



Encuentro Internacional de
Educación en Ingeniería ACOFI

Innovación en las facultades de ingeniería:
el cambio para la competitividad y la sostenibilidad

Centro de Convenciones Cartagena de Indias

4 al 7 de octubre de 2016



DETERMINACIÓN A ESCALA LABORATORIO DE LA RELACIÓN SUSTRATO/INÓCULO EN LA BIODIGESTIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE LA UNIVERSIDAD EAFIT

Kevin Giovanni Molina Tirado, Natalia Andrea Restrepo Vélez, Valentina Moreno Toro, Vanessa Sánchez Restrepo

Universidad EAFIT
Medellín, Colombia

Resumen

En el presente proyecto de investigación se han trabajado diferentes relaciones entre sustrato e inóculo (0%, 5%, 10%, 15%, 20% g inóculo/g totales) a fin de encontrar la relación óptima para realizar el proceso de biodigestión de los residuos orgánicos de la universidad EAFIT. En los ensayos se ha registrado la cantidad de biogás producida diariamente para las diferentes proporciones mediante desplazamiento volumétrico y se ha determinado que la relación que ofrece mayor cantidad de biogás en un periodo de 15-20 días es de 10%. Además, se han caracterizado los residuos en cuanto a humedad, pH, sólidos volátiles y sólidos totales con el fin de comparar los resultados obtenidos con los resultados reportados en la literatura.

Palabras clave: biodigestión; residuos orgánicos; relación sustrato-inóculo

Abstract

In this project, different percentages for the relation substrate/inoculum (0, 5, 10, 15 and 20% grams of inoculum/total grams) have been treated in order to get an optimum ratio for a biodigestion process for the organic waste in EAFIT University. During the tests, the amount of gas produced has been measured using a volumetric displacement method, and it has been determined that for a period of 15-20 days, the best ratio between substrate and inoculum is of 10%. Besides, the wastes have been characterized in terms of humidity, pH, volatile solids and total solids so the results could be compared in those reported in literature.

Keywords: *biodigestion; organic waste; substrate-inoculum ratio*

1. Introducción

Uno de los retos actuales del hombre es encontrar nuevas formas de generación de energía que le permitan flexibilidad e independencia de los combustibles fósiles tradicionales. Adicionalmente, debe asegurar que sus consumos energéticos vayan de la mano con la preservación de los recursos naturales y los respectivos lineamientos de sostenibilidad.

Una de las alternativas existentes para suplir demandas energéticas en baja proporción es la relativa al aprovechamiento de residuos mediante su descomposición anaerobia en pro de generar metano y aprovecharlo como fuente de energía. Este proceso llamado biodigestión hace uso de dispositivos denominados biodigestores que son reactores herméticamente cerrados, dentro de los cuales se deposita material orgánico, el cual se sintetiza y se transforma en metano. En el proceso se favorece la producción de biofertilizantes ricos en nutrientes como fósforo, potasio y nitrógeno.

La proporción óptima de alimentación al reactor para una adecuada biodigestión es una variable de estudio importante y depende del tipo de material a trabajar, es por esto que encontrar la relación más adecuada entre el material orgánico (sustrato) y los microorganismos anaerobios (inóculo) es el objeto principal de este proyecto. Este tipo de procesos tiene enormes ventajas desde el punto de vista ambiental, ya que con la producción de metano y biofertilizantes se permite que los residuos sólidos orgánicos cumplan su ciclo de descomposición y transformación completa aprovechando así su contenido energético y disminuyendo de igual manera la cantidad de desechos cuya disposición final son los rellenos sanitarios. De esta manera se puede contribuir a que los sumideros de residuos tengan una vida útil mayor, menor generación de lixiviados y menos formación de organismos patógenos. Por otro lado, fortalece el uso de energías alternativas y de menor costo para la producción de electricidad y combustible en motores de generación eléctrica y demás aplicaciones de uso tanto doméstico como industrial.

2. Planteamiento del problema

Este proyecto de investigación busca disminuir la generación de residuos orgánicos de los restaurantes de la Universidad EAFIT mediante su aprovechamiento en procesos de digestión anaerobia realizando estudios a escala de laboratorio que permitan identificar la relación óptima entre los componentes sustrato e inóculo para el aprovechamiento energético en la institución.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Determinar la relación óptima de sustrato e inóculo para la producción de biogás a partir de los residuos orgánicos alimenticios generados en la Universidad EAFIT.

