

Diseño de un sistema piloto para la inyección de gases en biorreactores para la producción de biomasa

Design of a pilot system for the gas injection in bioreactors for the production of biomass

Recibido 20 Julio 2018,
Aceptado 1 Noviembre 2018

www.unipaz.edu.co

Saavedra Said^{a†}, Porras Atencia Oscar Orlando^a, Miranda Jose Vicente^a

Resumen: En este trabajo se desarrolló un sistema piloto de aireación compatible con biorreactores para el cultivo de microalgas de interés en la producción de biocombustibles lo que se conoce como fotobiorreactor de tipo inclinado. A partir de esto, se construyó el fotobiorreactor en material acrílico con un diámetro de 10 cm y una altura de 1,1 m, garantizando la óptima captación de luz solar y una estabilización de la concentración de OD (oxígeno disuelto). Se construyó en un soporte metálico móvil, provisto de un panel solar de 12 V y una batería de 12 V y 12 Amperios-hora, el cual mantiene el funcionamiento las 24 horas del día. Así mismo se le acondicionó un cilindro de almacenamiento de CO₂ de 10,7 litros con un aditamento que permite instalar otra fuente gaseosa, un compresor que le imprime presión al gas para que se desplace eficientemente a la columna de los fotobiorreactores. Las pruebas realizadas del diseño mostraron resultados favorables para el funcionamiento adecuado del sistema. Este diseño resulta versátil, debido a que se le pueden adaptar fácilmente otros dispositivos y equipos de seguimiento y control de diversas variables además de incorporar el uso de tecnologías limpias a partir de energía renovable. **Palabras claves:** fotobiorreactor, microalga, biocombustible.

Abstract: In this work, a pilot aeration system compatible with bioreactors was developed for the microalgae culture of interest in the production of biofuels, which is known as an inclined photobioreactor. From this, the photobioreactor was constructed in acrylic material with a diameter of 10 cm and a height of 1.1 m, guaranteeing the optimal capture of sunlight and a stabilization of the DO (dissolved oxygen) concentration. It was built on a mobile metal support, provided with a 12 V solar panel and a 12 V and 12 Ampere-hour battery, which maintains operation 24 hours a day. A 10.7-liter CO₂ storage cylinder was also fitted with an attachment that allows another gaseous source to be installed, a compressor that presses the gas to move efficiently to the column of the photobioreactors. The design tests showed favorable results for the proper functioning of the system. This design is versatile, due to the fact that other devices and monitoring and control equipment of different variables can be easily adapted to it, as well as incorporating the use of clean technologies based on renewable energy. **Key words:** Photobioreactors, microalgae, biofuels.

INTRODUCCIÓN

Los fotobiorreactores (FBRs) son mecanismos reservados para el cultivo intensivo de microalgas y en general, de producción de biomasa. Por lo que se deben conservar en un medio estable (temperatura, pH, baja concentración de O₂) suministrándose los elementos necesarios para su crecimiento. Existen dos tendencias de diseño opuestas: los reactores abiertos, que priman por su economía, donde hay un pobre control del entorno y los FBR cerrados que consiguen unas condiciones bastante controladas que permiten el

crecimiento de las microalgas a una velocidad inmejorable, a cambio de un costo mayor y de mejor productividad¹.

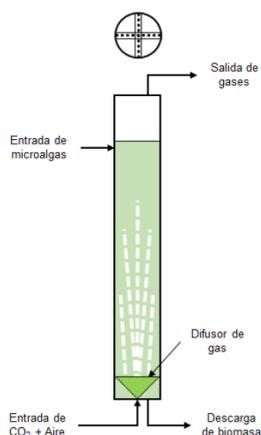
El crecimiento de las microalgas es rápido y requiere como la mayoría de los seres vivos agua y una fuente de carbono para su incorporación, siendo el dióxido de carbono una fuente usada por estos microorganismos durante su crecimiento. El agua usada para tal fin es en su mayoría residual y no potable. Una vez alcanzado cierto nivel de crecimiento en pocos días, se convierten en combustible mediante procedimientos sencillos y cuyas emisiones de CO₂ son prácticamente neutrales. Comparado con otros organismos eutróficos utilizados para producir biodiésel, el fitoplancton parece tener el mejor rendimiento.

