



Obtención de biogás a partir de la pulpa de café y estiércol de res

Obtaining biogas from manure and coffee pulp beef

Sandra Fajardo Muñoz
Jaime Páez Gracia

Fecha de recepción: 08 de mayo del 2015

Fecha de aceptación: 05 de agosto del 2015

Obtención de biogás a partir de la pulpa de café y estiércol de res

Obtaining biogas from manure and coffee pulp beef

Sandra Fajardo Muñoz¹, Jaime Páez Gracia²

Como citar: Fajardo, S., Páez, J. (2015). Obtención de biogás a partir de la pulpa de café y estiércol de res. *Revista Universidad de Guayaquil*. 121(3), 47-54. DOI: <https://doi.org/10.53591/rug.v121i3.386>

Resumen

La biodigestión de la mezcla de pulpa de café con estiércol de res, en condiciones anaeróbicas es una efectiva técnica para la producción de biogás, como opción ante el tema de la contaminación ambiental y la sustitución de combustibles fósiles en el país. En la actualidad a nivel nacional no se están aprovechando adecuadamente recursos como los desechos agrícolas, como fuentes energéticas alternas a las actuales

La cantidad de biogás obtenido en el experimento a partir de una base de pulpa seca de 22 kilogramos es de 104.7 litros, lo cual es un indicador de lo que se pudiera lograr si se utilizara toda la pulpa de café que se desperdicia en el país. Los volúmenes de gas a obtener, ascenderían anualmente a los 258000 metros cúbicos, los cuales equivalen a la energía proporcionada por 157668 litros de gasolina o 370220 kilovatios/hora de energía. El presente estudio sienta las bases para el desarrollo de proyectos de innovación tecnológica dirigidos a la obtención de fuentes de energía alterna, incentivando al sector campesino ecuatoriano para que piensen en la necesidad de instalar sus propios digestores, y así emplear los desechos de las cosechas y el estiércol de sus animales de crianza

Palabras clave: Biodigestor, Biogás, Desechos agrícolas, Estiércol de res, Fuente energética alternativa, Pulpa de café

Summary

The digestion of the pulp mixture of coffee with cattle manure in anaerobic conditions is a technique effective for the production of biogas as an option to the issue of environmental pollution and the substitution of fossil fuels in the country. Today at the national level are not properly exploiting resources such as agricultural waste, such as alternative energy sources today.

The amount of biogas obtained in the experiment from a base of 22 kg dry pulp, is 104.7 liters, which is an indicator of what could be achieved if all coffee pulp that is wasted in the country was used. The volumes of gas to be obtained, would amount annually to 258,000 cubic meters, which is equivalent to the energy provided by 157,668 liters of gasoline or 370,220 kilowatt / hours of energy. This study lays the foundation for the development of technological innovation projects aimed at obtaining alternative energy sources, encouraging the Ecuadorian rural sector to think about the need to install their own digesters, and so use the crop wastes and manure from their livestock.

Keywords: Biodigester, Biogas, Agricultural waste, Cattle Manure, Alternative energy source, Coffee pulp

¹ Ingeniera Química - MsC, Universidad de Guayaquil, Ecuador. Correo electrónico: revistaug@ug.edu.ec

² Ingeniero Químico - MsC, Universidad de Guayaquil, Ecuador. Correo electrónico: revistaug@ug.edu.ec

Introducción

La riqueza de los campos en desechos orgánicos de todo tipo, permite buscar alternativas para que el sector campesino del país solucione, en calidad de autos productores, su necesidad básica de su- ministro de energía

La utilización de los desechos orgánicos para producir energía, constituye un proyecto poco desarrollado en este país, en comparación con países asiáticos y de otras regiones, donde esta práctica ha sido explotada con éxito durante varios genes raciones. Para Latinoamérica las principales experiencias se tienen en ciertos países como Colombia, México, Panamá y Costa Rica

La necesidad de preservar la calidad de los recursos de agua y asegurar su utilización racional red quiere de un amplio proceso de concientización, así como de políticas adecuadas para la protección ambiental, las que contemplen variadas alternativas de uso para los desechos orgánicos

