

Seguimiento del estado de un fotobiorreactor de microalga-bacteria para el tratamiento de vinazas de la industria tequilera.

J.M., Vidó¹, I., Pérez Pérez², E., Saraí Pérez Neal³, A.I., Sánchez Girón³, I., Torres Zúñiga¹, R., Costilla Salazar⁴, G., Cea Barcia⁴(*).

¹Departamento de Ingeniería Electrónica, División de Ingenierías, Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca, México.

²Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Villahermosa, Tabasco, México.

³Ingeniería Ambiental, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

⁴Departamento de Ciencias Ambientales, División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca, México.

(*) autor de correspondencia, glendacea@ugto.mx

Resumen

En este trabajo se presenta el seguimiento durante un mes de un fotobiorreactor microalga-bacteria usado para tratar vinazas de la industria tequilera. Las variables que describen el estado del proceso incluyen la temperatura, el pH, la concentración de biomasa y el consumo de materia orgánica y nutrientes. Debido a que el agua se evapora del biorreactor a lo largo del día, un controlador automático on/off es implementado para regular el volumen de agua en un valor de referencia constante. Los resultados demuestran que el sistema de adquisición de datos usado para monitorear la temperatura y el pH, así como regular el volumen dentro del fotobiorreactor funciona correctamente. Por otro lado, la producción de biomasa y el consumo de materia orgánica y nutrientes demuestran que ésta es una tecnología prometedora en el tratamiento de aguas agroindustriales.

Abstract

In this paper the online monitoring of a microalgae-bacteria photobioreactor for treatment of tequila industry vinasses is presented. The variables that describe the state of the process are temperature, pH, biomass concentration and organic matter and nutrients consumption. Since the water is continuously evaporated, an on/off automatic controller is implemented to regulate the volume into the photobioreactor to a constant value of reference. Results showed that the data acquisition system developed allows to correctly monitor the temperature and the pH, as well as correctly regulate the volume. On the other hand, biomass production and organic matter and nutrients consumption demonstrated that this process is a promising technology for treatment of agroindustry wastewater.

1. Introducción

Las microalgas son organismos acuáticos que se encuentran en casi todos los hábitats de nuestro planeta. Poseen capacidad fotosintética, es decir, utilizan la energía solar para generar compuestos orgánicos (hidratos de carbono, proteínas, lípidos), fijando CO₂ y liberando O₂ (Chisti, 2007).

Estos microorganismos contienen lípidos, carbohidratos y proteínas; algunos de los lípidos extraídos de las microalgas pueden ser utilizados como alimento, mientras que otros pueden ser convertidos en biodiesel o biogás; los carbohidratos son usados como fuente de azúcar o pueden ser transformados en bioetanol a través de la fermentación; las proteínas contenidas en los tejidos de las microalgas pueden utilizarse como alimento y sus nutrientes pueden ser utilizados como biofertilizantes (Chisti, 2007).

Las microalgas como una fuente alternativa de energía renovable han incrementado el interés en respuesta al calentamiento global y al cambio climático. La utilización de aguas residuales ricas en nutrientes para cultivar microalgas es una idea bastante interesante para la producción de biocombustibles, ya que la fotosíntesis de las microalgas y la biomasa requieren cantidades suficientes de CO₂, luz y nutrientes tales como nitrógeno, potasio, fósforo, zinc y magnesio, que se encuentran en aguas residuales (Zhu y Hiltunen, 2016).

Los fotobiorreactores son dispositivos destinados al cultivo masivo de microalgas y a la producción de biomasa. Para ello, deben mantener un medio estable (temperatura, pH, baja concentración de O₂) y proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento, incluyendo la luz (Chisti, 2007).

Los métodos practicados para la producción de microalgas a larga escala utilizan dos tipos de fotobiorreactores: de tipo raceway y tubulares (Chisti, 2007).

Los fotobiorreactores tipo raceway son sistemas idóneos para producciones masivas. Están hechos de aproximadamente 0.3m de profundidad, en forma de un canal cerrado de recirculación. Dicha circulación es producida por una

paleta que gira constantemente.

