6,860,855 | 102894743 |

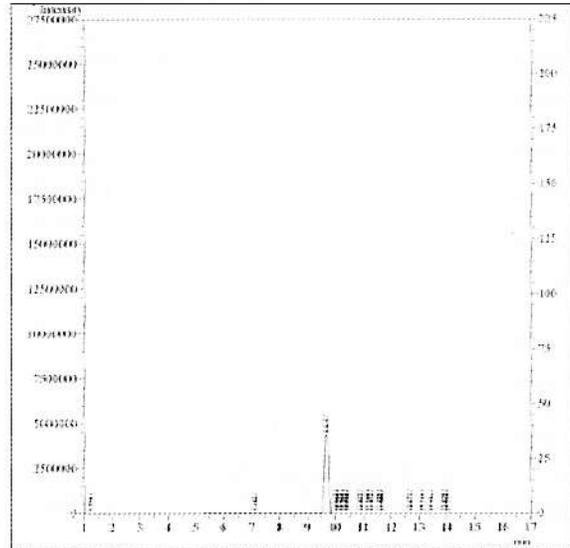
Fuente: Datos Experimentales.

Gráfica 4. Cromatograma de Gas Patrón de Metano.



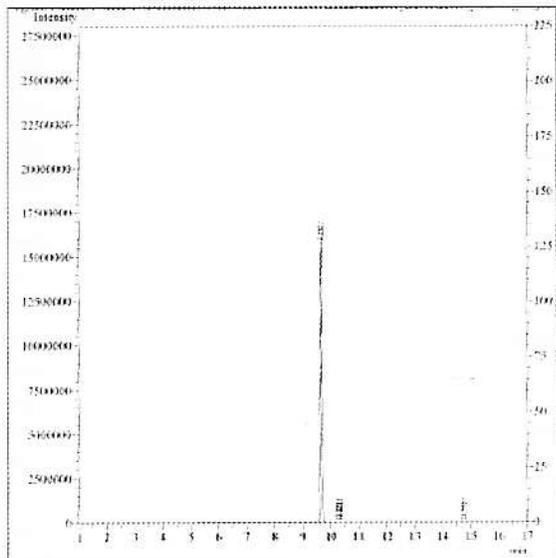
Fuente: Experimental

Gráfica 6. Cromatograma del gas producido en el Microbiodigestor B12



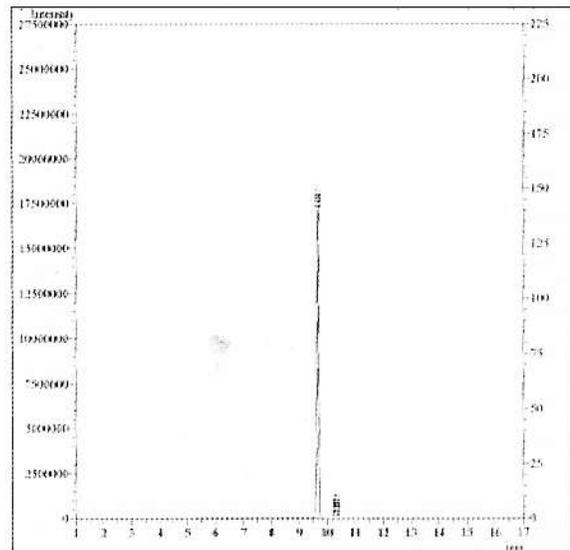
Fuente: Experimental

Gráfica 5. Cromatograma del gas producido en el Microbiodigestor B11



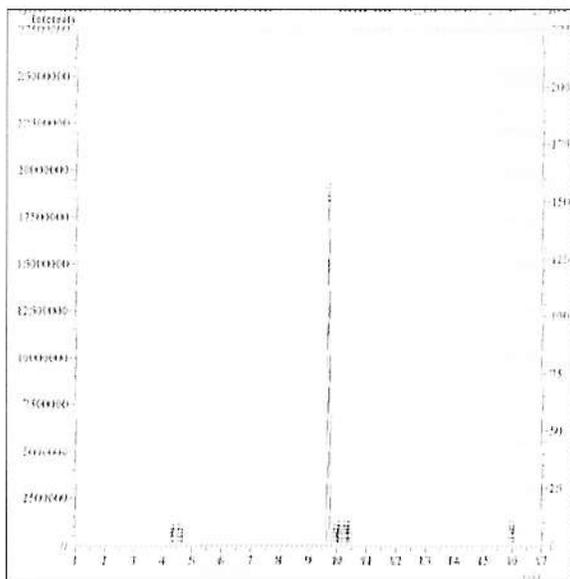
Fuente: Experimental

Gráfica 7. Cromatograma del gas producido en el Microbiodigestor B14



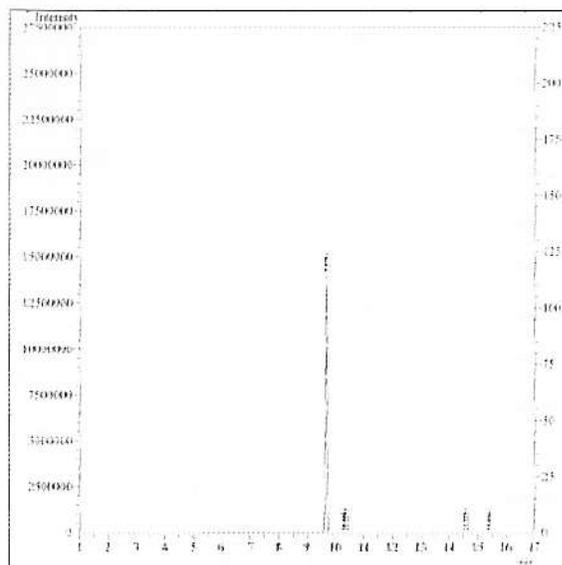
Fuente: Experimental

Gráfica 8. Cromatograma del gas producido en el Microbiodigestor B15



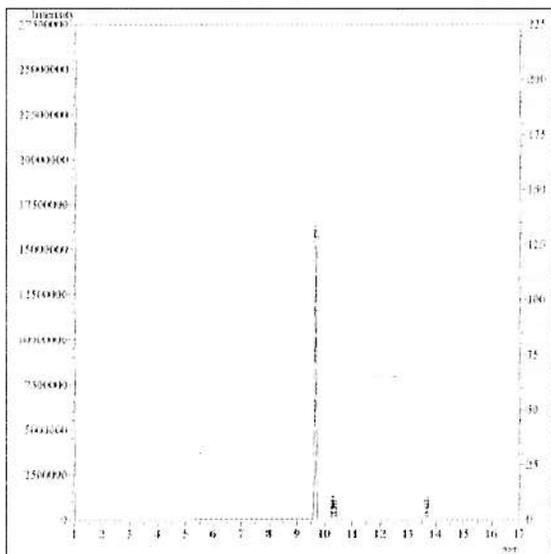
Fuente: Experimental

Gráfica 10. Cromatograma del gas producido en el Microbiodigestor B18



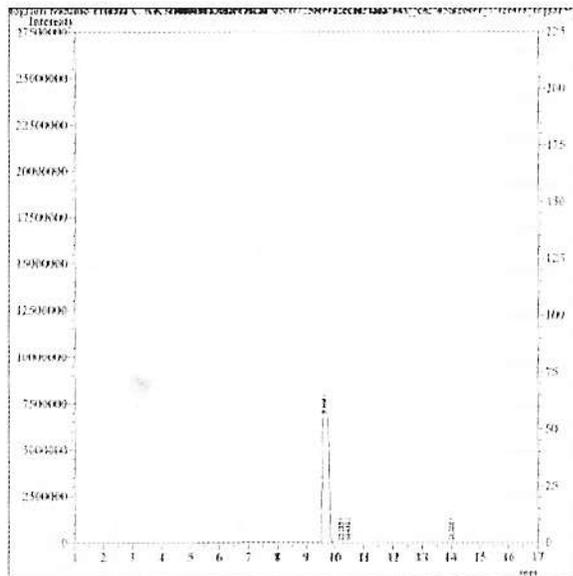
Fuente: Experimental

Gráfica 9. Cromatograma del gas producido en el Microbiodigestor B16



Fuente: Experimental

Gráfica 11. Cromatograma del gas producido en el Microbiodigestor B19



Fuente: Experimental

Discusión de Resultados

Para comprobar la presencia de metano en el biogás generado, se realizaron pruebas de combustión al gas obtenido en los diferentes biodigestores; ya que como se esperaba que en su mayor proporción fuera metano, el cual es un gas inflamable. Dentro de varios biodigestores hubo producción de gas; a los cuales se realizó la prueba de combustión, dando un resultado positivo para la presencia de metano en el biogás generado en los biodigestores Bd 11, Bd 12, Bd 14, Bd 15, Bd 16, Bd 17, Bd 18, Bd 19. En el caso del biodigestor Bd 13, el resultado fue negativo, y teniendo en cuenta que los demás digestores que contaban solamente con agua de lavado de pulpa de café dieron positivo, posiblemente la causa de este resultado sea debido al estiércol utilizado o a que el sistema de biodigestión no se encontraba totalmente sellado.