3.2. Objetivo Específicos

- Obtener biogás aprovechando los residuos sólidos orgánicos de los restaurantes y cafeterías en la Universidad EAFIT.
- Encontrar la relación óptima de sustrato e inóculo que permita el mejor rendimiento para la producción de biogás a partir de las pruebas en el laboratorio.
- Comparar la relación sustrato/inóculo obtenida con las relaciones reportadas en la literatura.
- Implementar técnicas para el control de variables como temperatura, pH y tiempo de retención que aseguren un alto rendimiento en la producción de biogás.

4. Marco Teórico

La biodigestión es el proceso de transformación biológico, en el cual intervienen microorganismos anaerobios para obtener biogás y biofertilizantes ricos en nutrientes. Los gases que se generan principalmente en la biodigestión son: Metano (CH₄) y Dióxido de Carbono (CO₂), los cuales son los principales componentes del biogás (Ríos & Crespo, n.d.).

La biodigestión empieza con la hidrólisis de grandes cadenas moleculares en compuestos solubles que son asimilables por los microorganismos. Los compuestos solubles producidos son transformados en ácidos orgánicos volátiles de cadena corta y alcoholes como resultado de la actividad enzimática de las endoenzimas (acidogénesis). Por último, en la etapa denominada metano génesis, los ácidos son transformados en metano mediante bacterias metano génicas.

Entre los parámetros que afectan el proceso está la temperatura, la cual afecta el crecimiento de los microorganismos y por lo tanto la velocidad del proceso biológico. El pH también juega un papel muy importante en el proceso de biodigestión, ya que afecta la actividad enzimática de los microorganismos pudiendo inhibir y detener las reacciones de fermentación, cuando esta fuera del intervalo de 6.5 - 7.5 (Vera, n.d.); además, las bacterias de metano necesitan un pH mayor de 6.2 para reproducirse. La agitación en el proceso tiene varios propósitos: aumentar el área de contacto entre las bacterias y el sustrato incorporado al equipo al mismo tiempo que se homogeniza la mezcla para garantizar que los microorganismos y la temperatura trate de ser uniforme en el sustrato para no generar zonas muertas (Mendoza & Solís, n.d.). Por otro lado, en la biodigestión hay sustancias que inhiben la reacción, tales como el nitrógeno, el cual durante el proceso de hidrólisis produce formas amoniacales, las cuales si están en exceso disminuye la tasa de reproducción de bacterias metano génicas, y en su ausencia ocurre algo similar, limitando la velocidad del proceso (Mendoza & Solís, n.d.).

La principal ventaja asociada al proceso de biodigestión es la producción de biogás. Además de ello se da una reducción de volumen de los residuos sólidos usados en el proceso, los cuales se pueden usar posteriormente como fertilizantes y abonos, con unos costos bajos de mantenimiento comparados con otros métodos de valorización de residuos. Uno de sus puntos fuertes es la no generación de olores, los cuales se dan cuando se da un abandono de los desechos comportándose como un foco de infección (Aguas, n.d.).

Sin embargo, este proceso también presenta algunas desventajas como son sus altos costos de fabricación y de instalación en aplicaciones industriales y desde la perspectiva del proceso los microorganismos involucrados son muy sensibles a cambios pequeños de temperatura lo que afecta la cantidad de generación de gas y el tiempo de retención que sufre el material al interior del biodigestor (Aguas, n.d.).

5. Antecedentes

La Universidad EAFIT cuenta en sus laboratorios con un biodigestor. Este lleva alrededor de 8 años inactivo, por tal razón en el año 2013 estudiantes del departamento de Ingeniería de Procesos realizaron diferentes actividades con el fin de aprovechar la disponibilidad de este biodigestor y el aprovechamiento de los residuos sólidos generados al interior de la institución.

Entre las actividades realizadas en el 2013 se encuentran: Pruebas de operación e identificación de fallas en el reactor existente, reparación de algunos componentes del biodigestor, adecuación del sistema de control del equipo, ensayos preliminares de producción de biogás en el equipo, valorización energética y caracterización de los residuos orgánicos generados al interior de la Universidad. En la Tabla 1 se presenta algunos de los resultados obtenidos.