El objetivo de emplear la pulpa de café y el estiércol de ganado vacuno en la presente investigación viene dado a que ambos materiales son considerados desechos de la agroindustria y la actividad pecuaria en el país, constituyéndose ambos en fuentes directas que provocan en gran medida del desmejoramiento de la calidad de las aguas a nivel nacio nal. Paralelo a ello se debe destacar que el estiércol tiene una relación Carbono: Nitrógeno de 25: 1o que lo hace apto para la producción de biogás. Para el caso de la pulpa de café su uso se fundamenta en que la misma constituye el 40% del peso total de la cereza de café y dado los grandes volúmenes de café que se industrializa en Ecuador, se ha llegado a contabilizar cifras de hasta 54000 toneladas de pulpa de café que se disponen a los ríos y quebradas sin previo tratamiento

Situación energética mundial.

Desde la década de los años 70 del pasado siglo, ha sido práctica común en conferencias, eventos y cumbres, hablar de la crisis actual con respecto a los combustibles fósiles, (Houtart, 2009; Weinland, 201 0). En tal sentido, la situación energética se agudiza con el crecimiento acelerado de la de la manda de energía global basada en un 88% sobre combustibles fósiles. Según reportes, en el año 2014 la matriz energética mundial estuvo formada por un 86,7 % de combustibles fósiles y un 13,3

% de fuentes renovables de energía (FRE). El caso particular de Brasil es peculiar, ya que en este país un 44.7 % de su matriz energética corresponde a

las FRE, destacándose la energía hidráulica sobre las demás formas, producto de los numerosos y caudalosos ríos con que cuenta ese país, demostrándose una preocupación gubernamental en el uso de las FRE, como una de las principales vías para la protección de la naturaleza

Generalidades del proceso de digestión anaerobia.

La fermentación o digestión anaeróbica (DA) es un proceso biológico que se desarrolla tanto en ecosistemas formados por la naturaleza (pantanos, lagos, manglares, lechos de los ríos), así como en ecosistemas creados por el hombre (rellenos sanitarios, pozos sépticos, lagunas anaeróbicas) para la acumulación de residuos ganaderos, cultivos de arroz y biodigestores (Watanabe et al., 2009).

La DA es un proceso biológico natural, bioquímico, donde las enzimas generadas por la acción simprótica de un consorcio de bacterias, producen una fermentación estable y autorregulada de la fracción orgánica residual. Durante el proceso se convierte la fracción orgánica, en ausencia de oxígeno molecular como aceptor de electrones, en una mezcla de gases (biogás) y un bioresidual efluente estabilizado formado por una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) con propie- dades bio-fertilizantes de los suelos (Montalvo y Guerrero, 2003).

A criterio de Zehnder, (1978) y la FAO, (201 1) la digestión anaeróbica como proceso microbiológico y bioquímico de descomposición anaeróbica de la materia orgánica transcurre en cuatro fases: Hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, según se muestra en la Figura 1

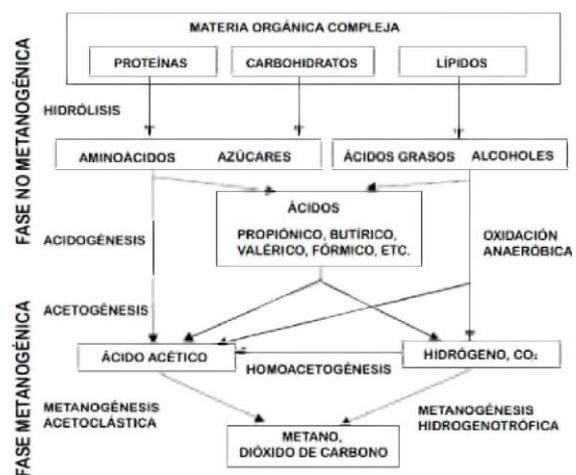


Figura 1: Esquema general del proceso de digestión anaeróbica, (Pavlostathis y Giraldo, 1991)

La DA es un proceso complejo en el que intervienen diferentes poblaciones microbianas, de manera coordinada y secuencial, para transformar la materia orgánica presente hasta los productos finales del proceso. (Park et al., 2005., Charles et al., 2009)

