LA MENTEFACTURA EN EL ÁREA DE BIOTECNOLOGÍA APLICADA

MENTEFACTURING IN THE AREA OF APPLIED BIOTECHNOLOGY

C. Santacruz Vázquez[1]
V. Santacruz Vázquez[2]
S. Toxqui López[3]
O. Laguna Cortés[4]

RESUMEN

La Mentefactura es la capacidad que se basa en el talento de las personas para crear o mejorar los procesos, productos y servicios a partir del conocimiento, la tecnología y la creatividad, siendo el individuo el centro de la innovación, el conocimiento y el emprendimiento. Por lo anteriormente, en el presente trabajo se llevó a cabo el desarrollo y puesta en marcha de un sistema de monitoreo y control de un biorreactor a nivel laboratorio para la producción de biogás a base de residuos agrícolas manejado y controlado por una estructura basada en sensores de temperatura, sensores de metano y sensores de CO_2 mediante el uso de un sistema Arduino-Python y una interfaz web flexible. Dicho sistema resulta ser una alternativa innovadora útil para el monitoreo de bioprocesos industriales, como un ejemplo de mentefactura en el área biotecnológica.

ABSTRACT

Mentefacture is the ability based on the talent of people to create or improve processes, products and services from knowledge, technology, and creativity, being the individual the center of innovation, knowledge, and entrepreneurship. For the above reasons, in the present work was carried out the development and implementation of a monitoring and control system of a bioreactor at laboratory level to produce biogas, based on agricultural waste managed and controlled by a structure based on temperature sensors, methane sensors and CO2 sensors using an Arduino-python system and a flexible web interface. This system turns out to be a useful innovative alternative for the monitoring of industrial bioprocesses, as an example of Mentefacture in the biotechnological area.

ANTECEDENTES

El biogás es un biocombustible, el cual está formado por una mezcla flamable de gases que son generados por la descomposición de la materia orgánica, esta mezcla usualmente contiene 55%-65% de metano (CH_4), 35%-45% de dióxido de carbono (CO_2), principalmente y también puede llegar a contener trazas de otros gases, lo que hace que pueda ser usado directamente como un combustible (Abbsi et al., 2012). Durante mucho tiempo el desarrollo de tecnología para la digestión anaerobia permaneció exclusivamente ligada a la estabilización de aguas residuales domésticas (Abbsi et al., 2012).

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que la materia orgánica, mediante la acción de un determinado grupo de bacterias en ausencia de oxígeno, se descompone generando biogás y digestatos.

[1] Profesora Investigadora. Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. clausanva@yahoo.com.mx
[2] Profesora Investigadora. Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. veronica.santacruz@correo.buap.mx
[3] Profesora Asignatura. Facultad de Ingeniería. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. stoxqui72@hotmail.com
[4] Profesor de asignatura. Instituto Tecnológico de Puebla del TecNM. jose.laguna@puebla.tecnm.mx

Los digestatos son el subproducto que genera la digestión, contiene una mezcla de compuestos minerales que permiten su aplicación como fertilizantes orgánicos (Fernández et al., 2016), minerales como N, P, K, Ca (Martínez, 2015).

La cogestión anaerobia tiene lugar cuando más de dos tipos de desechos o concretamente de materia orgánica se mezclan con el propósito de mejorar la eficiencia para el tratamiento de la materia mediante la digestión anaerobia (Song & Zhang, 2015). La digestión y cogestión anaerobia se llevan a cabo en un biodigestor. Un digestor esencialmente es un reactor en el cual se lleva a cabo el proceso de digestión, y el termino biodigestor se utiliza para hacer referencia al sistema empleado para la producción de biogás, degradando la materia orgánica (Abbsi et al., 2012). Se consideran 4 etapas para la producción de biogás cuando el sustrato es materia sólida y son: hidrolisis, acidogénesis, acetanogénesis y metanogénesis.

La descripción de cada una de las etapas se presenta a continuación:
Hidrólisis: En esta etapa también conocida como proceso de solubilización es una etapa habitualmente lenta que la cual llega a limitar la velocidad de reacción de todo el proceso, la materia orgánica compleja como proteínas, polisacáridos y grasas se descomponen y transforman en moléculas de menor peso molecular (Abbsi et al., 2012), como azucares, alcoholes, aminoácidos y ácidos grasos las cuales son solubles en agua, sencillamente en esta etapa los polímeros se descomponen en sus respectivos monómeros (Lorenzo y Obaya, 2005).

Acidogénesis: De igual forma llamada acidificación, durante esta etapa los productos de la hidrolisis se convierten en moléculas con peso molecular menor (Kondusamy y Kalamdhad, 2014) (ácidos orgánicos) se generan ácidos grasos volátiles como ácido acético, ácido propiónico o ácido butírico, y etanol, hidrogeno y dióxido de carbono (Abbsi et al., 2012).

