

## Cultivo de *Arthrospira jenneri* en fotobiorreactor multitubular para captura de CO<sub>2</sub> de gases de combustión

### Culture of *Arthrospira jenneri* in a Multitubular Photobioreactor to Capture CO<sub>2</sub> from Combustion Gases

SEIJAS VELÁSQUEZ, Segundo<sup>1</sup>  
SEIJAS BERNABÉ, Nadia Stefanía<sup>2</sup>  
SEIJAS BERNABÉ, Priscilla Alexandra<sup>3</sup>

#### RESUMEN

Se evaluó el cultivo de microalgas *Arthrospira jenneri* empleando un fotobiorreactor multitubular horizontal con sistema de captura de CO<sub>2</sub> proveniente de los gases de combustión de una caldera de biomasa de tara, para ello se recolectó de *A. jenneri* "espirulina", de los humedales de Chou- Chou del distrito de Salaverry -La Libertad empleando como medio de cultivo 2% de vinaza y 2,6 g de NaHCO<sub>3</sub>/L a pH de 8,5 aforado con agua a 250 mL esterilizado a 121 °C durante 20 minutos con agitación constante y aireado de manera permanente, a temperatura promedio de 25°C. El cultivo se ubicó en el fotobiorreactor (Cultivo inmovilizado en biofilm) expuesto totalmente a la radiación solar (fotoperiodo 12:12) ; el líquido de cultivo fue bombeado a una velocidad del flujo menor a 0,5m/s . Las cosechas se efectuaron cada semana obteniéndose 0,11 g /L/día.

**Palabras clave:** *Arthrospira jenneri* ,fotobiorreactor, CO<sub>2</sub> , gases de combustión, cultivo.

#### ABSTRACT

The culture of *Arthrospira jenneri* microalgae was evaluated using a horizontal multitubular photobioreactor with a system to capture CO<sub>2</sub> from the combustion gases of a tare biomass boiler; for this purpose, *Arthrospira jenneri* "espirulina" was collected from the Chou- Chou wetlands in the district of Salaverry, La Libertad, using as culture medium 2% vinasse and 2.6 g of NaHCO<sub>3</sub>/L at pH 8.5, measured with water at 250 mL sterilized at 121°C for 20 minutes with constant agitation and permanent aeration, at an average temperature of 25°C. The culture was placed in the photobioreactor (culture immobilized on biofilm) fully exposed to solar radiation (photoperiod 12:12); the culture fluid was pumped at a flow rate of less than 0.5m/s. Harvesting was carried out every week, obtaining 0.11 g/L/day.

**Keywords:** *Arthrospira jenneri*, photobioreactor, CO<sub>2</sub>, combustion gases, culture.

<sup>1</sup>Docente de la Escuela de Ingeniería Industrial. Orcid: 0000-0002-8063-6038. mabesei@yahoo.com. Universidad Nacional de Trujillo, Perú.

<sup>2</sup>Docente de la Escuela de Enfermería. Orcid: 0000-0001-8176-9564. nadiastefania9@hotmail.com. Universidad César Vallejo, Perú.

<sup>3</sup>Docente de la Escuela de Ciencias Biológicas. Orcid: 0000-0003-0152-5071. prisseijas@gmail.com. Universidad Nacional de Trujillo, Perú.

## INTRODUCCIÓN

El dióxido de carbono es el gas que más contribuye al problema del cambio climático, tanto por sus efectos como por las cantidades emitidas, proporcionalmente superiores a otras emisiones principalmente debido a la quema de combustibles fósiles en la industria de procesos o en la producción de energía eléctrica en centrales térmicas (Schreibera *et al.*, 2017).

El cultivo de microalgas no solamente conforma un área muy amplia con aplicaciones nuevas y tradicionales principalmente en alimentos sino a la vez permite la solución de problemas ambientales constituyendo un gran potencial para la captura de gases como el dióxido de carbono generado por diferentes tipos de fuentes principalmente antropogénicas. *Arthrospira jenniferi* comúnmente denominada espirulina es una alga fotosintética del tipo cianobacterias, es decir son seres autótrofos, que transforman la energía de la radiación solar para producir su biomasa tomando los elementos minerales o nutrientes del medio donde habitan (Acien *et al.*, 2012; Cruz-Martínez *et al.*, 2015).