La hidrólisis es la primera etapa de este proceso de DA. En la misma las enzimas extracelulares producidas por las bacterias fermentativas toman la fracción de materia orgánica formada por especies poliméricas carbonadas complejas de carbohidratos, grasas, proteínas y ácidos nucleicos, y las fragmentan en moléculas carbonadas más simples con cadenas más cortas de compuestos solubles, las que resultarán metabolizadas por las bacterias anaerobias en el interior de las células (ácidos orgánicos, aminoácidos mono y oligosacáridos, por lípidos (ej. glucosa, galactosa, arabinosa, manosa glicerol, purinas, piridinas), y aminoácidos), liberándose hidrógeno y dióxido de carbono. (AL Seadi et al., 2008; Vavilin et al., 2008; Aldin, 2010; Chandra et al., 2012)

La eficiencia cinética de la reacción de hidrólisis es esencial en el proceso de digestión anaeróbica, ya que es la encargada de facilitar los compuestos orgánicos e inorgánicos necesarios para ser utilizados en las siguientes etapas (Amado, 2009).

La acidogénesis es la segunda etapa del proceso de DA, constituyendo desde el punto de vista cinético el paso más rápido del proceso. En esta etapa los productos obtenidos en la fase de hidrólisis resultan fermentados por bacterias anaeróbicas o facultativas acidogénicas produciendo, ácidos grasos volátiles (AGV) de bajo peso molecular, como el ácido acético, fórmico, propiónico, butírico, alcoholes, dióxido de carbono e hidrógeno, entre otros (Díaz et al., 2009; Gali et al., 2009).

La fermentación de los azúcares ocurre de diversas maneras, dependiendo del microorganismo y la ruta metabólica que ocurra. Los principales microorganismos asociados con la fermentación de la glucosa son los del género *Clostridium*, que convierten glucosa en ácido butírico, ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno, entre otros. (Ortega, 2006)

La acetogénesis constituye la tercera etapa del proceso. En la misma, los AGV son transformados en sustratos propios del metano: hidrógeno, acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por bacterias acetogénicas. Finalmente, en la última etapa el hidrógeno y el acetato son transformados en una mezcla

de metano y dióxido de carbono. El hidrógeno producido es convertido por bacterias metanogénicas hidrogenotróficas y el acetato por bacterias metanogénicas acetoclásticas, (AL Seadi et al., 2008; Díaz et al., 2009; Hernández y Delgadillo, 2011). Esta etapa de la digestión anaeróbica es fundamentalmente para conseguir la eliminación de materia orgánica, ya que los productos finales no contribuyen a la DBO y DCO del medio (Campos, 2001).

La cinética química y la biodegradabilidad de la biomasa constituyen dos dimensiones determinantes en los procesos de digestión anaeróbica. Las poblaciones de microorganismos se caracterizan por diferentes velocidades de crecimiento y sensibilidad a cada compuesto intermedio como inhibidor, por ejemplo: hidrógeno, ácido acético o amoníaco. Por consiguiente cada etapa del proceso mostrará diferentes velocidades de reacción en función de la composición del sustrato, y el desarrollo estable del proceso global requerirá de un equilibrio que evite la acumulación de compuestos intermedios inhibidores o la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV), lo que podría producir un aumento de la acidez y una disminución del pH. Desde el punto de vista cinético, la velocidad de reacción del proceso de DA es función de la etapa más lenta del mecanismo, dependiendo de la posición del residuo. (Vavilin et al., 2008)

Desde el punto de vista cinético, las fases limitantes del proceso de digestión anaeróbica se presentan en función del tipo de sustrato, su composición y solubilidad, por lo que en tal sentido resulta indispensable elevar la concentración de los microorganismos acetogénicos y metanogénicos, así como la superficie de contacto de las partículas (sustrato- inóculo), para sustratos particulados, en que la fase limitante del proceso es la hidrólisis, (Eastman y Ferguson, 1981; Pavlostathis y Giraldo Gómez, 1991).