Tabla 1. Caracterización de los residuos orgánicos

Muestra	Humedad (%)	Material volátil (%)
1	76,74	85,22
2	74,97	11,55
3	76,82	17,53
4	75,94	16,26

La producción de Biogás en estos ensayos no fue exitosa debido a que no fue posible poner el equipo a punto para una operación óptima, es por esto, que el Semillero de Investigación Ambiental (SIAM) decidió en 2014 retomar el análisis y estudio de la biodigestión de residuos orgánicos bajo la premisa de la importancia del desarrollo de este tipo de proyectos con miras al aprovechamiento de los residuos sólidos generados. Se decide entonces emprender los estudios a una escala menor que permita identificar las posibilidades de producción de biogás.

6. Avances: Biodigestión de residuos orgánicos en EAFIT

El proyecto de biodigestión de residuos sólidos orgánicos a partir de residuos alimenticios generados en la Universidad EAFIT, plantea el análisis de la producción de biogás a escala laboratorio usando inóculo como agente coadyuvante en la generación de gases dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4), con el fin de identificar las condiciones y relaciones óptimas para el proceso de biodigestión. Se realizaron los ensayos que se presentan en esta sección.

6.1. Montaje

Se realizó una preparación previa para la alimentación de dos reactores: Botella de plástico y frasco de vidrio ámbar, las cuales se muestran en la Figura 1. El reactor 1 representa la botella de plástico que contenía NaOH y el reactor 2 contenía las diferentes relaciones sustrato-inóculo, el cual permitió completar la construcción del montaje.

El montaje para los ensayos consistió en introducir una manguera transparente flexible en el reactor 1, la cual se conectó al tubo de acrílico transparente y éste a un tapón de caucho (anteriormente perforado a la medida del diámetro del tubo de acrílico), con el cual se sella la botella de plástico y se hace otra perforación que posteriormente, se enlazó la aguja con el tapón. En la parte exterior del tapón de caucho del reactor 1 y del tubo de acrílico del mismo, se añade una manguera de caucho que está conectada al otro reactor (frasco de vidrio color ámbar, reactor 2 con su respectivo tubo de acrílico transparente adherido a otro tapón, el cual permite sellar el reactor 2.

Posteriormente, con todo lo anterior conectado a las diferentes mangueras, se procede a la producción de biogás a partir de la descomposición del sustrato (residuos sólidos orgánicos) e inóculo. La descripción del sistema se hace para 1 de los 6 montajes empleados en cada corrida experimental como se muestra a continuación:

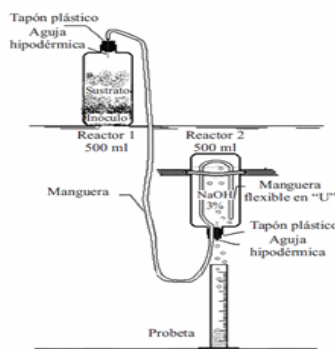


Figura 1. Montaje experimental

6.2. Ensayos

6.2.1. Ensayo Preliminar

Se realizó un ensayo preliminar con el fin de comparar la producción de metano en 20 días utilizando sustrato con inóculo e inóculo solamente. El sustrato y el inóculo se obtuvieron de los residuos sólidos orgánicos de la cafetería de la universidad EAFIT y de la Planta de tratamiento de agua residual de San Fernando, respectivamente. En la Figura 2 se muestra los resultados obtenidos.

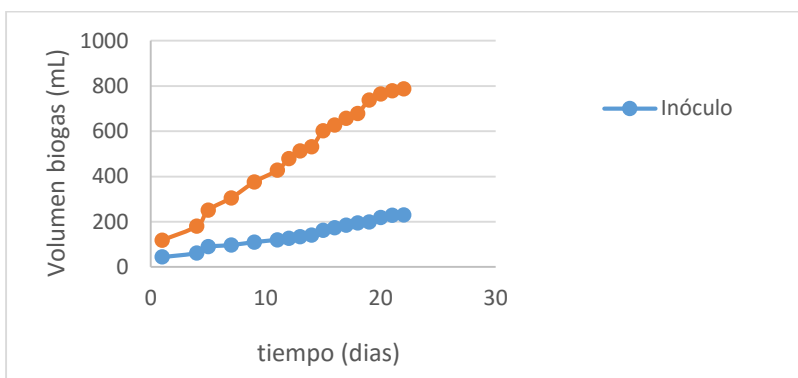


Figura 2. Ensayo preliminar para la producción de biogás.