Los fotobiorreactores tubulares consisten en un arreglo de tubos transparentes rectos, fabricados con plástico o vidrio, en donde la luz solar es absorbida. Estos tubos son de aproximadamente 0.1 m de diámetro. El diámetro del tubo está limitado porque la luz no penetra tan profundamente en el caldo del cultivo, lo que es necesario para asegurar una alta productividad del fotobiorreactor.

Una tecnología muy útil para la operación eficiente de este tipo de biorreactores es la automatización y control de bioprocesos. Esta tecnología permite la detección oportuna de fallas, determinando en tiempo real parametros de operación como por ejemplo, temperatura o pH, lo cual disminuye los tiempos muertos y aumenta la productividad del sistema. Una de las herramienta más utilizadas para el monitoreo en tiempo real de biorreactores son los sistemas de adquisición de datos. Los sistemas de adquisición de datos (DAQ) se utilizan para medir y registrar señales obtenidas de dos maneras: a) aquellas que se originan a partir de las mediciones directas de cantidades eléctricas. b) Señales que se originan a partir de transductores, como galgas extensiométricas y termopares (Cooper y Helfrick, 1991).

Estos sistemas se clasifican en dos clases principales: analógicos y digitales. Los sistemas analógicos tratan en forma analógica la información de las mediciones. Un sistema analógico se define a partir de funciones en tiempo continuo. Los sistemas digitales procesan la información en forma digital. Una cantidad digital puede consistir en un número de pulsos discretos y discontinuos cuya relación de tiempo contiene información referente a la magnitud o naturaleza de la cantidad.

En el presente trabajo se desea diseñar e implementar un sistema de adquisición de datos (DAQ) en un fotobiorreactor de microalga-bacteria para el tratamiento de vinazas de la industria tequilera con el fin de obtener información en tiempo real del estado o funcionamiento del biorreactor. Además, se pretende diseñar un controlador de volumen de liquido que logre compensar las perdidas de agua por evaporación, además de determinar la capacidad de

biorremediación del sistema.

2. Materiales y métodos

2.1. Sistema de Adquisición de Datos

Un sistema DAQ incluye algunos o todos los elementos que se muestran en la figura 1. Las operaciones esenciales dentro de un sistema de adquisición de datos incluyen: manipulación de señales analógicas, mediciones, conversión y manejo de datos digitales, y programación y control interno.

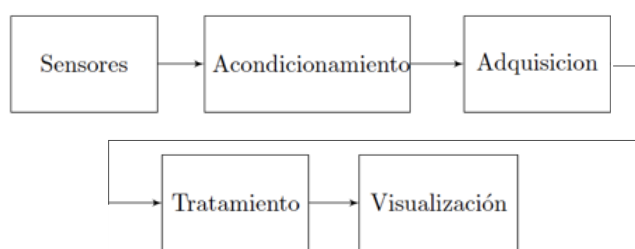


Figura 1. Sistemas de Adquisición de Datos.

El sistema DAQ usado en este trabajo está embebido en un sistema de cómputo basado en la plataforma Arduino. Arduino es una plataforma de código abierto basado en software y hardware de uso fácil. El lenguaje de programación está basado en Wiring, que es un sistema de programación de código abierto para microcontroladores. El software Arduino IDE está basado en Processing, un software flexible para su programación.

Las tarjetas Arduino son capaces de leer señales de entrada (como luz en un sensor, un botón en un botón o un mensaje en Twitter) y convertirlo en una salida (activar un motor, prender un LED o publicar algún mensaje en línea). El usuario puede indicar a la tarjeta qué hacer por medio de una serie de instrucciones al microcontrolador de la tarjeta.

Las mediciones de pH se hicieron por medio de un sensor de Atlas Scientific Environmentl Robotics Inc, con un rango de mediciones de 0 a 14. La comunicación de los datos hacia la tarjeta Arduino se realizó por medio de la interfaz serial RS-232.

Las mediciones de temperatura se hicieron por medio de la sonda sumergible DS18B20 de

Maxim Integrated, con un rango de mediciones de -55°C a 125°C . La comunicación de los datos a la tarjeta Arduino se realizó a través del protocolo serial 1-Wire.