Acetogénesis: Llamada igual acidogénesis intermediaria (Lorenzo y Obaya, 2005), en esta etapa los productos de la acidogénesis generan ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono mediante la acción de las bacterias acetogénicas (Abbsi et al., 2012).

Metanogénesis: En esta etapa el metano (CH_4) es producido por dos rutas, la acetotrófica y la hidrogenotrófica (González et al., 2015) en las cuales intervienen 2 tipos de bacterias: metanogénicas acetoclásticas y metanogénicas hidrogenofílicas, respectivamente, en general el rol de las bacterias queda limitado de acuerdo con el tipo de biomasa utilizada en la digestión anaerobia (Lorenzo y Obaya, 2005).

Las bacterias metanogénicas acetoclásticas generan CO_2 y CH_4 a partir de ácido acético (Dhamodharan & Ajay S, 2014) bacterias que actúan hidrolizando el ácido acético oxidando el grupo carbonilo a dióxido de carbono (CO_2) y reduciendo el grupo metilo a metano (CH_4) (T. Abbsi, 2012). Las bacterias metanogénicas hidrogenofílicas utilizan el hidrogeno (H_2) para reducir el dióxido de carbono (CO_2) y producir metano (CH_4) (Abbsi et al., 2012).

Hoy en día existen distintos tipos de procesadores de materiales biodegradables, entre los cuales, se encuentran los biodigestores, estos son de gran utilidad manejando los desechos biodegradables y al mismo tiempo al generar biogás, por lo que, ayudan a la generación de energías renovables, estos son de uso práctico, sin embargo, es difícil tener un control y

monitoreo del gas producido y obtenido en el biodigestor. De ahí que surge la pregunta que tipo de gas se genera dentro del biodigestor y como monitorear lo que ocurre en el interior de dicho equipo. Por lo que, el objetivo del proyecto fue diseñar un sistema que permite tener un mayor control y monitoreo de un biodigestor a nivel laboratorio. El dispositivo propuesto permitirá poder monitorear y controlar de manera remota el biodigestor, tomar muestras de datos mediante sensores para poder optimizar el funcionamiento y, así mismo, mejorar la producción del biocombustible.

METODOLOGÍA

La metodología seguida en el presente trabajo se llevó a cabo en tres etapas:
Etapa 1. Caracterización de la materia prima y diseño del sistema de reacción,
Etapa 2. Colocación de sensores y desarrollo del software de monitoreo del biodigestor,
Etapa 3. Obtención y recolección de gas en el biodigestor

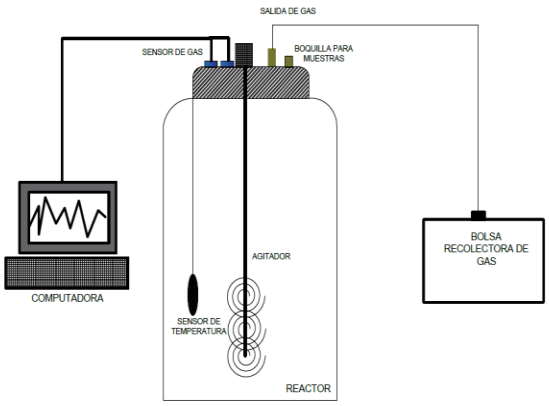
Etapa 1. Caracterización de la materia prima y diseño del sistema de reacción

El muestreo de los desechos se realizó a una muestra representativa (biomasa) y tomada al azar. La biomasa fue caracterizada por su contenido de humedad, sólidos volátiles, sólidos totales, pH, contenido de carbono y nitrógeno.

Diseño del biodigestor

El sistema de reacción se conforma por un reactor tipo Batch (intermitente) de vidrio con tapa metálica de 1 galón de capacidad, para mantener la temperatura controlada como lo requiere la experimentación, el sensor fue colocado en un contenedor con agua de calentamiento (baño maría de laboratorio). Con fines de monitoreo del sistema de reacción, dentro del reactor se colocó un sensor de temperatura en la tapa metálica por la parte interna fueron colocados los sensores de gas para la medición de producción de metano y dióxido de carbono. Una vez realizada la medición la interfaz en la que los datos se lograrán visualizar es en una computadora y, finalmente, por la parte exterior de la tapa metálica se encuentra instalada una válvula reguladora por la cual saldrá el gas producido, también con una boquilla con cerrada herméticamente para tomar muestras a lo largo de la experimentación, de acuerdo con la Figura 1.