^aInstituto Universitario de la Paz. Centro de Investigación Santa Lucía Km 14 Vía Bucaramanga.

† saavedra.said@hotmail.com

Por estas razones, se han ahondado esfuerzos para desarrollar una alternativa sostenible a los biocombustibles tradicionales, planteando la producción de este a partir de algas, agua y el proceso natural de la fotosíntesis. En un fotobiorreactor eficiente incorpora dentro de su diseño parámetros relacionados a la función del organismo que va a ser cultivado².

Debido a que los microorganismos fototróficos son muy diversos en su morfología, alimentación, requerimiento lumínico y resistencia al estrés, los fotobiorreactores son diseñados para manejar organismos particulares y en condiciones específicas. En este sentido las tecnologías utilizadas para el desarrollo de fotobiorreactores incorporan sistemas de aireación con los cuales se ofrecen sistemas versátiles de fácil de transporte y montaje, además del uso de energía solar y almacenamiento, que garantice su funcionamiento las 24 horas del día. (Figura 1)



Fuente: Adaptado de CHISTI, Yusuf. Airlift bioreactors. Londres, Inglaterra. 1989.

Fig. 1: Configuración de un fotobiorreactor tubular.

Los tipos de equipos de aireación más utilizados en biorreactores son los sistemas de aireación difusa o aire comprimido, donde la inyección de gas, aire u oxígeno, bajo presión, se hace por la parte inferior de la superficie libre del fluido³.

Esta aplicación se realiza a través de medios porosos conocidos como difusores, que producen burbujas de diámetros muy pequeños. Los preferidos son los de poro fino (2 a 5 mm),

seguidos por los de poro semifino (6 a 10 mm) y los de burbuja gruesa (>10 mm).

Este tipo de aireadores pueden transferir de 0,3 kg O₂/kW*h a 1,2 kg O₂/kW*h, siendo usados, especialmente en biorreactores y sistemas de tratamiento de aguas residuales pequeños con tanques que tienen profundidades entre 2,5 y 5,0 m. Para este último caso, la relación conveniente de ancho/profundidad de estos tanques debe ser menor a 2, con el fin de asegurar una aireación efectiva y una mezcla apropiada.

MÉTODOS

La presente investigación de carácter descriptivo, se realizó el diseño del sistema piloto para inyección de gases en un biorreactor, teniendo en cuenta aspectos tales como la productividad volumétrica, la conversión de la energía luminosa eficiente y, brindar la viabilidad y estabilidad necesaria para el proceso de cultivo de algas. En la figura 2 se muestran diversas combinaciones de tipos e inclinaciones que existen de fotobiorreactores.

		Orientación e Inclinación		
		Horizontal	Vertical	Inclinado
Tipo de fotobiorreactor	Tubular	Producción Industrial a bajas latitudes		Producción Industrial a altas latitudes
	Plano	Investigación y Desarrollo a bajas latitudes		Estudio de cepas a altas latitudes
	Cilindros, fundas		Producción artesanal, células de estructura delicadas	

Fuente: RONNY BARRA, S. G. Diseño de un Fotobiorreactor Industrial para Cultivo de Spirulina. Revista Tecnológica Espol. Guayaquil, Ecuador. 2010. p. 30.

Fig. 2: Esquema de las combinaciones de diferentes tipos e inclinaciones existentes de fotobiorreactores.

A partir de la revisión bibliográfica se documentó sobre los diseños que se encuentran vigentes en la actualidad, considerando las tecnologías de biorreactores, fotobiorreactores y lagunas, evaluando los componentes, subcomponentes, ventajas, desventajas y otros requerimientos. Asimismo, se estableció una matriz de valoración de la viabilidad para su construcción basados en el riesgo, confiabilidad y seguridad (ver Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros de valoración de riesgos.