Las mediciones del volumen dentro del raceway se hicieron por medio de un sensor ultrasónico OSSEP, el cual permite medir distancias de objetos que se encuentran en un rango de 2cm hasta 4m desde la posición del sensor. Los datos fueron comunicados a la tarjeta Arduino a través de un puerto digital. El volumen del raceway fue regulado por medio de un algoritmo de control On/Off, mientras que el actuador usado para alimentar el raceway con agua fue una bomba de corriente directa genérica que proporciona un flujo de salida entre 1.5 y 2 l/s, conectada a una salida PWM de la tarjeta Arduino.

Debido a que se ha reportado que este tipo de reactores presentan elevadas tasas de evaporación, afectando el volumen del líquido dentro del reactor, se implementó un regulador de volumen por medio de un controlador On/Off o control de dos posiciones. En un sistema de control de dos posiciones, el elemento de actuación solo tiene dos posiciones fijas, que, en muchos casos, son simplemente encendido y apagado. La figura 2 muestra el diagrama de bloques del sistema de control en lazo cerrado de volumen.

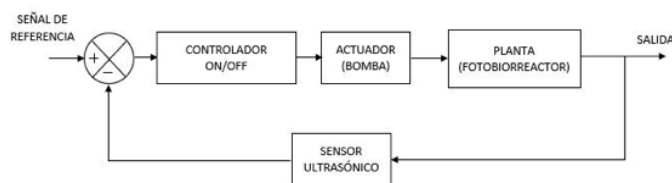


Figura 2. Diagrama de bloques del sistema de control de volumen.

En un sistema de control de dos posiciones, el elemento de actuación solo tiene dos posiciones fijas, que, en muchos casos, son simplemente encendido y apagado. El control de dos posiciones o de encendido y apagado es relativamente simple y barato, razón por la cual su uso es extendido en sistemas de control tanto industriales como domésticos (Ogata, 2003).

Considérese el sistema de control de volumen de la Figura 3. La bomba está encendida o apagada. Con este control de dos posiciones, el

flujo de entrada del agua es una constante positiva o cero. Como se aprecia en la Figura 4, la señal de salida se mueve constantemente entre los dos límites requeridos y provoca que el elemento de actuación se mueva de una posición a otra. Tal oscilación de salida entre los límites es una respuesta característica de un sistema de control de dos posiciones.

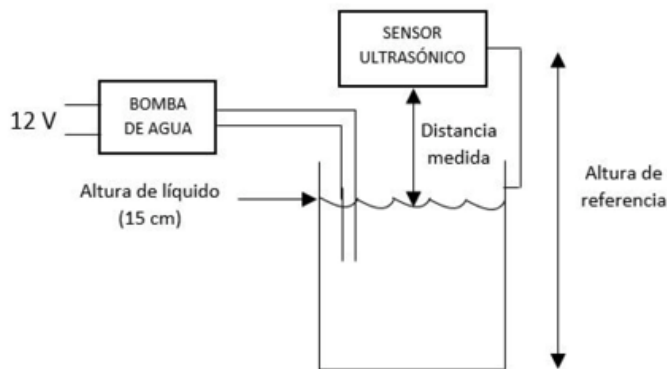


Figura 3. Sistema de control de volumen.

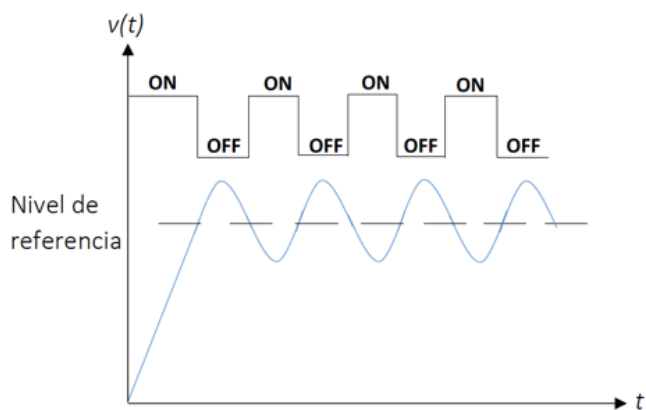


Figura 4. Curva de volumen contra tiempo para el sistema de control de volumen.