La cinética del proceso de digestión anaeróbica se expresa a través de las velocidades de reacción de las cuatro etapas principales que conforman el proceso. Cuando la primera etapa de hidrólisis y la segunda de fermentación acidogénica son inhibidas, los ácidos producidos se acumulan aumentando la acidez y disminuyendo el pH, por ende, los sustratos para la tercera y cuarta etapa estarán limitados para la acetogénesis, y por consiguiente para la metanogénesis en la producción de metano. Esta es la principal causa del colapso de muchos digestores anaeróbicos (Vavilin et al., 2008).

Las bacterias metanogénicas son muy sensibles a las condiciones en el interior del reactor por lo que es muy importante mantener las condiciones óptimas de digestión, (Krishania et al., 2013). Desde el punto de vista cinético, la velocidad de las reacciones bioquímicas del proceso de digestión anaeróbica depende de una serie de factores dentro de los que se encuentran: tipo, concentración y tamaño de las partículas de la biomasa utilizada como sustrato, pH así como la temperatura.

El gas metano (CH₄), es el principal componente del biogás, al cual le concede sus propiedades energéticas. Otros componentes en menor proporción del biogás son: el dióxido de carbono (CO₂), así como pequeñas cantidades de otros gases como hidrógeno (H₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S), amoníaco (NH₃), nitrógeno (N₂), vapor de agua, hidrocarburos halogenados, alcanos superiores y hidrocarburos aromáticos. La Tabla 1, muestra la composición del biogás en dependencia de la biomasa utilizada como sustrato. Tabla 1: Composición del biogás en función del sustrato utilizado

(Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991)

Biogás	Residuos agrícolas	Lodos de depuradoras	Gas de vertedero
CH	50-80%	50-80%	45-65%
CO	20-50%	30-50%	10-20%
H ₂ O	saturado	Saturado	saturado
H	0-2%	0-5%	0-1%
H ₂ S	100-700 ppm	0-1%	0.5-100 ppm
N	0-1%	0-3%	0-20%
O ₂	0-1%	0-1%	0-5%
NH ₃	Trazas	Trazas	Trazas
CO	0-1%	0-1%	Trazas

Fuente: (Coombs, 1990).

La composición del biogás depende de la fracción de biomasa degradada, así como del proceso tecnológico anaeróbico. Cuando la fracción orgánica proviene de residuos agrícolas como fuente de carbono, la composición puede variar en los intervalos: metano (50-80%), dióxido de carbono (20-50%), hidrógeno (0-2%), monóxido de carbono, nitrógeno y oxígeno (0-1%), sulfuro de hidrógeno 100-700 ppm, además de amoníaco

en forma de trazas. (Bu'Lock y Christiansen, 2000)

La digestión anaeróbica es aplicable a una amplia gama de biomásas incluidas los residuos municipales, agrícolas e industriales. En la Tabla 2, se muestran la producción de biogás generado por digestión anaerobia de diferentes tipos de residuales. Tabla 2: Producción de metano a partir de digestión anaeróbica de residuos Orgánicos.

Sustratos	Metano L/Kg SV	Referencia
Residuos sólidos municipales	360	Vogt et al., (2002)
Residuos de frutas y residuos de matadero	850	forster-Corneiro et al., (2007)
Purines de cerdo	337	Aha et al., (2009)
Pojo de arroz	350	Lei et al., (2010)
Ensilado de maíz pojo	312	Wlumme et al., (2010)
Residuos orgánicos ricos en figuras	200	Soosinghe et al., (2011)
Estiércol de cerdo agnes residuales	348	Cierro et al., (2011)
Restos de comida	396	Zhang et al., (2011)

El biogás en función de sus componentes y composición que le otorgan aplicaciones energéticas importantes, presenta un conjunto de propiedades específicas las que se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Propiedades generales del biogás

Indicadores	Valores
Coeficiente energético	6.0 — 6.5 kWh m
Equivalente de combustible	0.60 — 0.65 L petróleo m biogás
Límite de explosión	6 — 12 de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650—750°C (con el conferido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 — 88 atm
Temperatura crítica	82.5°C
Oxidabilidad normal	1.2 kg m
Olor	Huevo podrido (biogás desulfurado es imperceptible)
Viscosidad	16.043 kg/mol

Fuente: Deublein y Steinhauser, (2008) citados por FAO, (2011)

Relación C/N:

Las biomásas involucradas en procesos de fermentación están formadas en su mayor parte por carbono (C) y nitrógeno (N). En tal sentido se establece la relación entre ellos (C/N), que influye sobre la producción de biogás. Las relaciones C/N en el orden de 20:1 hasta 30:1 en las biomásas residuales son aceptable para la producción de biogás con buenos rendimientos, (Alcayaga et al., 1999).