Se observó que en los biodigestores en los cuales se utiliza glicerina residual, no produce biogás y en el caso que se produzca algún gas, es principalmente dióxido de carbono. Esto se observó tanto en los biodigestores en los que se utilizó solamente glicerina residual como en los biodigestores de mezclas de ambos sustratos. Se observa en los resultados obtenidos, que la presencia de glicerina residual inhibe la producción de metano.

De los sistemas de biodigestión que dieron positivo a la prueba de ignición, se inyectó una muestra de 200 μ L en un Cromatógrafo de Gases Agilent 6890N GC con detector de captura de electrones (ver metodología).

Inicialmente se inyectó una muestra de Gas Patrón de Metano, para observar el tiempo al cual se obtenía la detección del gas metano. Se logró la detección del gas metano en un tiempo de 9.71 minutos. Debido a que se desconoce la concentración a la cual se encuentra el gas patrón de metano, no se puede hacer una determinación cuantitativa. Como se puede observar en la tabla de los resultados cromatográficos de análisis de biogás (Tabla 3), se observa que la detección del gas metano, como componente mayoritario del biogás generado, se logra en un tiempo menor a 9.7 minutos. Se tiene una alta resolución en la señal cromatográfica del biogás generado, lo cual se respalda en una altura de la señal mucho mayor que la del gas patrón, principalmente en el análisis en los biodigestores Bd 15 y Bd 16.

En la biodegradación y consecuente generación de biogás, principalmente en los biodigestores que cuentan únicamente con agua de lavado de pulpa de café, existe una alta concentración de gas metano. Se determina que el mayor porcentaje de la composición del biogás generado es gas metano.

Mediante los anteriores análisis, se determina que, a cualquier concentración o cantidad de agua de lavado de pulpa de café que se utilice dentro del biodigestor se tiene una producción de biogás con una alta concentración de metano. Ya que el agua de lavado de pulpa de café tiende a ser una buena fuente de materia orgánica, la cual es utilizada por las bacterias metanogénicas para la producción de metano.

La producción de biogás dentro de un biodigestor mediante la fermentación anaeróbica de materia orgánica está limitada por la presencia de inhibidores, principalmente por la presencia de iones metálicos. Estos parámetros no fueron analizados, pero son de tomar en cuenta, ya que debido a que los sustratos son de origen industrial, existe una gran posibilidad de su presencia.

La utilización de la glicerina residual del proceso de biodiesel no completa el proceso de biodigestión. A pesar de tener una fuente de materia orgánica, la posible presencia de inhibidores, impiden la formación de metano, llegando solamente a la fase de acidificación, que se observa con la producción de dióxido de carbono. Algunas posibles causas de que en la glicerina no se logre la total biodigestión están en la posible presencia de algún ión que sea perjudicial para las bacterias, que los cambios en el valor de pH que se dan durante el proceso de digestión, afecten el desarrollo de las bacterias, y su consecuente degradación de la materia orgánica presente, o posibles remanentes de sustratos o subproductos químicos del proceso de producción de biodiesel, tales como iones sulfato (del empleo de ácido sulfúrico).

Se tiene que tomar en cuenta, que a pesar que el agua de lavado de pulpa de café tiene un alto potencial de ser utilizado como fuente de materia orgánica para el proceso de biodigestión, la presencia de la glicerina residual de biodiesel inhibe que este proceso se lleve a cabo en su totalidad, ya que solamente se tiene la producción de CO₂ y no de metano. Esto se observa en los biodigestores, en los que se propuso emplear una mezcla de ambos sustratos.

biodigestión. A pesar de tener una fuente de materia orgánica, la posible presencia de inhibidores, impiden la formación de metano, llegando solamente a la fase de acidificación, que se observa con la producción de dióxido de carbono. Algunas posibles causas de que en la glicerina no se logre la total biodigestión están en la posible presencia de algún ión que sea perjudicial para las bacterias, que los cambios en el valor de pH que se dan durante el proceso de digestión, afecten el desarrollo de las bacterias, y su consecuente degradación de la materia orgánica presente, o posibles remanentes de sustratos o subproductos químicos del proceso de producción de biodiesel, tales como iones sulfato (del empleo de ácido sulfúrico).

Se tiene que tomar en cuenta, que a pesar que el agua de lavado de pulpa de café tiene un alto potencial de ser utilizado como fuente de materia orgánica para el proceso de biodigestión, la presencia de la glicerina residual de biodiesel inhibe que este proceso se lleve a cabo en su totalidad, ya que solamente se tiene la producción de CO₂ y no de metano. Esto se observa en los biodigestores, en los que se propuso emplear una mezcla de ambos sustratos.