Valoración	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Riesgo	1	2	3	4	5
confiabilidad	1	2	3	4	5
Seguridad	1	2	3	4	5

Según los valores o rangos establecidos de los parámetros de evaluación, se definió una escala de ponderación que permitió identificar la alternativa de mayor viabilidad (ver Tabla 2).

Tabla 2. Escala de ponderación.

Escala de ponderación		
3 a 5	Viabilidad baja	
>6≤10	Viabilidad media	
>11	Viabilidad alta	

Teniendo en cuenta lo anterior, se viabilizó la construcción del sistema piloto de inyección de gases en un biorreactor móvil. Se consideraron aspectos tales como las condiciones climáticas de la zona debido a que se puede aprovechar la luz solar, la facilidad de desplazamiento, el poco espacio que ocupa y el mejor aprovechamiento del burbujeo del CO₂ por parte de las microalgas. En el Tabla 3, se presentan, los factores considerados.

Tabla 3. Factores evaluados para la selección de la alternativa tecnológica de mayor viabilidad.

ASPECTO	FACTORES
Técnicos	Tipos de microalgas
Volumen de CO ₂ a trabajar	
Disponibilidad de áreas y terrenos para la ubicación de infraestructura	
Disponibilidad de personal para su operación	
Requerimientos y disponibilidad de energía eléctrica	
Financieros	Valor de la inversión
Costos recurrentes (operación, mantenimiento, administración, reposición, mano de obra, etc.)	
Costos de transporte al sitio del proyecto (infraestructura del sistema de gestión integral de residuos sólidos y a sitios de comercialización de residuos asociados a la distancia y las cantidades de material)	
Disponibilidad de recursos y fuentes de financiación para la inversión y el funcionamiento	
Sostenibilidad del proyecto	
Ambiental	Impactos ambientales (afectaciones al agua, aire, suelo, paisaje, fauna, flora, etc)

A partir de la alternativa tecnológica seleccionada, se realizó la construcción del sistema aireador seleccionado. Para esto se contemplaron las dimensiones establecidas en el plano y cálculos realizados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema piloto para inyección de gases compatible con biorreactores para microalgas se construyó para operar con energía solar, con un sistema de recirculación de CO₂ y alternativo para conectar un sistema de recirculación de aire, que a su vez es compatible a un reactor de tipo tubular inclinado, destinado al cultivo de microalgas.

Dimensionamiento. Se tuvieron en cuenta las dimensiones del fotobiorreactor de un radio de 10 cm que sugieren una excelente disponibilidad de luz y una altura de columna de 1,10 m, para garantizar que la concentración de oxígeno disuelto se mantenga constante⁴.

Asimismo, se consideraron aspectos tales como que la tapa superior debe permitir la entrada de medidores de pH y oxígeno disuelto, así como permitir la salida de gases; por la tapa inferior ingresa la corriente gaseosa y permite el descargue de biomasa del fotobiorreactor. Para prevenir el riesgo de contaminación, en el caso de ingresar los gases a partir del aire atmosférico, se debe hacer pasar por un filtro purificador. También se debe hacer pasar la corriente de gas de salida del reactor por un sistema de filtros para evitar la contaminación atmosférica (olores y gases indeseables). El difusor se fabricó con una configuración de tubos en acero inoxidable, plástico o vidrio, con un diámetro óptimo y sugerido para una mejor difusión con orificios es de 1 mm⁵. Se incorporo un cono de plástico en la parte inferior del fotobiorreactor, el cual provoca un flujo suave de retorno al rociador⁶ (ver Figura 3).

Teniendo en cuenta los anteriores aspectos, el sistema de aireador que se construyó, está constituido como se refiere a continuación:

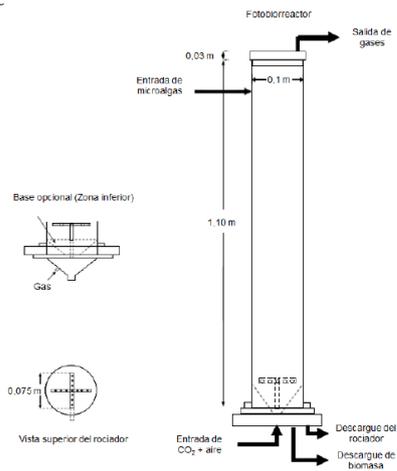


Fig. 3: Dimensiones del fotobiorreactor.

