

Dificultades y soluciones en un reactor anaeróbico de laboratorio para producción de gas metano”

Valdiviezo, Rosa^a; Aubert, Mónica^a; Saber, Mariana^a; Iriarte, María Elena^a; Aguilera Merlo, Mario^a
a Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias (FICA), INTEQUI/CONICET, Universidad Nacional de San Luis (UNSL). Campus Universitario: Ruta Prov. N° 55 (Ex. 148) Extremo Norte. (5730) Villa Mercedes, San Luis, Argentina
e-mail: aguileramerlo@gmail.com

Resumen

La biodigestión anaeróbica es un proceso relevante en la actualidad, se trata de comprender, diseñar y desarrollar procesos para obtener biogás (metano y dióxido de carbono) y a partir de este producir hidrógeno, un combustible de emisiones cero. La biodigestión anaeróbica se considera en gran variedad de actividades, lo que demuestra su importancia y potencial para el desarrollo sostenible y la economía circular. Para garantizar la estabilidad de la biomasa y ajustar los parámetros físico-químicos en cada etapa del proceso es necesario un estricto control periódico. Se llevó a cabo un experimento escala laboratorio utilizando elementos accesibles para construir un reactor anaeróbico y sus componentes auxiliares. Se utilizó un sustrato equilibrado compuesto por coproductos y productos derivados de la industria de molienda húmeda de maíz que contiene proteínas, lípidos y carbohidratos. El reactor de 5 litros de capacidad inmerso en un baño termostático, con dispositivos auxiliares para la conducción y recolección de los gases resultantes de las reacciones bioquímicas se trabajó a distintas condiciones de operación durante tres meses obteniendo un gas rico en contenido de metano (75%) y dióxido de carbono. Los resultados obtenidos demuestran la importancia de varios factores en la ralentización de las bioreacciones y la necesidad de implementar medidas para mitigar su impacto en la eficiencia de las reacciones biológicas. La biodigestión anaeróbica es un proceso relevante que requiere un estricto control y comprensión de los parámetros físico-químicos en cada etapa del proceso como también diversos factores para su optimización y condiciones seguras de trabajo.

Palabras clave: Biodigestión – Metano – Biogás

INTRODUCCIÓN

La digestión anaeróbica se ha convertido en una técnica cada vez más utilizada para depurar aguas residuales y purines, debido a su eficacia y su valor desde el punto de vista ambiental. Los productos derivados de las reacciones microbiológicas que ocurren en este proceso tienen un gran potencial en las economías circulares, lo que lo convierte en una opción cada vez más viable y rentable. Esta forma de digestión reduce de manera significativa las cargas orgánicas de los residuos, permitiendo su disposición sostenible en la naturaleza, y al mismo tiempo, genera biogás de alta calidad que puede ser reutilizado como combustible verde. El crecimiento constante de las industrias y la población ha impulsado el uso de sistemas biológicos para mitigar los problemas ambientales. La generación de biogás mediante biodigestores anaerobios, los cuales pueden alimentarse tanto de residuos rurales como urbanos, representa una opción sostenible y altamente eficiente que permite obtener energía renovable de forma natural. Los resultados obtenidos mediante su uso

pueden ser aprovechados por los usuarios para su propio consumo, ser integrados a las redes de interconexión locales, o ser utilizados como combustible base para la obtención de hidrógeno en el marco de proyectos de extensión de interés social. Sin embargo, para que la simbiosis microbiana necesaria actúe, es fundamental controlar las condiciones de funcionamiento, las variables y los parámetros de trabajo, de manera que la biomasa responsable de las conversiones esperadas alcance un equilibrio adecuado para que la digestión se oriente en la dirección correcta [1]. Para garantizar un funcionamiento eficaz de la digestión anaeróbica, es relevante considerar el ejemplo del sistema digestivo de los seres vivos del reino animal, donde una microflora activa contribuye mediante sus catalizadores biológicos (enzimas) a la degradación de los sustratos [2]. El montaje y el mantenimiento de un reactor biológico anaeróbico hasta obtener un combustible alternativo, así como un residuo de calidad aceptable para su asimilación medioambiental (digestato), son procesos que no deben subestimarse.