Estudios realizados con diferentes biomásas han confirmado que el valor ideal en cuanto a relación C/N es de 16, (Corace et al., 2006); así mismo, mezclas de biomásas sometidas a procesos de fermentación con alto contenido de nitrógeno (como, por ejemplo, el estiércol de gallina) con biomasa de fermentación con alto contenido de carbono (paja de arroz) generan una elevada producción de gas, (Alcayaga et al. 1999). En la tabla 4 se muestra las relaciones C/N para varios productos residuales. (Guevara 1996; Corace et al., 2006)

Biomasa	Relación C/N
Estiércol equino	25
Estiércol vacuno	18
Alfalfa	16.20
Algas marinas	19
Aserrín	511
Basura	25
Cáscaras de papa	25
Paja seca de trigo	87
Paja seca de arroz	67
Tallo del maíz	53
Hojas secas	41
Estiércol de aves	32
Estiércol ovino	29
Estiércol de cerdos	13
Excretas frescas humanas	2.90

Fuente: {Guevara 1996; Corace et al. 2006}.

El rendimiento estable en la producción de biogás de ello que es necesaria la mezcla de sustratos e inóculos depende

en gran medida de la óptima relación C/N, es por

ricos en nitrógeno y carbono; la mezcla de sustratos como la paja de arroz y otros residuos agrícolas, ricas en carbono, con excretas de animales ricas en nitrógeno produce altos rendimientos en la producción de biogás. Metodología La pulpa de café utilizada se obtuvo del proceso de beneficio del café, una vez que el fruto del cafeto fue cosechado, secado, entrojado y despulpado. El material recogido (39 Kg), se pone a secar en el suelo expuesto al sol, por un tiempo de 4 - 6 horas, en capas de un espesor no mayor a los 4cm. Para facilitar el secado, las capas se deben remover cada 30 minutos. En esta operación la humedad disminuye del 85% con que se recoge la pulpa hasta el 23%. Posteriormente esta pulpa se coloca en sacos de yute los que se dejan en reposo hasta el día siguiente. La pulpa durante este periodo se endurece y toma un color más claro que su color original originado por la pérdida de agua y su exposición a los rayos solares. Al día siguiente el material fue sometido nuevamente al proceso de secado con el objetivo de completar el proceso de secado para aumentar el tiempo de duración del material sin que entre en fermentación. Para este nuevo secado las capas de pulpa que se colocan en el suelo bajo los rayos del sol no sobrepasaron el espesor del 5 cm. El tiempo de secado puede llegar hasta las 5 horas, removiendo el material cada 30 minutos. Al final del proceso la pulpa tiene un contenido de humedad que no supera el 7%. El rendimiento de este proceso de secado fue del 56.4%

El estiércol de res se recopiló en estado fresco directamente de establos y vaquerías, al recogerlo se debe de tratar de recolectar todo el líquido que acompaña a estas deyecciones pues ahí abunda fundamentalmente la orina, la cual es rica en amoníaco. El mismo se almacena en bolsas plásticas, las que se introducen posteriormente en sacos para facilitar el traslado sin que se rompan. El estiércol una vez trasladado al Lugar de procesamiento se coloca en el estercero y es sometido al proceso de dilución con agua en una proporción 1:1. Previo a la dilución se eliminan los desechos que pueden acompañar a este material como piedrecillas, cáscaras, y otros residuos sólidos. Una vez diluido el estiércol el mismo se deja en reposo por un tiempo que puede llegar hasta los 5 días para lograr que el mismo prefere, lo cual favorece su utilización para la producción de biogás pues de esa forma se asegura el medio propicio para la proliferación de bacterias metano génicas.