Estos resultados indican que este tipo de residuos es apto para la generación de metano, sin embargo, aunque el inóculo contribuye a la degradación de los residuos éste por sí solo no genera grandes cantidades de metano. Puede observarse además, que al llegar al día 20 se tiene un máximo de producción de Metano.

6.2.2. Ensayo para diferentes relaciones

Con el fin de evaluar si la producción de metano se ve afectada por la cantidad de inóculo adicionado, se realiza el montaje para cinco experimentos en las cuales se varía el porcentaje de inóculo presente en el proceso de biodigestión. De acuerdo con los reportes de la literatura, el contenido sugerido para este tipo de residuos es de 2-6 kgVs/m³/d. Para este primer lote de ensayos se selecciona una dosis de 2kgVs/m³/d. (Cimatoribus, 2014) Para trabajar con esta dosis, se establecieron cinco relaciones sustrato-inóculo: 0%, 5%, 10%, 15%, 20% en términos de los sólidos volátiles: gramos de inóculo/gramos totales. Este ensayo se realizó por duplicado con el fin de verificar la confiabilidad de los resultados ya que durante el proceso se evidenciaron algunas fugas de gas. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 3 y Figura 4.

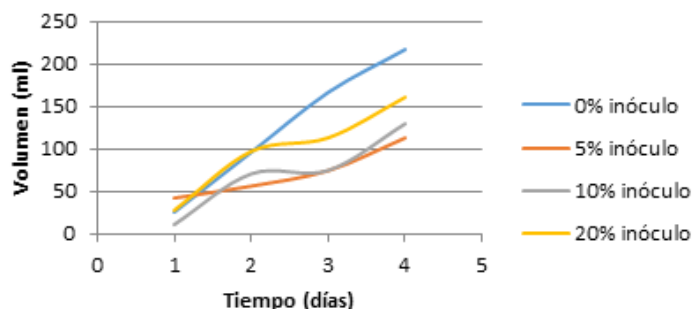


Figura 3. Ensayo 1 para diferentes relaciones.

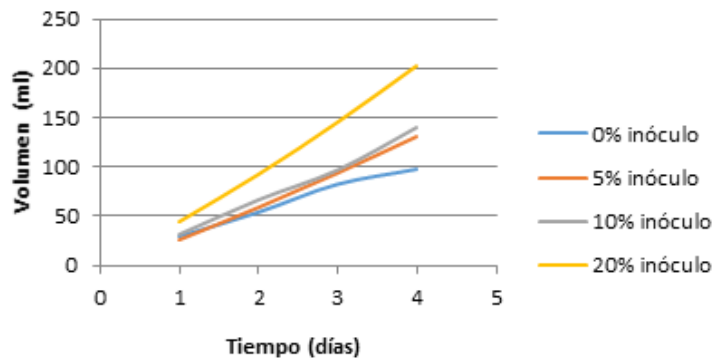


Figura 4. Ensayo 2 para diferentes relaciones.

Con el objetivo de analizar la producción de biogás durante un periodo de tiempo mayor y conocer el comportamiento para cada una de las cinco relaciones, se realizó un ensayo durante un periodo de 14 días. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 5.

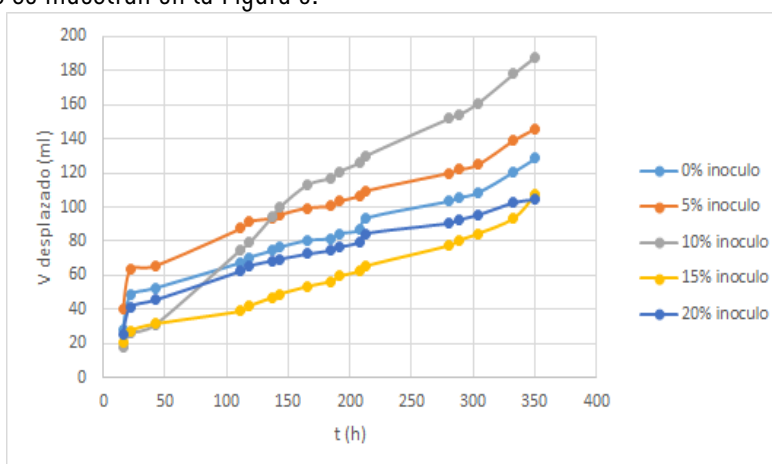


Figura 5. Ensayo para diferentes relaciones, producción de 14 días.