Es necesario llevar a cabo un control periódico estricto para asegurar una biomasa estabilizada. Con el objetivo de facilitar la toma de decisiones al momento de aplicar la biodegradación anaeróbica como fuente de biocombustible y estabilización de residuos, se llevará a cabo un experimento a nivel de laboratorio para adaptar elementos y materiales accesibles y cumplir con los requisitos necesarios para el montaje de un reactor anaeróbico y sus componentes auxiliares. Este enfoque permitirá identificar las dificultades y aspectos clave a tener en cuenta para anticipar un posterior cambio de escala.

OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo se resumen de la siguiente manera: Revisar trabajos previos sobre biodigestión anaeróbica para diseñar experimentos pertinentes; Formular un sustrato equilibrado para la digestión anaeróbica, tomando en cuenta la información recopilada de los antecedentes; Diseñar un prototipo de reactor anaeróbico para obtener datos relevantes, considerando los recursos disponibles; Realizar experimentos de biodigestión para verificar la generación de una microflora metanogénica eficiente; y, Diseñar y documentar técnicas analíticas para la cualificación y cuantificación de los resultados de la biodigestión.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del reactor

Con el objeto de estudiar la respuesta de la biodigestión anaeróbica para producir biogás metano, se formula un sustrato equilibrado en macronutrientes. De acuerdo a las antecedentes revisados, se proponen las siguientes condiciones de trabajo: temperatura variable para desarrollo de condiciones mesófilas y termófilas, 35 - 50°C; humedad del sustrato 50%; pH: 6,7 - 7,3; inóculo: excreta fresca de vacuno.

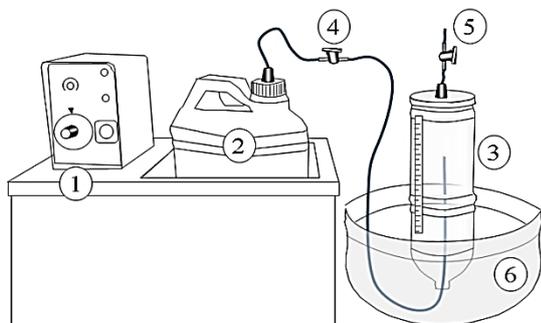


Figura 1. Bioreactor anaeróbico de laboratorio

En la figura 1 se muestra el diseño del biodigestor de laboratorio, que consta de un bidón plástico de 5 litros cargado con sustrato (2). Este bidón se encuentra

inmerso en un baño termostático (1). El sistema de conexiones se realiza con ductos de PVC equipados con válvulas doble paso (4 y 5). Se utiliza un envase invertido de PET como gasómetro de control (3), sumergido en un recipiente con sello de agua (6) para acumular el gas y evitar fugas.

Formulación del Sustrato

Para garantizar la disponibilidad y estabilidad de los componentes, se utilizan productos y subproductos derivados de plantas de molienda húmeda de maíz para formular un sustrato equilibrado. El gluten de maíz (GM) se emplea como fuente de proteínas, el germen de maíz (GS) como fuente de lípidos y el jarabe de maíz de alta fructosa (JF) como fuente de carbohidratos. Los co-productos secos presentan partículas fibrosas de no más de 5 mm, mientras que el fluido se presenta como siruposo. En la tabla 1 se dan las características porcentuales de estos materiales, y al mismo tiempo se les asignan abreviaturas correspondientes para facilitar los balances.

De acuerdo a la capacidad de carga del recipiente utilizado como biorreactor anaeróbico, se prepararon 5 kg de sustrato con una composición equilibrada de lípidos, carbohidratos y proteínas, resultando una mezcla nutricional compensada en los siguientes términos sobre una base seca (BS): proteínas 33.3%; lípidos 33.3%; y, carbohidratos 33.3%.

CO-PRODUCTO	Germen Seco	Gluten Meal	JMAF
Abreviatura	GS	GM	JF
% Sustancia Seca	97	90	77
Carbohidratos (BS)	12	19	100
Lípidos (BS)	48	3	Trazas
Proteínas (BS)	13	69	Trazas

Tabla 1 – Características de los co-productos de la molienda húmeda de maíz

De acuerdo a la bibliografía estudiada, una humedad del 50% en el sustrato sería suficiente para poder desarrollar las actividades bioquímicas.

Con estas premisas se mezclan 1700 g de GS; 600 g de JF; 1000 g de GM en 1700 g de agua.

Para este trabajo, se utiliza inóculo bovino, el cual favorece un rápido desarrollo de arqueas metanogénicas, contrarrestando la dominancia de la flora natural.