Figura 1. *Esquema del biodigestor utilizado en la experimentación*



Etapa 2. Colocación de sensores, lenguaje de programación para el monitoreo de los gases producidos en el biodigestor y desarrollo de la plataforma de interfase de monitoreo

Sensores Utilizados. El DHT11 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo y fácil uso. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Utilizado en aplicaciones académicas relacionadas al control automático de temperatura, aire acondicionado, monitoreo ambiental en agricultura y más.
lMQ-2 Sensor de Gas tiene sensibilidad especial para medir concentraciones de gas en el aire, es sumamente utilizado para medir LPG, propano, hidrógeno, metano y otros combustibles.

El MQ-135 es un sensor de gases peligrosos utilizado para el control de la calidad del aire y es adecuado para la detección de NH3 (amoníaco), NOx, alcohol, benceno, humo, CO_2, etc. Este sensor no proporciona valores absolutos, sino que simplemente proporciona una salida analógica que debe ser monitoreado y se comparada con los valores de umbral.

Lenguaje de programación. Python es un lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en la legibilidad de su código. Es lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional. Es un lenguaje interpretado, dinámico y multiplataforma.

PHP es un lenguaje de programación de uso general que se adapta especialmente al desarrollo web. El código PHP suele ser procesado en un servidor web por un intérprete PHP implementado como un módulo, un Daemon o como un ejecutable de interfaz de entrada común (CGI). En un servidor web, el resultado del código PHP interpretado y ejecutado.

Desarrollo de la plataforma de interfase de monitoreo JavaScript (abreviado comúnmente JS) es un lenguaje de programación interpretado, dialecto del estándar ECMAScript. Se define como orientado a objetos, basado en prototipos, imperativo, débilmente tipado y dinámico. Se utiliza principalmente del lado del cliente, implementado como parte de un navegador web permitiendo mejoras en la interfaz de usuario y páginas web dinámicas y JavaScript del lado del servidor (Server-Side JavaScript o SSJS). Su uso en aplicaciones externas a la web, por ejemplo, en documentos PDF, aplicaciones de escritorio (mayoritariamente widgets) es también significativo.

C++-Arduino. - Para programar un Arduino, el lenguaje estándar es C++, aunque es posible programarlo en otros lenguajes. No es un C++ puro, sino que es una adaptación que proveniente de avr-libc que provee de una librería de C de alta calidad para usar con GCC en los microcontroladores AVR de Atmel y muchas funciones específicas para los MCU AVR de Atmel.

Base de datos. - MySQL es un sistema de gestión de bases de datos relacional desarrollado bajo licencia dual: Licencia pública general/Licencia comercial por Oracle Corporation y está considerada como la base de datos de código abierto más popular del mundo y una de las más populares en general junto a Oracle y Microsoft SQL Server, sobre todo para entornos de desarrollo web.

Gestor de Servidor. - Apache es un servidor web o servidor HTTP, muy popular. Es uno de los proyectos de código libre más usados en la actualidad y el servidor web más extendido de Internet. Apache es multiplataforma y está disponible en Windows, Linux, Unix y Mac, aunque en servidores en producción se instala sobre Linux habitualmente. Es gratuito y Open Source. Con Apache se pueden servir sitios estáticos, pero también dispone de módulos para dar soporte a múltiples lenguajes, como Perl, Python o PHP, el más popular. De hecho, Apache y PHP son dos de las piezas del stack de tecnologías de servidor más utilizado: LAMP (Linux, Apache, MySQL, PHP).

Plataforma Arduino Uno. - El Arduino Uno es una placa de microcontrolador de código abierto basado en el microchip ATmega328P y desarrollado por Arduino.cc. La placa está equipada con conjuntos de pines de E/S digitales y analógicas que pueden conectarse a varias placas de expansión y otros circuitos. La placa tiene 14 pines digitales, 6 pines analógicos y programables con el Arduino IDE (Entorno de desarrollo integrado) a través de un cable USB tipo B

Figura 2. *Secuencia para la obtención de datos*

Etapa 3. Obtención y recolección de gas en el biodigestor

El gas fue monitoreado durante 30 días de producción, recolectado almacenado en bolsas flexibles para su posterior uso.