7. Análisis y discusión de resultados

De acuerdo con los resultados obtenidos en estos ensayos preliminares, se observa que el proceso de biodigestión usando residuos alimenticios como materia prima es una alternativa factible para el tratamiento y disminución de los residuos cuya disposición final son los rellenos sanitarios.

Los resultados muestran principalmente los siguientes aspectos:

- Las diferentes corridas para los ensayos realizados muestran que en el momento de interrumpir el proceso de biodigestión no se ha llegado a un punto de quiebre o punto constante donde se identifique que no se genera más cantidad de metano. Por tal razón, se pueden hacer corridas más extensas que permitan conocer el límite máximo de producción de gas.

- Es evidente que el inóculo usado para apoyar este proceso no sólo es compatible con el tipo de residuos sólidos a trabajar, sino que también mejora el proceso conforme se agrega más cantidad a los ensayos.
- Si se comparan las Figuras 3 y 4 puede observarse que al cuarto día de biodigestión se obtienen cantidades máximas de metano de 216 y 203 ml respectivamente. Esto indica que mientras los ensayos se acerquen más a las relaciones sugeridas en la literatura mejor será la producción de gas obtenido.
- Al observar los resultados de la Figura 5, se observa una contrariedad en la cantidad de gas obtenida que puede deberse a que para las corridas de la Figura 4 se evidenciaron fugas en el sistema alterando los datos. Por lo tanto, es conveniente realizar nuevamente este ensayo para verificar la confiabilidad de los resultados.
- Una forma de profundizar en el análisis de los resultados obtenidos es compararlos en términos del rendimiento del proceso, por lo tanto, es conveniente incorporar esta variable en los ensayos venideros.
- En la Figura 5 puede observarse que el comportamiento para 0% y para 20% es muy similar en el tiempo, aunque son los porcentajes que están en los extremos presentan pequeñas diferencias. Por otro lado, para el ensayo de 10% inóculo, al inicio presenta menor producción de metano que los demás ensayos, pero cuando llega al tiempo 167min alcanza una producción superior a los demás ensayos y así permanece hasta el final del experimento.
- Los resultados de este proyecto son de gran relevancia ya que si se lograran tratar mensualmente 10 de las 30 toneladas de residuos generados al interior de la universidad bajo el esquema de biodigestión se podría estimar que se producirán alrededor de 1,3 m³ de metano que pueden utilizarse para satisfacer las necesidades energéticas de algunas máquinas al interior de la universidad.
- A partir de éstos y otros resultados obtenidos, esta investigación avanza con miras a la evaluación del incremento en la producción de biogás por kilogramo alimentado al sistema con el fin de maximizar el rendimiento del proceso.

8. Referencias

- Cimatoribus, C. 2014. Notas de clase: The biogas process. Institute for Sanitary Engineering, Water Quality and Solid Waste Management. Alemania.
- Neves, L., Oliveira, R. & Alves, MM. Process Biochemistry: Influence of inoculum activity on the biomethanization of a kitchen waste under different waste/inoculum ratios. 39 (2004) 2019–2024.
- Silva, W. Duarte, V. & Prasad, S. Bioresource Technology: Influence of inoculum on performance of anaerobic reactors for treating municipal solid waste. 94 (2004) 261–266.

Sobre los autores

- **Kevin Molina Tirado:** Ingeniero Químico y Msc en Ingeniería Química. Jefe de Carrera y Docente de pregrado de Ingeniería de Procesos de la Universidad EAFIT. kmolina@eafit.edu.co

- **Natalia Andrea Restrepo Vélez:** Ingeniera de Procesos y Master en Ingeniería Ambiental. Docente Universidad EAFIT. nrestre6@eafit.edu.co
- **Valentina Moreno Toro:** Estudiante de pregrado de Ingeniera de Procesos en la universidad EAFIT. vmoreno5@eafit.edu.co
- **Vanessa Sánchez Restrepo:** Estudiante de pregrado de Ingeniera de Procesos en la universidad EAFIT. vsanchez@eafit.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2016 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)