Para obtener la mezcla a utilizar en el proceso de bio digestión se tuvo en cuenta, además de la experiencia de los autores, otros criterios publicados por diversos autores e instituciones de prestigio como el Instituto de Investigaciones tecnológicas de Bogotá, Colombia, así como el

3 Partes de agua/2 Partes de estiércol/1 Parte de pulpa de café

(66Kg) (44 Kg) (22 Kg)
El biodigestor utilizado se presenta en la Figura 2.

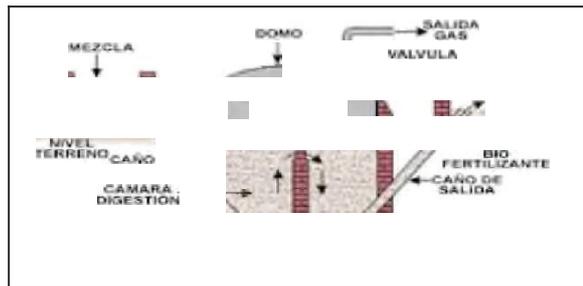


Figura 2: Tipo de Biodigestor utilizado

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Las corridas experimentales se realizaron por triplicado, presentándose los valores promedios obtenidos durante la experimentación

Control de las materias primas para la mezcla
Las principales variables a controlar para obtener una mezcla de calidad para la producción de biogás fueron el pH en el estiércol, así como la humedad, y el pH para la pulpa de café.

El valor del pH para el estiércol fresco (recién recolectado) fue de 8.5, el cual fue debidamente controlado y ajustado durante el proceso pre fermentativo. Para lograr una prefermentación eficiente el régimen de agitación es vital para la homogenización del medio y con ello la distribución equitativa de las bacterias en toda la masa de estiércol. Los resultados a lo largo del tiempo de prefermentación se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5: Control del pH durante el período de prefermentación.

DÍAS	VALOR DEL pH
PPIMEPO /Reco/ección del estiércol)	8.5
SEGUNDO	8.0
TERCERO	8.0
CUARTO	8.0
QUINTO	8.0
SEXTO	8.0

Fuente: Elaborado por los Autores

Para el caso de la pulpa de café, la misma se llegó a tener

Instituto de Recursos Hidráulicos y electrificación panameño, de ahí que se decidiera trabajar con la siguiente proporción para conformar la mezcla:

almacenada hasta 50 días y durante todo ese tiempo el pH se mantuvo estable en un valor de 6.2 similar al de la pulpa cuando se recolectó fresca el primer día. En la estabilidad del valor del pH influye decisivamente la eficiencia del proceso de secado y el correcto almacenamiento del material en un ambiente seco.

La humedad de la pulpa durante los 50 días de almacenamiento se comportó de la siguiente manera

Tabla 5: Humedad de la pulpa de café durante el tiempo de almacenamiento

DÍA	VALOR HUMEDAD (@)
1	7.1
8	7.0
15	7.3
22	7.2
29	7.0
36	7.3
45	7.3
50	7.3

Fuente: Elaborado por los Autores

De la tabla se observa que los valores de humedad se mantuvieron estables durante el tiempo de almacenamiento, lo que permitió que la pulpa no prefermentara, estos resultados fueron posibles a partir de las condiciones de almacenamiento en ambiente seco a las que fue sometido este material.

Control de las variables durante el proceso de bio digestión

Las variables controladas durante el proceso fue con el tiempo de residencia, la temperatura de fermentación, así como el pH.

Tiempo de residencia: Depende del tipo de material utilizado. Se contabiliza desde la carga del Digestor, continúa con el tiempo de fermentación, la producción gaseosa hasta el momento en que la misma cesa. El tiempo de residencia para la digestión de la mezcla utilizada de pulpa de café con estiércol vacuno fue de 40 días.