Materiales e instrumental

En el laboratorio de Procesos catalíticos, lugar donde se montó el biorreactor (campus FICA-UNSL) se dispone del siguiente material e instrumental:

Analizador de gas Kitagawa Gas Aspirating pum AP, 20 con tubos analizadores 0.4-6 ppm de Sulfídrico, Muestreador de aire, Cabezal termoestabilizador Julabo EM, Medidor manual de Metano, Tiras para determinación de pH rango 0–14, Whatman, Material de vidrio.

Equipo de trabajo y programación

Para esta experiencia, se llevaron a cabo talleres previos con los integrantes del proyecto PEIS 14-0120 R.C.S. N°57/20. Durante estas sesiones programadas, se discutieron conceptos de biodigestión anaeróbica y el funcionamiento del biorreactor. Además, se planificó y programó el mantenimiento del mismo, incluyendo el seguimiento de variables y el manejo de gases. También se establecieron horarios y turnos para garantizar un seguimiento continuo del proceso

RESULTADOS

En figura 2 se observa una rápida producción inicial de gas no combustible, la cual se atribuye al comportamiento en las etapas hidrolítica y acidogénica de la biodigestión. Posteriormente, se experimenta un extenso período de más de 10 semanas de latencia, durante el cual no se observa generación de gases. Además de considerarse el tiempo de respuesta del desarrollo microbiano, se aduce a dificultades técnicas, como sedimentación del sustrato, pérdida de actividad y obstrucción de ductos. Se realizaron modificaciones en las condiciones del proceso, incluyendo la dilución del sustrato del 50% al 20%, la re-inoculación con estiércol fresco (+0.65% BS) y la disminución de la temperatura de 50°C a 40°C.



Figura 2 – Producción de gases en función del tiempo de la experiencia

La redacción corregida sería: A pesar de estas acciones, al no registrarse actividad aparente del biorreactor en el día 80 de la experiencia, se interviene al detectar una importante acidificación del medio (pH 4.5-4.7). Las características organolépticas permitieron inferir que el experimento se encontraba en la fase acidogénica (acetilación). Se ajustó el pH a 7.0-7.5, lo que finalmente condujo a una inmediata y

abundante producción de gas metano (800 cm³/h), con una composición de 75% de CH₄; CO₂ < 0.5 ppm (por balance 25%), y H₂S < 100 ppm. Sin embargo, debido a la demanda intensa de intervención del equipo de trabajo y condiciones básicas en cuanto a la seguridad, el experimento se dio por terminado a los 93 días de iniciado.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este estudio exploratorio, se ha demostrado, en una primera aproximación, el comportamiento de la biodigestión anaeróbica de un sustrato equilibrado en carbohidratos, lípidos y proteínas, generando un gas combustible con un 75% de metano. Se destaca la importancia de mantener un seguimiento oportuno del pH en el rango de 7.0 – 7.5 y la temperatura a 40°C.

Además, se recomienda el rediseño de la capacidad del gasómetro para permitir un almacenamiento del gas producido que facilite su posterior acondicionamiento y utilización. Asimismo, se enfatiza la necesidad de que el diseño del biorreactor permita un fácil acceso para corregir efectos indeseados del estado de agregación del sustrato en un tiempo mínimo, así como la intervención rápida para la medición y control de las variables críticas de las bio-reacciones. Se considera imperativo contar con un sistema de agitación intermitente.

Las experiencias realizadas han demostrado que para lograr un comportamiento reológico aceptable de este sustrato, es conveniente mantener los sólidos totales en el orden del 20% (BS). Se recomienda dosificar el inóculo bovino iniciador al 1% respecto a la base seca del sustrato.

Es esencial contar con instrumental y acondicionadores mínimos para el seguimiento de las bioreacciones, así como asegurar que el equipo de trabajo posea conocimiento y capacitación para el seguimiento y toma de decisiones. En cuanto a la ubicación del experimento, se sugiere acondicionar el sector del laboratorio a un Nivel 2 de Bioseguridad (Prácticas y medidas de seguridad mejoradas; acceso restringido y señalización; equipamiento de seguridad; información y procedimientos).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Wang, B., Yao, M., Lv, L., Ling, Z., & Li, L. (2017). The Human Microbiota in Health and Disease. *Engineering*, 3, 71-82.
- [2] Stronach, S.M., Rudd T., & Lester, J.N. (1986). *Anaerobic Digestion Processes in Industrial Wastewater Treatment*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN-13: 978-3-642-71217-3.