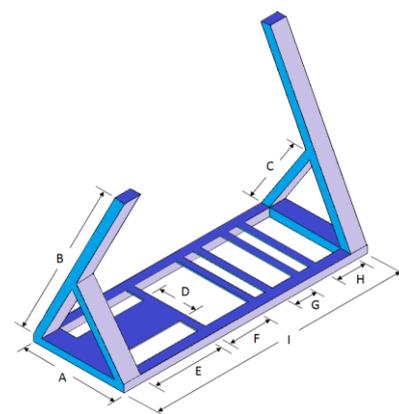
Descripción del sistema. Cuenta con una estructura de soporte (ver Figura 4) en donde se encuentra un tanque en lámina de acero al carbono, el cual tiene como función mantener el volumen de gas requerido para la inyección a los reactores tubulares. En la parte superior el tanque cuenta con una boquilla de ½ pulgada con rosca interna, en el cual se conecta una válvula de bola para su llenado, en su parte lateral se encuentra conectado un indicador de presión (130 psi para visualizar la presión del sistema).

En la parte superior central, se encuentra ubicado el panel solar el cual recibe la energía radiante. Este consta de 36 celdas cada una con 4 buses. En la parte inferior de la celda, se encuentra la caja de conexión. La función del panel es captar la energía lumínica y transformarla en energía eléctrica. Esta energía eléctrica es transferida y almacenada a una batería acumuladora que se encuentra en la parte inferior del sistema. La energía es transportada mediante cables eléctricos de cobre con cubierta protectora aislante. El tipo de energía que se genera es corriente continua.

Delante de la batería se encuentra el controlador de corriente, donde se regula su intensidad. Sobre los extremos inferiores de la estructura se encuentran dos placas que soportan los fotobiorreactores, que son dos tubos en acrílico inclinados en sentido opuestos. Estos tubos son de acrílico de 4 cm de diámetro y 1,1 m de longitud en los que ingresa el gas por la parte inferior,

mediante un sistema de difusores ubicado en la parte inferior de cada columna. El gas es transportado del cilindro a las columnas por medio de mangueras de ¼ pulgada de diámetro interno, resistente a presiones de 150 psi. Para impulsar el gas se dispone de un compresor de 130 psi, que se encuentra en la parte inferior, entre la batería y el cilindro. Este presenta un presostato que interrumpe la presión cuando llega a 70 psi y se activa cuando la presión está en 30 psi.

En la salida del cilindro se conectó una unión en T rosca de ¼ pulgada en acero galvanizado, sobre la cual se instaló, un manómetro con un rango de (0 a 140 psi), y en la segunda, una rosca galvanizada de ¼ pulgada, para instalar un suministro de gas externo con una válvula de bola de ¼ pulgada para regular su salida. La función del manómetro es la de controlar la presión del cilindro. El sistema tiene la versatilidad de instalar otros dispositivos como pH-metro, rotámetro para el tipo de estudio que se desee realizar. La estructura del sistema donde van soportados los componentes del sistema es metálica, diseñada y construida a medida, posee además rodachines de seguridad capaces de soportar el peso de la estructura y sus componentes y de ser transportada y fijada en el lugar de las pruebas (ver Figura 4). Adicionalmente, el interruptor de paro y arranque del sistema, se encuentra en la cara de la sección circular del compresor que está hacia el cilindro.



Sección	Longitud, cm	Sección	Longitud, cm	Sección	Longitud, cm
A	45	D	25	G	16,5
B	120	E	27	H	11,5
C	120	F	8,5	I	101

Fig. 4: Dimensiones de la estructura de soporte.

Compresor Goodyear. Se utilizó un compresor con las siguientes especificaciones: 61 cm de manguera. Adaptador de válvula presta cable alimentador con adaptador para encendedor de 12 V corriente continua. Cable DC de 4,87 metros de largo. Motor de transmisión directa potente, silencioso y rápido. El compresor cuenta con un manómetro analógico que brilla en la oscuridad, su presión máxima es de 130 psi y se conecta a 12 V.