El cultivo de las microalgas se puede dar en sistemas abiertos ( piscinas y estanques) y en sistemas cerrados denominados fotobiorreactores, los cuales pueden presentar diversos diseños, entre los más estudiados por la viabilidad técnica y económica para la producción de biomasa y metabolitos, son los de panel plano y tubulares (Amar *et al.*, 2014)

Por otro lado, las cianobacterias tienen una gran capacidad de emplear el CO<sub>2</sub> no solo en forma de bicarbonato, sino de otro tipo tales como de fuentes proveniente de la combustión de combustibles y emplearlo para producir diversos componentes tales como ácidos grasos omega-3, proteínas, pigmentos tales como carotenoides, ficobiliproteínas entre otros compuestos bioactivos (García, 2016; Saha y Murray, 2018).

Es por ello que para producir estos compuestos es más factible obtenerlos empleando fotobiorreactores. El cultivo de microalgas *Arthrospira sp.* en fotobiorreactor tipo multitubular horizontal acoplado a un sistema de captura de CO<sub>2</sub> proveniente de los gases de combustión de calderas, constituye una alternativa para el control de emisiones de CO<sub>2</sub> en los gases de combustión además de producir paralelamente un suplemento proteico (Vázquez *et al.* 2016). Velasquez y Ulate (2014) emplearon gases de combustión previamente acondicionados para disminuir emisiones de SO<sub>2</sub> de caldera que quema bunker empleando como cultivo la microalga *Chlorella sp.*, obteniendo una concentración final de biomasa de 0,115 g /L/día. Restrepo y Diaz (2011) emplearon la cepa *Botryococcus braunii* para la obtención de biocombustibles con una tasa de crecimiento de 0,5 g / L/día, una tasa de fijación de CO<sub>2</sub> de 1,0 g / L / día; empleando un biorreactor plano. Jaimes y Kafarov (2015) emplearon fotobiorreactores con alturas superiores a 6 veces el diámetro y pequeños tamaños de burbuja (menor a 1mm) obtuvieron una fijación de 90 mL/min de CO<sub>2</sub> suministrados de forma continua y con concentraciones de 0,06 v/vm; obtuvieron en 15 días un promedio de 0,12 g/L/día de biomasa. Rubio *et al.* (2016) ; Velasquez y Ulate (2014) propusieron el diseño de un sistema continuo para un fotobiorreactor airlift a escala utilizando como variables de diseño : flujos de entrada y salida, elaborando un modelo matemático.

En base a lo antes expuesto se propuso el presente estudio que tuvo por objetivo evaluar el cultivo de *Arthrospira jenniferi* "espirulina" en fotobiorreactor multitubular para la captura de CO<sub>2</sub>, de los gases de combustión procedente de caldera.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño de investigación: A escala laboratorio se empleó diseño randomizado empleando 3 sistemas experimentales, tomando como tratamientos: velocidad de flujo de cultivo:  $T_1$ : 0,40 m/s;  $T_2$ : 0,50 m/s;  $T_3$ : 0,60 m/s y luego determinar cual de ellos propició mayor producción de biomasa teniendo en cuenta peso seco y densidad celular. Como medio de cultivo se empleó 2% de vinaza, 2,6 g de  $\text{NaHCO}_3/\text{L}$ , dando un pH 8,5; se aforó con agua a 250 mL, y se esterilizó a  $121^\circ\text{C}$  durante 20 minutos antes de adicionar el inóculo y el fotoperiodo empleado fue 12:12. Después de obtener el parámetro óptimo relacionado a velocidad de flujo y los parámetros de diseño se emplearon para escalar

a nivel piloto empleando el fotobiorreactor tubular compuesto de 20 tubos de 1,0 cm de diámetro y 1,22 m de longitud, donde se colocó el cultivo, mientras que el medio líquido depositado en un recipiente de 4L fue bombeado al mezclador líquido-gas con ingreso directo de gases de combustión de la caldera previamente enfriados y pasar a la torre de absorción para la captura de  $\text{CO}_2$  por el líquido de cultivo, depositándose en el recipiente inferior para ser recirculado continuamente hacia el fotobiorreactor mediante una bomba centrífuga. Los parámetros de diseño del fotobiorreactor tubular múltiple se determinaron en función de la capacidad de la caldera de biomasa de pellets de tara.



Figura 1. Caldera para combustión.