Conclusiones

La biodegradación, utilizando como sustrato el agua de lavado de pulpa de café, presenta una alta concentración de metano en el biogás producido.

Ya que el gas patrón de metano era de concentración desconocida, no se pudo hacer una determinación cuantitativa, solamente una determinación cualitativa.

El agua de lavado de pulpa de café se puede utilizar en diferentes cantidades dentro de un biodigestor ya que es una buena fuente de nutrientes, que son utilizados por las bacterias metanogénicas para la producción de metano.

La utilización de la glicerina residual del proceso de biodiesel no logra completar el proceso de biodigestión dentro de los biodigestores, solamente se llega a la fase de acidificación.

Aunque la glicerina sea un compuesto de naturaleza orgánica, el empleo de la glicerina residual, impide que la formación de metano se lleve a cabo, posiblemente por la presencia de inhibidores (como detergentes y/o iones Ca²⁺, K⁺, Na⁺, NO₃⁻), o posibles remanentes de sustancias químicas del proceso de producción de biodiesel (como iones

sulfato, provenientes del empleo de ácido sulfúrico).

A pesar de que el agua de lavado de pulpa de café presenta un potencial para su uso como fuente de materia orgánica para el proceso de biodigestión, la presencia de la glicerina residual de biodiesel inhibe que este proceso se lleve a cabo en su totalidad, independientemente de la cantidad en que ambos se encuentren

Referencias

Acazar, J. G. (2001). ANOVA multifactorial. Departamento de Matemáticas, Universidad de Alcalá. Consultado el 13 de octubre de 2009. Disponible en: <http://www2.uah.es>

Asociación de Combustibles Renovables – Guatemala. (2007). Consultado el 17 de octubre de 2009. Disponible en: <http://acrguatemala.com>

Biodiesel: Handling and use. (2009). Cuarta edición. Estados Unidos. National Renewable Energy Laboratory. Pp. 3, 6-9

Biodigestores: una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. (2005) Fundación Hábitat. Colombia. p. 2-15.

Camacho Nassar, C. y Roux G. (1992). Caracterización de la cadena del café de Guatemala. Consultado el 18 de septiembre de 2007. Disponible en: www.grupochorlavi.org

Castañeda Zamora, H. (1984). Estudio comparativo entre diferentes digestores de alta productividad empleados en procesos de fermentación utilizando jugo de pulpa de café como sustrato. Guatemala. Tesis Licenciado en Ingeniería Química. Universidad San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Pp. 27-35

Chynoweth, D. y Isaacson, R. (1987). Anaerobic digestion of biomass. Editorial London Elsevier Applied Science. Inglaterra. Pp. 7-10

De León De Paz, O. (1980) Evaluación de la Producción de Biogás a partir de desechos derivados del beneficiado del café. Guatemala. Tesis Licenciado en Ingeniería Química. Universidad San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Pp. 9-14,

Estrada, E. (2008). Determinación y evaluación de la producción de biogás, a partir de una mezcla de agua de lavado de café y glicerina obtenida del proceso de elaboración de biodiesel para una planta artesanal. Proyecto del Fondo para el Desarrollo de la Ciencia y Tecnología (FODECYT) No. 20-2008. Guatemala, Guatemala.

Larosa, R. (2001). Proceso para la producción de biodiesel (metiléster o ésteres metílicos de ácidos grasos). Consultado el 16 de septiembre de 2009. Disponible en: <http://www.inia.org.uy>

Marín, J.; *et al.* (2007). Optimización de un método para la determinación simultánea de H₂ y CH₄ por cromatografía gas-sólido en biorreactores anaeróbicos” Multiciencias, septiembre-diciembre, año/Vol. 7, número 003. Universidad de Zulia, Venezuela. pp. 266-275. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx>

Pérez F. (1985). Metodología para la elaboración de un estudio de factibilidad técnico-económico para la construcción de biodigestores en una comunidad. Guatemala. Tesis Licenciado en Ingeniería Química. Universidad San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Pp. 23-34

Sánchez, E.; *et al.* (2001). Effect of substrate concentration and temperature on the anaerobic digestion of piggery waste in a tropical climate. *Process Biochemistry*. Pp.237-241

Skoog, D.; *et al.* (2001). Principios de análisis instrumental. McGraw Hill. España. Pp. 234-238

Spiro, T. y Stigliani, W. (2004). Química Medioambiental. Trad. por Yolanda Madrid. Segunda Edición. España. Editorial Prentice Hall. Pp. 15, 17, 74.

Yurrita Flores, A. (1982). Generación de Biogás a partir de jugo de pulpa de café. Guatemala. Tesis Licenciado en Ingeniería Química. Universidad San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Pp. 5-18