Los datos de pH, temperatura y volumen del raceway fueron almacenados en un archivo de texto dentro de una tarjeta SD por medio de un módulo lector de tarjetas SD desarrollado por Cypress Semiconductor Corporation, con capacidad máxima de 8GB.

2.2. Vinazas y operación del fotobiorreactor

Inicialmente, las vinazas tequileras se diluyeron al 50 % con aguas residuales municipales tratadas y su pH se ajustó a 7.0 con una solución de NaOH 0.3 N. La vinaza diluida se alimentó a un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) de 5 L de volumen de operación. En esta etapa se alcanzó una remoción de un 45% de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) total de la mezcla. Posteriormente, se evaluó la

remoción de contaminantes (DQO) y nutrientes (Nitrógeno Amoniacal (N-NH₃), Fosfatos Totales, Nitritos y Nitratos) de las vinazas en un fotobiorreactor de laguna microalgal de alta tasa, el cual fue operado semi-continuamente en lotes secuenciales; Reactor por Lotes Secuencial (SBR), con un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 10 días. Adicionalmente, se determinó la concentración de la biomasa microalga-bacteria expresada en Sólidos Suspendidos Totales (SST) y su sedimentabilidad en mL de sólidos sedimentables/L de líquido utilizando un cono de sedimentación Imhoff.

3. Resultados y discusiones

La figura 5 muestra el seguimiento de los parámetros de operación (pH, volumen y temperatura del líquido). Los datos fueron registrados con el sistema DAQ instalado en el fotobiorreactor, el cual registró los datos cada minuto, por lo cual, los datos presentados en la figura 5 A y B corresponden al promedio diario de los datos registrados. Se pudo constatar experimentalmente el buen funcionamiento del sistema de control de volumen diseñado, el cual logró mantener el volumen de líquido del reactor alrededor de 35 L durante todo el periodo evaluado (figura 5 A), logrando compensar las pérdidas de agua por evaporación. Con respecto al pH y temperatura, se realizaron mediciones in situ de ambos parámetros, con un pH meter HANNA y un termómetro de mercurio, con el fin de evaluar la efectividad de las mediciones realizadas por el sistema DAQ. Al comparar las mediciones entre ambas metodologías, se obtuvo una diferencia de aproximadamente un 2%, lo cual confirma la efectividad del sistema DAQ.

Como se observa en la figura 5 A y B, el fotobiorreactor tuvo comportamiento estable durante los 27 días de operación, sin embargo, la concentración de biomasa (figura 5 C) alcanzó su estabilidad después de 10 días de operación, lo cual corresponde al comportamiento típico de un reactor semi-continuo, alcanzando su estabilidad una vez transcurrido un TRH. La figura 6 muestra los porcentajes de remoción alcanzados en el estado estacionario (después de 10 días de operación). El proceso evaluado tuvo un comportamiento satisfactorio, logrando una remoción de DQO, N-NH₃ y fosfatos totales de

50, 49 y 99 % respectivamente, logrando cumplir con la norma mexicana de descarga de aguas (NOM-001-ECOL-1996), confirmando que es posible remover materia orgánica y nutrientes inorgánicos en una sola etapa.