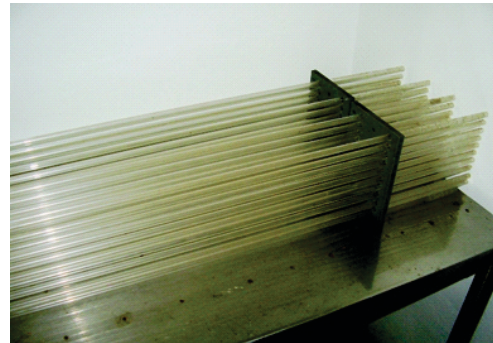


Figura 2. Tubos que conforma el fotobiorreactor tubular de pellets de tara.



Figura 3. Fotobiorreactor multitubular estático con Sistema de recirculación continuo del medio líquido.

## RESULTADOS

Se obtuvo mayor peso celular y mayor densidad de individuos microalgales (tricomas/mL) en el sistema  $T_2$  con el tratamiento de velocidad de flujo de cultivo a 0,5 m/s, tomándose como uno de los parámetros para escalar el fotobiorreactor, a continuación se presentan los demás parámetros obtenidos:

**Tabla 1.** Parámetros de cultivo de *A.jenneri* "espirulina" en fotobiorreactor tubular

Parámetros	Valor prome	Unidad
Temperatura de cult	22-30	°C
pH	8,5	--
Velocidad del flujo de	0,5	m/s
Flujo de gases de com	0,2600	g/L/h
Peso seco celular	0,110	g/L/día
Concentración de CO <sub>2</sub>	12,6	%
Densidad celular	145	Tricom as/

**Tabla 2.** Parámetros de diseño del Sistema de Captura de Gases de Combustion por biofilm microalgal empleando sistema de Fotobiorreactor multitubular horizontal

	Modelo matemático	Unidades
Volumen de fotobiorreactor	$V_{FBR} = 8,74 W$	(m <sup>3</sup> )
Flujo de gases de combustión	$\theta_g = 2,30W$	(Kg/h)
Flujo másico de biocombustible	$\theta_{BC} = 0,22 W$	(Kg/h)
Aire para combustión	$\theta_a = 1,67 W$	(m <sup>3</sup> /min)
Potencia de ventilador ( Tiro forzado)	$P_v = 0,093 W$	(hp)
Superficie de transferencia del enfriador de gases de combustión	$A_E = 0,0237W$	(m <sup>2</sup> )
Agua de enfriamiento para enfriador	$w = 10W$	(Kg/h)

## DISCUSIÓN

La producción de materia celular seca fue de 0,110 g/L/día, los cuales son concordantes con los resultados obtenidos por Velásquez y Ulate (2014) empleando gases de combustión con una concentración promedio de 12,0 % de CO<sub>2</sub> en una caldera que combustiona bunker, empleando la microalga *Chlorella sp* obteniendo una concentración final de materia celular de 0,115 g/L/día por litro cosechando cada 5 días en un Fotobiorreactor plano. Restrepo y Díaz (2011), con la cepa *Botryococcus braunii* obtuvieron biocombustibles con tasa de crecimiento de 0,5 g/L/día, con una tasa de fijación de CO<sub>2</sub> de 1,0 g/L/día; con la *Arthrospira jeneri* se obtuvo con una fijación de CO<sub>2</sub> de 0,80g/L/día un menor rendimiento, esto se explica porque la microalgas *Botryococcus braunii*, constituyen cepas más adecuadas para la elaboración de biocombustibles; según Jaimes y Viatcheslav (2015) poseen una alta tasa de crecimiento, siendo entre 10 a 50 veces más eficientes en fijación de CO<sub>2</sub> que las plantas terrestres, de igual manera Jaimes y Viatcheslav (2015),empleando

un flujo de 90 mL/min de CO<sub>2</sub>; obtuvieron un promedio de 0,12 g/L/día de biomasa en 15 días empleando biorreactores de mayor longitud y menor diámetro con alturas superiores a 6 veces el diámetro obteniendo una mayor dilución de CO<sub>2</sub>, en el presente estudio se empleó una relación de longitud a diámetro de 122: 1. El diseño del fotobiorreactor se determinó a partir de la capacidad de caldera (variable de entrada), flujo de combustible gases de combustión y concentración de CO<sub>2</sub>; Rubio *et al* (2016); Velásquez y Ulate (2014) utilizaron como variables de diseño: velocidad de flujos de entrada y salida, del cultivo efectuando balances de masa y energía, determinando los componentes del sistema (Caicedo y Rodríguez, 2016). En ambos casos el tiempo de crecimiento de la biomasa define el tamaño y las dimensiones de los equipos empleados que conforman el sistema. Cabe resaltar que la captura del CO<sub>2</sub> se debió por la fijación de éste por parte de la microalga en la fase de Calvin en el proceso de fotosíntesis con la finalidad de producir diversos