Accesorios. Tubería galvanizada. Codo de 90° y T de ¼ pulgada de diámetro interno

Presostato. Este equipo se empleó teniendo en cuenta el control de flujo y para mantener una presión constante, sin afectarse por cambios en las condiciones operativas del proceso, la cual se ajustó a 70 psi.

Fotobiorreactor. Para la construcción del fotobiorreactor, se utilizaron 2 tubos en acrílico de 10 cm de diámetro y 1,1 m de longitud los cuales se ubicaron inclinados 60° con la horizontal, a cada lado de la estructura de soporte del sistema, con vista en direcciones opuestas, en cuya parte inferior ingresa el CO₂ (o el aire, según la necesidad). Esta inclinación permite un mejor aprovechamiento de la luz solar que en los dispositivos verticales y se tiene mayor tiempo de contacto entre el gas y los microalgas o microorganismos que se encuentran dispersos en el agua (ver Figura 5).

Para el difusor, se aprovechó el sistema de regadera utilizada en los baños, para lograr una mejor distribución de las burbujas.

En la parte superior se encuentra un sistema de acople en la tapa para que se puede conectar una manguera y recolectar los gases de salida.

Se utilizaron mangueras de ¼ pulgada de diámetro capaz de resistir presiones de 150 psi. Estas mangueras se son utilizadas para controlar el nivel de los biorreactores por el mecanismo de vasos comunicantes. Por lo cual debe mantenerse sobre el nivel del agua de los fotobiorreactores.

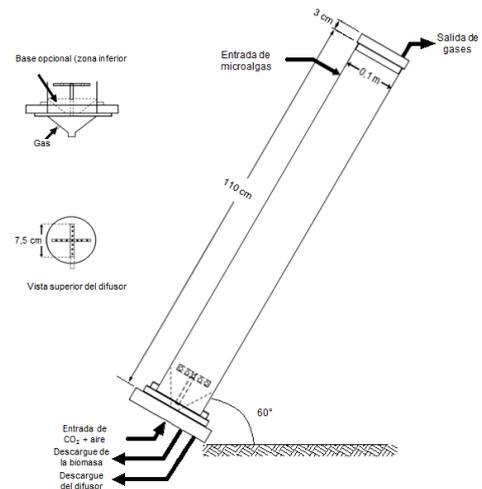


Fig. 5: Fotobiorreactor.

Fuente de energía. Para garantizar la disponibilidad de fuente energética continua y renovable, se instaló un panel solar de 100 W 12 V, es uno de los paneles con más potencia, dados los 12 amperios de corriente de salida por panel que son capaces de generar. El panel solar de 100 W policristalino de 12 V está compuesto por 36 células. Consta de con cuatro buses por célula. En la parte trasera del panel se encuentra la caja de conexiones, además de agujeros para poder atornillar el panel solar a cualquier marco. Este panel hace la recepción de la energía lumínica y la transforma en energía eléctrica.

Batería de almacenamiento. La energía fue almacenada en una batería de 12 V, con una capacidad de almacenamiento de 12 A*h, suficientes para garantizar la disponibilidad de energía eléctrica 24 horas al día. Otra gran ventaja de este sistema es que se puede desplazar a cualquier sitio, siempre que se pueda aprovechar la radiación solar.

Controlador de carga de batería y de carga solar. El controlador de carga administra automáticamente el funcionamiento del panel solar y batería en el sistema solar. Sobrecarga de protección contra cortocircuitos. Invierte la descarga de la protección de polaridad inversa. Bajo tensión y exceso de carga.

Protección. La protección contra el rayo prolonga la vida útil de la batería y mantiene así el trabajo de carga.

Esquema eléctrico del sistema. A continuación, en la Figura 6 se muestra el esquema eléctrico.

Al finalizar el montaje de todos los componentes del sistema, se realizó una prueba de arranque, para verificar el funcionamiento de cada componente del sistema. Esta prueba resultó satisfactoria.