RESULTADOS

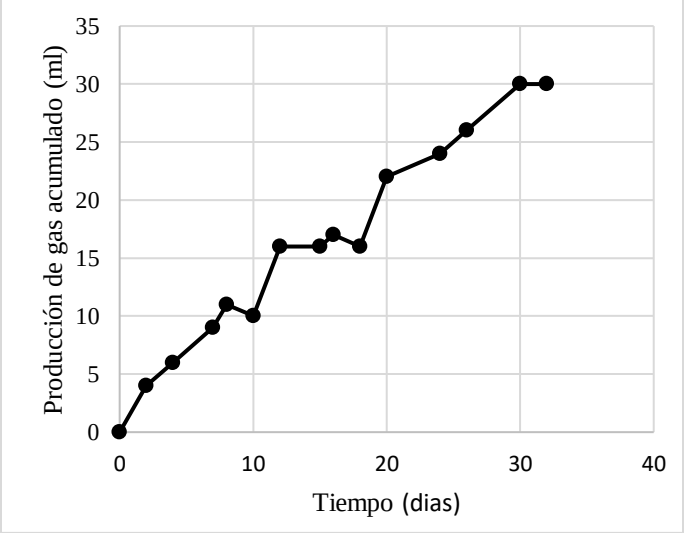
Los residuos de fruta (plátano/mango en proporción 1:1) fueron caracterizados en cuanto el contenido de sólidos solubles, pH, contenido de carbono y contenido de nitrógeno. Y colocados en un biorreactor contendiendo desechos agrícolas, estiércol bovino y agua en proporción (1:3:2). Es conveniente mencionar, que otros desechos agrícolas fueron probados (mango/nopal; tuna/nopal), sin embargo, la mezcla de plátano/mango, fue la que presentó mejores resultados para la obtención de biogás, esto atribuible al contenido de carbón presente. Las características de la materia prima utilizada para la obtención de biogás se presentan a continuación:

Tabla 1. *Características de la materia alimentada al biofermentador*

Parámetro	Valor
pH	7.06
ºBx	14
Contenido de humedad (%)	45.6
Contenido de carbón (g)	38.4
Contenido de nitrógeno (g)	0.336

La producción de gas acumulado en función del tiempo de producción de gas obtenido en el reactor de laboratorio se presenta en la Figura 3.

Figura 3. *Producción de gas acumulado (ml) en función del tiempo de proceso*



La composición del biodigestor obtenido después de 30 días de producción de gas en el fermentador de laboratorio se presenta en la Tabla 4.

Tabla 2. *Composición del biogás obtenido en el biodigestor (día 30)*

Parámetro	Valor (%)
Metano (CH_4)	59
Dióxido de carbono (CO_2)	26
Nitrógeno (N_2)	8
Monóxido de carbono (CO)	5
Hidrógeno (H_2)	1.2
Ácido sulfhídrico (H_2S)	0.8

Figura 4. *Datos de producción de gas acumulado en función del tiempo de proceso obtenidos en con el sistema de registro y monitoreo*

CONCLUSIONES

Tomando en cuenta que en México se desperdician muchos productos alimenticios, un uso importante de estos desechos puede ser la obtención de biogás, que es una de las mejores alternativas para disminuir los problemas de contaminación debido al manejo inadecuado de residuos agrícolas, siendo ésta una opción de obtención de gas, además de los combustibles fósiles. Considerando que la mezcla de residuos agrícolas de plátano/mago, resulta ser una buena opción para producir biogás a partir de residuos sólidos agrícolas. La puesta en marcha de un sistema de monitoreo y control de un biorreactor a nivel laboratorio para la producción de biogás a base de residuos agrícolas, manejado y controlado por una estructura basada en sensores de temperatura, sensores de gas metano y CO_2, como un ejemplo de la aplicación de la Mentefactura.

BIBLIOGRAFÍA

Abbsi, T., Tauseef, S., & Abbasi, S. (2012). *Biogas Energy*. Springer

Fernández, C., Martínez, E., Morán, A. y Gómez, X. (2016). Procesos biológicos para el tratamiento de lactosuero con producción de biogás e hidrógeno. Revisión bibliográfica. *Rev. Ion, vol. 29*(1), pp. 47-62. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2016000100005

González, M., Pérez, S., Wong, A. y Yañez, G. (2015). Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia. *Revista Argentina de Microbiología, vol. 47*(3), pp. 229-235. http://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2015.05.003

Kondusamy, D., & Kalamdhad, A. (2014). Pre-treatment and anaerobic digestion of food waste for high rate methane production – A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *vol. 2*(3), pp. 1821–1830. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343714001663?via%3Dihub

Lorenzo, Y. y Obaya, M. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, *XXXIX*(1), pp. 35-48. https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf

Martínez, E. (2015). *Digestión anaerobia de Iodos y residuos agroindustriales*. [Tesis Doctoral, Universidad de León, España]. https://buleria.unileon.es/handle/10612/7766?show=full

Phyton (11 de julio de 2023). En *Wikipedia*. https://es.wikipedia.org/wiki/Python

Song, Z., & Zhang, C. (2015). Anaerobic codigestion of pretreated wheat straw with cattle manure and analysis of the microbial community. *Bioresource Technology*, *vol. 186*, pp. 128-135. http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.028