compuestos entre ellos están las proteínas y carbohidratos expresándose en el crecimiento celular del cultivo (peso seco y densidad)(Restrepo y Diaz, 2011). Por lo que la capacidad de los cultivos de microalgas para

emplear altas cantidades de dióxido de carbono ayudaría a aminorar las emisiones de gases de efecto invernadero, al utilizar como alimento el CO<sub>2</sub> proveniente de procesos industriales.

## CONCLUSIONES

Se evaluó el cultivo de *Arthrospira jenneri* en fotobiorreactor multitubular para captura de CO<sub>2</sub> obteniendo un peso seco celular de 0,110 g/L/día, densidad celular 145 Tricommas /mL a una velocidad de flujo del cultivo de 0,5 m/s.

regulando los parámetros de combustión para obtener un flujo de aire y gases de combustión definidos y el enfriamiento respectivo con agua de enfriamiento para una inyección directa al difusor del fotobiorreactor a temperaturas entre 22 a 30°C

El volumen del fotobiorreactor se determinó en función del flujo másico de vapor de la calder,

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acien F.; González C; Fernández-Sevilla J. (2012). Las Microalgas o cianobacterias: las mayores transformadoras de CO<sub>2</sub> en O<sub>2</sub> del planeta. *Dpto. Ingeniería Química, Universidad de Almería, ESPAÑA*.

Amar M, Muhamad N, Omara H y Ismaila, A. (2014). *Development of simple floating photobioreactor design for mass culture of Arthrospira platensis in outdoor conditions: Effects of simple mixing variation. J. Algal Biomass Utiln. 5(3): 46- 58.*

Caicedo L, Rodríguez J.(2016). Obtención de biomasa y azúcares reductores a partir de microalgas producidas en un fotobiorreactor airlift a escala laboratorio. Fundación Universidad de América, Bogotá.

Cruz-Martínez LC, Jesus CK., Matsudo MC, Danesi ED, Sato L y Carvalho C. (2015). Growth and composition of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* in a tubular photobioreactor using ammonium nitrate as the nitrogen source in a fed-batch process. *Brazilian Journal of Chemical Engineering. 32(2) : 347 - 352. dx.doi.org/10.1590/0104-6632.20150322s00003062*

Jaimes N, Viatcheslav K. 2015. Desarrollo preliminar de una metodología de suministro de CO<sub>2</sub> a cultivos de *Botryococcus Braunii* para la producción de biocombustibles. *Revista ION, 28(2) :33-50.*

Rubio D, Guzmán D, Gutiérrez C, Sandoval J. (2016). Propuesta de diseño de un sistema continuo para un fotobiorreactor airlift a escala laboratorio. Grupo de investigación: *Biotecfua*.

Restrepo R y Díaz P. (2011). Empleo de las microalgas en la fijación del CO<sub>2</sub> presente en los gases de chimenea de equipos industriales de combustión. *Colombia. ITECKNE 8 (1) :23-30.*

Saha S, Murray P. (2018). Exploitation of Microalgae Species for Nutraceutical Purposes: Cultivation Aspects. *Fermentation, 4:46-53.*

Schreibera C, Behrendta D, Hubera G, Pfaffa C, Widzgowaskia J, Ackermann B, Müllera A, Zachlederab V, Moudříkováac S, Mojžešac P, Schurra U, Grobbelaarad J, Nedbala L.(2017). Growth of algal biomass in laboratory and in large-scale algal photobioreactors in the temperate climate of western Germany. *Bioresource Technology. 234:140-149.*

Velásquez S, Ulate A. 2015. Diseño, construcción y puesta en marcha de un fotobiorreactor tubular para producir la microalga *Chlorella sp.* *Ciencia y Tecnología, 30(1): 28-49.*

**Recibido:** 25 mayo 2019 | **Aceptado:** 26 julio 2019