Luego se realizó el cargue de gas al cilindro mediante el compresor. Esta operación duró 2 minutos, y al llegar al valor de 70 psi, el compresor se apagó automáticamente, con lo que se verificó el tope superior de presión.

Al pasar los 10 minutos se verificó que el sistema aún está descargando aire sin necesidad de que el compresor arranque, con lo que se verificó que cumplió con el tiempo mínimo estipulado para su funcionamiento. El compresor arrancó después de 14 minutos.

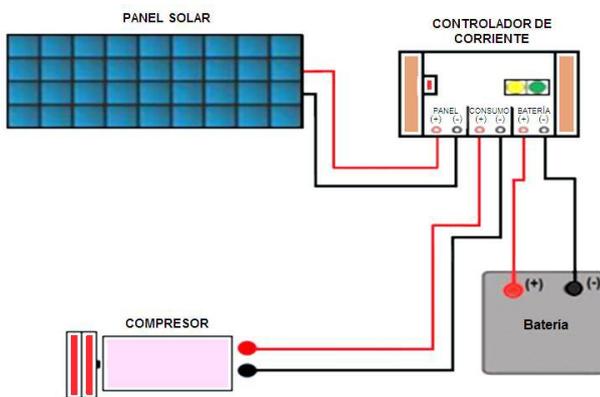


Fig. 6: Diagrama eléctrico del sistema.

CONCLUSIONES

A partir de la revisión bibliográfica referente a los diferentes sistemas de fotobiorreactores, se eligió el diseño correspondiente a los sistemas tubulares inclinados, debido a que ocupan poco espacio, se puede aprovechar de mejor manera la luz solar y retirar los gases producidos con mayor facilidad. En este

sentido, se realizó el diseño y construcción de dos biorreactores en acrílico transparente de una longitud de 1,1 m y 10 cm de diámetro lo que permitió una mayor exposición del contenido del biorreactor a la luz solar y así facilitar estudios de absorción de luz y otros posibles estudios.

Asimismo, se diseñó estructura metálica de soporte cubierta con pintura resistente a la corrosión, en donde se ubican los dos fotobiorreactores tubulares, el compresor, el regulador de presión, el controlador, el cilindro de almacenamiento de aire o CO₂, el panel solar y su batería respectiva con los accesorios necesarios para su acople y funcionamiento.

Las pruebas realizadas del diseño mostraron resultados favorables para el funcionamiento adecuado del sistema, en donde el tiempo muerto mínimo de arranque del compresor fue de 10 minutos y se registró un tiempo de 13 minutos, lo que permitió que el sistema consumiera menos energía y aumentando la vida útil del compresor.

El diseño del sistema resulta versátil, debido a que se le pueden adaptar fácilmente otros dispositivos y equipos de seguimiento y control de diversas variables además de incorporar el uso de tecnologías limpias a partir de energía renovable.

REFERENCIAS

1. José María Fernández Sevilla. Ingeniería de procesos aplicada a la biotecnología de microalgas. Cultivo de microalgas. Fotobiorreactores para el cultivo masivo de microalgas. Universidad de Almería (2014). Available at: <https://w3.ual.es/~jfernand/ProcMicro70801207/tema-1---generalidades/1-7-fotobiorreactores.html>.
2. Barra, R. & Guartatanga, S. Diseño de un Fotobiorreactor Industrial para el Cultivo de Spirulina (Arthrospira platensis). *Rev. Tecnológica ESPOL* 30–36 (2010).
3. Lozano Rivas, W. A. *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Módulo didáctico. Equipo de aireadores.* (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2015).
4. Torzillo, G. *et al.* Production of Spirulina biomass in closed photobioreactors. *Biomass* 11, 61–74 (1986).

5. Chisti, M. Y. *Airlift bioreactors*. (Elsevier applied science, 1989).
6. Sánchez, A., García, F., Contreras, A., Molina, E. & Chisti, Y. Bubble-Column and airlift photobioreactors for algal culture. *AIChE J.* **46**, 1872–1887 (2000).