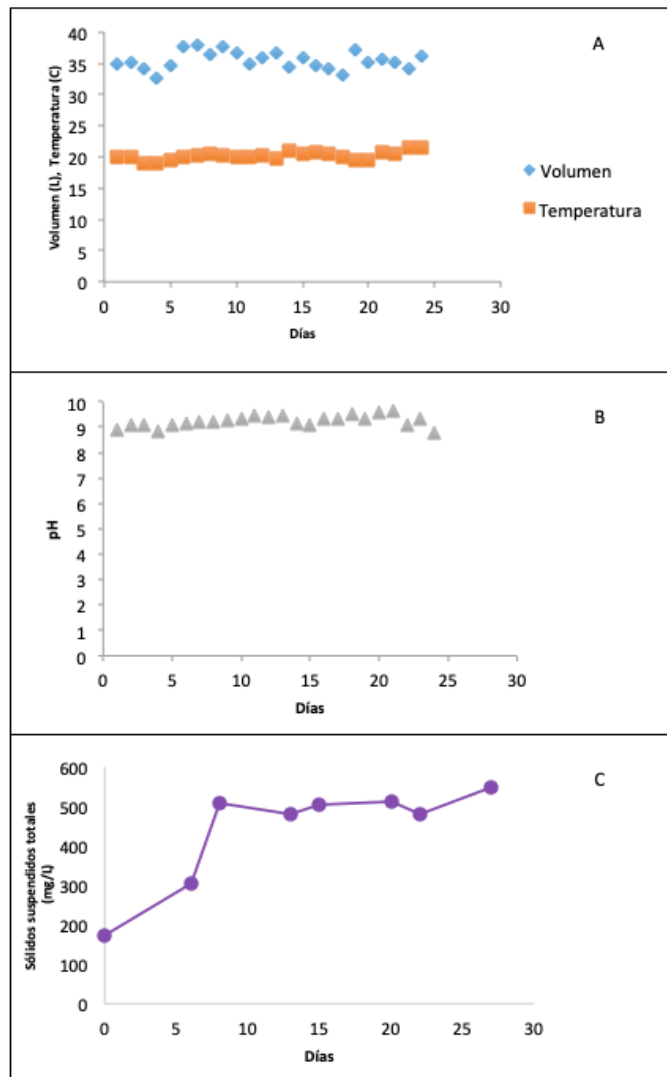


Figura 5. Seguimiento de los parámetros de operación del fotobiorreactor microalga-bacteria. A: volumen y temperatura del líquido; B: pH del líquido; C: concentración de biomasa expresada en SST.

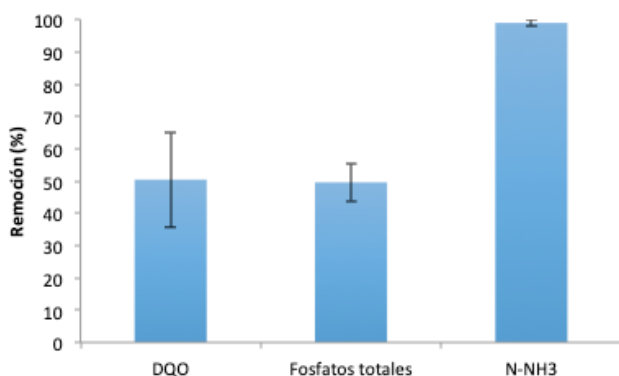


Figura 6: Promedio de las remociones de DQO y

nutrientes alcanzada en el estado estacionario (después de 10 días de operación).

4. Conclusiones

En el presente trabajo se logró implementar efectivamente un sistema de adquisición de datos DAQ que permitió monitorear en tiempo real el funcionamiento del reactor, en conjunto con un controlador de volumen de líquido, el cual logró compensar las pérdidas de agua debido a la evaporación. Esta tecnología permite la detección de fallas del proceso en tiempo real por parte del usuario y es potencialmente escalable para todo tipo de biorreactores, además de ser el primer paso en la automatización del proceso. Por otro lado, el sistema estudiado logró el tratamiento efectivo de las vinazas tequileras, removiendo en solo una operación unitaria, materia orgánica y nutrientes inorgánicos como nitrógeno amoniacal y fosfatos, cumpliendo así con la norma mexicana de descarga de aguas (NOM-001-ECOL-1996). Sin embargo, se debe evaluar un tratamiento posterior con el fin de remover la materia orgánica recalcitrante presente en las vinazas, que es la causante de su aspecto coloreado.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen al programa Veranos UG por su apoyo para la realización del trabajo. Igualmente, los agradecen a la Dirección Apoyo a la Investigación y Posgrado (DAIP), Universidad de Guanajuato, por su financiamiento.

6. Bibliografía

Y. Chisti. (2007) Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25, 294-306.

W. D. Cooper, A. D. Helfrick. (1991) Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición. Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, México.

K. Ogata. (2003) Ingeniería de control moderna. Madrid, España. Pearson Educación.

L.-D. Zhu, E. Hiltunen. (2016) Application of livestock waste compost to cultivate microalgae for bioproducts production: A feasible framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1285-1290.