Temperatura de fermentación: Se ha demostrado que la formación de gas en un proceso fermentativo ocurrido a 30°C de temperatura ambiente, es 1.2 veces superior que a 10°C, señalándose a partir de estos resultados como temperatura óptima para este tipo de proceso la de 35°C, de ahí que las condiciones climáticas presentes en la región costa del Ecuador sean consideradas ideales para la implementación de la biodigestión como proceso adecuado para la producción de biogás a partir de residuos orgánicos. La influencia de la temperatura como variable no solo depende de las condiciones exteriores, sino que la

temperatura de la biomasa a digerirse influye significativamente en la producción de gas. Se ha determinado como niveles óptimos para este proceso el rango entre 28 y 35°C.

Temperaturas por encima o por debajo de ese rango provocan la disminución de la población bacteriana y por consiguiente mermas en la producción de biogás.

Grado de acidez: Este resulta el principal parámetro a controlar durante el proceso de biodigestión. Se requiere que el pH de la biomasa en fermentación no sea ni muy ácido ni muy alcalino, pues en ambos casos puede ocurrir la muerte de las bacterias. Es necesario un medio neutro, aceptándose ligeras desviaciones que no salgan del rango de pH establecido, el cual se encuentra entre 6.9 y 8.2.

Producción de biogás obtenida

La producción de gas que se obtuvo a partir de los 132 Kg de mezcla (agua + pulpa de café + estiércol fermentado), equivalió a 1 04,9 litros producidos durante 40 días que fue el tiempo de residencia total en el Biodigestor. La relación Biogás producido/ días, fue de 2.62 litros,

destacando la calidad del gas obtenido al ser realizadas pruebas de combustibilidad con el mismo.

Conclusiones

La mezcla de pulpa de café con el estiércol vacunopre-fermentado constituye una excelente materia prima para la producción de biogás a partir de la relación C:N presente en la misma. Los volúmenes de ambos materiales que actualmente se desechan en el país y el nivel de rendimiento del proceso de biodigestión realizado permiten aseverar que la utilización de ambos materiales para la generación de una fuente alternativa de energía como lo es el biogás es una opción promisoría especialmente para comunidades y familias individuales que vivan en zonas rurales, a la vez que permite mediante la utilización de estos llamados desechos con fines productivos, disminuir la carga contaminante que los mismos generan, la cual se dispone en la mayoría de los casos sin tratamiento previo a las corrientes superficiales de agua, disminuyendo su calidad y deteriorando su valor de uso.

Los resultados muestran que por cada carga de mezcla al digestor de 132 Kg, se producen alrededor de 104 litros de biogás, lo cual representa un factor de conversión del 0,78, catalogado como alto para este tipo de proceso fermentativo.

Referencias

T

- Alcayaga, S.; Glaría, J.; Guerrero, L.; (1999). Regulaciones de temperatura y potencial de hidrógeno en un biodigestor anaerobio de lecho de lodo granular expandida. Universidad Técnica Federico Santa María, Val-paraíso, Marzo. 11 p. Disponible en Internet: <http://profesores.elo.utfsm.cl/jgb/ALCAYAGA1c.pdf> [Consultada Agosto 2015]
- Aldin, S. (2010): "The effect of particle size on hydrolysis and modeling of anaerobic digestion". School of Graduate and Postdoctoral Studies. London, Ontario, Canada. The University of Western Ontario. PhD: 248.
- AL Seadi T, Rutz D., Prassl H., Kottner M., Finsterwalder T, Volk Silke, R., Volk Silk, J., y Janssen R. (2008): „Manual Del biogás”. Páginas 16,24 ,10y31. Editado: Universidad de Dinamarca. Dinamarca.
- Amado, K. G. (2009): "Codigestión Anaeróbica de Estiércol y Lodos de Depuradora para Producción de Biogás". Departamento Tecnologías del Medio Ambiente. Facultad de Ciencias del Mary Ambientales, Universidad de Cádiz: 76.
- Bu'Lock, J., y Christiansen, B. (2000): Biotecnología Básica. Zaragoza, España
- Campos, AE. (2001): "Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria". Tesis Doctoral. Escola técnica superior de Ingeniería Agrária, Universidad de Lleida, España.
- Chandra, R., Takeuchi, H. y Hasegawa, T (2012): "Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production". Renewable and Sustainable Energy Review, 16, 1462-1476.
- Charles, W., Walker, L., y Cord-Ruwisch, R. (2009): "Effect of pre-aeration and inoculums on the start-up of batch thermophilic anaerobic digestion of municipal solid waste". Bioresour Technology 100, 2329-2335.
- Coombs, J. 1990. The present and future of anaerobic digestion, en Anaerobic digestion: a waste treatment technology. Editado por Wheatley, A. Critical reports on applied chemistry 31, 93-138.
- Corace, J.J.; Aeberhard, M.R.; Martina, PA.; Ventín, A.M.; García S., E.; (2006). Comparación del tiempo de reacción en el proceso de indigestión según el tamaño de las partículas de aserrín utilizado como materia orgánica. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2006, Universidad Nacional del Nordeste, Resumen T034, 4p.
- Díaz Valencia, A.B., Toledo Méndez, CR., y Magaña Villegas, E. (2009): "Propuesta de un sistema digestor anaerobioy generación eléctrica para abastecer el Herbario de la DacBid", Revista Kukulkab, XV (28), pp.11-18.
- Eastman, JA. y Ferguson, JF (1981): Solubilization of particulate organic-carbon during the acid phase of anaero- bic-digestion. Journal Water Pollution Control Federation, 53 (3), 352-366.
- (FAO). (2011). *Manual de Biogás*, Santiago, Chile, 118p.
- Gali, A., Benabdallah, T, Astals, S., y Mata-Alvarez, J., (2009). *Modiied version of ADM1 model for agro-waste applica-tion*. Bioresource technology 100(11), 2783-90.
- Guevara VA. (1996): "Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes". Documento OPS/CEPIS/96. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente — Organización Panamericana de la Salud. Lima, 80p.
- Hernández, M., y Delgadillo, M. (2011): "Aplicación del modelo ADM1 en la digestión anaerobia de aguas residualesy desechos sÓidos". Universidad del Quindío,
- Houtart, F (2009): "LaAgroenergía: Sdución para el clima o salida de la crisis para el capital". La Habana: Editorial Ciencias Sociales.
- Krishania, M., Kumar, V, Vijay VK., y Malik, A. (2013): "Analysis of diilerent techniques used for improvement of biometh- anation process": A review. FUEL
- Montalvo, S., y Guerrero, L. (2003): "Tratamiento anaerobio de residuos Producción de biogás". Valparaíso, Chile: Universidad Técnica Federico de Santa María.
- Ortega, N. (2006). "Phosphorus Precip"itation in Anaerobia Digestión Process". Boca Raton, Florida. Consultado en Agosto 2015.
- Disponible en: <http://www.bookpump.com/dps/pdf-b/1123329b.pdf>
- Park, C., Lee, C., Kim, S., Chen, Y, y Chase, HA. (2005) "Upgrading of anaerobic digestion by incorporating

- two
different hydrolysis processes". J. Biosci. Bioeng. 100, 164-167.
- Pavlostathis, S., y Giraldo- Gómez, E. (1991): "*Kinetics of anaerobic treatment: a critical review*". En: Critical reviews in environmental Control 21 p. 411—490.
- Vavilin, VA., Fernández, B., Palatsi, J., y Flotats, X. (2008): "Hydrolysis kinetics in anaerobic degradation of particulate organic material: An overview. Waste Management, 28, 939-951 "Ventajas de la tecnología del biogás a ciclo cerrado. Consultado en Septiembre del 2015. Disponible en: <http://www.aczia-biogas.es/>
- Watanabe, T, Kimura, K., y Asakawa, S. (2009): "Distinct members of a stable methanogenic archaeal community transcribe mcrA genes under flooded and drained conditions in Japanese paddy field soil". En: Soil Biology and Biochemistry 41 p. 276-285
- Weiland, P (2010): "Biogas production: current state and perspectives. Mini-review. Appl Microbiol Biotechnol, 85, 849-860.
- Zehnder, A. J. B. (1978). Biology of Anaerobic Microorganisms. New York: John Wiley and Sons, Inc.



Ing gco SANDRA FAJARDO MUÑOZ ,MsC

Docente Universitario de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil.

Ing gco. JAIME PAEZ GRACIA , MsC

Docente Universitario de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil.