

“Construcción de un fotobiorreactor de microalgas para la captación biológica del CO₂ generado en la fermentación de mosto de uva”

Albareti, Santiago ^a; Groff, Carla ^{a,b,c}; Fernández, Cecilia ^{a,b}; Manzanares, Ana ^a; Sánchez, Emilia ^c; Scaglia, Gustavo ^{a,b}.
a IIQ-FI-UNSJ. Av. Lib. San Martín Oeste 1109, San Juan, J5400ARL, Argentina.
b CONICET.
c IBT-FI-UNSJ. Av. Lib. San Martín Oeste 1109, San Juan, J5400ARL, Argentina.
mcarlagroff@gmail.com

Resumen

Las microalgas son organismos unicelulares capaces de crecer en forma autótrofa, consumiendo el dióxido de carbono (CO₂) ambiental, convirtiendo la energía solar en energía química y liberando oxígeno a la atmósfera. En este trabajo, se describe la construcción de un fotobiorreactor de columna a escala banco. Para el armado se tuvo en cuenta: la geometría y material, la disponibilidad de luz, la inyección de aire/CO₂, las válvulas para extracción de muestras y cosechado, entre otros aspectos técnicos importantes. El fotobiorreactor se instaló en la Bodega Casimiro Wines (Angaco, San Juan), acoplado a un tanque de 300L en fermentación con mosto de uva blanca y *Saccharomyces cerevisiae* comercial. Se llevó a cabo un modo de operación batch, por lo que el medio de cultivo y el inóculo (*Chlorella* sp., FAUBA-17) fueron agregados al inicio del bioproceso. La toma de muestras diaria permitió definir la cinética de crecimiento de la microalga, fundamental para el desarrollo de un modelo matemático. Se logró construir un fotobiorreactor de fácil operación y versátil, para ser implementado en bodegas/cerveceras boutique de San Juan, permitiendo reducir su huella de carbono, obteniendo vinos/cervezas sustentables. A futuro se pretende escalar el prototipo, para adaptarlo a fermentadores de mayor volumen. Este bioproceso permite obtener una biomasa microalgal con alto valor, impulsando el concepto de biorrefinería local, promoviendo la economía circular y el desarrollo social sostenible. Además, enfatiza la importancia de la colaboración interdisciplinaria entre científicos, ingenieros y empresarios propiciando la transferencia del conocimiento y la innovación en la industria sanjuanina.

Palabras clave: Microalgas; captura de CO₂; fotobiorreactor; cinética de crecimiento.

INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental generado por la actividad humana está siendo cada vez más visible: las emisiones mundiales de CO₂ de origen fósil aumentaron más del 60% en los últimos 30 años, además, se registró un incremento de la temperatura media global de 1.1°C colocando al periodo 2016-2020 en el más cálido registrado desde la época preindustrial (Canton, 2021). Para afrontar esta problemática, se debe reducir el 7% anual de las emisiones de CO₂ hasta el 2030. Sabiendo que la agricultura y la actividad industrial representan alrededor del 45% del total de emisiones de gases de efecto invernadero del mundo (EPA, 2022), una opción para mitigar estos efectos, es transformar la producción industrial tradicional, en alternativas verdes y sustentables basados en el concepto de Bioeconomía, el cual pretende mitigar los impactos negativos sobre el medio ambiente y los recursos naturales.

En la provincia de San Juan, la elaboración de vino representa una de las actividades que caracterizan a la

industria provincial, llegando a competir en el mercado internacional. Sin embargo, el mercado europeo está exigiendo sellos verdes para comercializar productos. Por lo tanto, para atender la emergencia medioambiental y los requerimientos de exportación, es inminente tomar medidas para reducir la huella de carbono. Para ello, se propone el uso de microalgas para capturar el CO₂ producido en la fermentación vínica como solución sustentable.

Las microalgas fueron los primeros microorganismos fotosintéticos del planeta, utilizando CO₂ y energía solar para su crecimiento. Poseen características tentadoras para su reproducción a escala: se reproducen a alta velocidad, capturando altas tasas de CO₂ y no requieren de tierras fértiles para ser cultivadas (Murwanashyaka et al., 2020); Retienen metales pesados y otros contaminantes, permitiendo la biorremediación de ecosistemas; la composición de su biomasa es rica en proteínas, aceites y antioxidantes (Mulumba and Farag, 2012). Todo esto permite

diversos usos finales: biocombustibles, alimentación, fármacos, entre otros (Tang et al., 2020, Jacob et al., 2021). Por tanto, se propone la vinculación con una Bodega de San Juan para promover la instalación de un fotobiorreactor a escala de banco, como puntapié inicial para la reducción de la huella de carbono.

OBJETIVOS

- i) Construir un fotobiorreactor para el cultivo autótrofo de microalgas.
- ii) Instalar y operar el fotobiorreactor en una bodega sanjuanina.
- iii) Determinar la cinética de crecimiento de *Chlorella sp.* (FAUBA-17)

MATERIALES Y MÉTODOS

- i) Construcción del fotobiorreactor.

En las instalaciones del Instituto de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan (IIQ-FI-UNSJ) se llevó a cabo la construcción de la unidad de biocaptura del CO₂ a escala de banco, integrado por:

- Dos fotobiorreactores tubulares verticales de 400mm de alto x 150mm de diámetro. Se utilizó policarbonato de 1mm para formar el cuerpo y de 3mm para las tapas superior e inferior. Además, se colocó tapas de acero de 3mm y varillas roscadas para darle refuerzo a la estructura. Cada fotobiorreactor disponía de: una entrada de mezcla aire/CO₂ estéril; *airlock* para la salida de gases; válvula para toma de muestras, y para carga y descarga.
- Sistema de distribución de aire: bomba de aire (capacidad de 110L/min), filtro de membrana para esterilizar el aire/CO₂ (50mm de diámetro y membrana de teflón de 0.22μm), manguera 3/8, unión T para mezclar el aire ambiente y el CO₂ de la fermentación, y válvula para regular el flujo de aire/CO₂ en cada fotobiorreactor.
- Estructura de soporte: armazón de caño de 30x30mm y malla metálica, con cuadro eléctrico y demás instalaciones eléctricas, bombas de carga/descarga y mangueras con válvulas de paso.
- Sistema de iluminación: cada reactor estaba rodeado por 6 fluorescentes LED (9Watts) de manera equidistante para permitir que la incidencia de la luz fuera homogénea (1200lux).

Se programó un fotoperiodo de 12:12h luz:oscuridad.

- ii) Instalación y operación del fotobiorreactor en la Bodega Casimiro Wines.

En el IIQ se preparó el medio de cultivo (Medio Basal de Bold (Gómez Jousse, 2021)), se propagó y activó el inóculo de *Chlorella sp.* (FAUBA-17) hasta llegar a una concentración de 1x10⁶ cél/mL (X₀).

Se trasladó el medio de cultivo, inóculo y el fotobiorreactor a la Bodega Casimiro Wines (Angaco, San Juan). Se eligió la sala de cava para llevar a cabo el experimento de biocaptura ya que se encontraba a temperatura constante de 18°C. Se mezclaron las soluciones estériles concentradas con agua (volumen final de 12L) y se esterilizó con lámpara germicida Uvc durante 20min. Se esterilizó el fotobiorreactor y cañerías con ácido peracético al 0.2% y luego se llenó con la mezcla del medio de cultivo e inóculo al 10%v/v. El fotobiorreactor se acopló al tanque de fermentación vínica de 300L utilizando un manómetro. Se trabajó con mosto de uva blanca inoculado con levadura *Saccharomyces cerevisiae* comercial (el proceso fermentativo fue operado por personal de la Bodega, midiendo temperatura y densidad en °Bé).

El fotobiorreactor se operó en modo *batch* y el proceso se llevó a cabo durante 16días.

- iii) Determinación de la cinética de crecimiento de *Chlorella sp.* (FAUBA-17).

Se llevó a cabo un muestreo diario de cada fotobiorreactor, midiendo biomasa seca por filtración (g/mL). Con los datos experimentales se construyó las curvas de crecimiento celular y se ajustó el Modelo de Primer Orden con Retardo (Groff et al., 2023), dado por la ecuación (1):

$$T_p \frac{dX(t)}{dt} + X(t) = X_m u(t - T_0) \quad (1)$$

Donde, X(t) es la variable de salida del sistema en función del tiempo, t; u(t) es la variable de entrada al sistema en función del tiempo; dX(t)/dt es la tasa de cambio de la variable de salida respecto al tiempo; T_p es la constante de tiempo del sistema (velocidad de la respuesta del sistema); X_m es la ganancia del sistema (biomasa máxima alcanzada), y T₀ es el retardo en la entrada al sistema (análogo a la fase de adaptación microbiana).

El ajuste del modelo se evaluó con el coeficiente de determinación r^2 , comúnmente usado en estadística y análisis de regresión (Groff et al., 2022). Se aplicó un algoritmo híbrido de búsqueda para definir el valor de los parámetros involucrados en el modelo, es decir, X_m , T_p y T_0 . Este algoritmo combina el Algoritmo de Monte Carlo con Algoritmo Genético (Fernández Puchol et al., 2019). El ajuste elegido será el que maximice la función objetivo (J), es decir, el r^2 más cercano a 1.

$$\max J = r^2 \quad (2)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El prototipo construido fue instalado y puesto en marcha sin ningún inconveniente. Fue notable el desarrollo de la biomasa con el pasar de los días, principalmente en el pico máximo de fermentación. Durante el proceso, se observaron puntos a mejorar en la geometría del equipo, entre ellos la distribución de la mezcla aire/ CO_2 y la válvula para toma de muestras. La Fig. 1 muestra el equipo instalado en la bodega:



Fig. 1: Fotobiorreactor instalado en Casimiro.

Los datos experimentales obtenidos durante el proceso y el ajuste del modelo se muestran en la Fig 2:

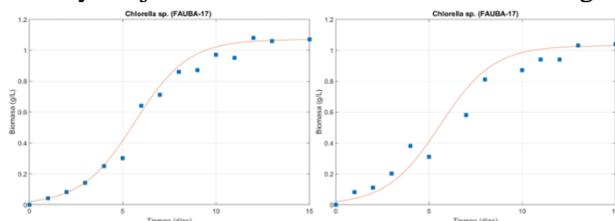


Fig. 2: Curvas experimentales de biomasa de microalgas vs. Ajuste. Izquierda reactor 1. Derecha reactor 2.

A partir de estas curvas experimentales se pudo ajustar el modelo matemático definido, luego de llevar a cabo la optimización paramétrica del modelo,

mediante el algoritmo híbrido diseñado, logrando una descripción apropiada para el comportamiento de las microalgas.

CONCLUSIONES

Este trabajo fue el puntapié inicial para el uso de microalgas en la industria sanjuanina. Los resultados optimistas despertaron el interés de distintos sectores industriales de la provincia (minerías y caleras). Se espera poder seguir mejorando los reactores, aumentar la escala de los mismos, aislar microalgas autóctonas para evitar inconvenientes por clima, y darle un uso comercial a la biomasa generada.

BIBLIOGRAFÍA

- Canton, H. 2021. World Meteorological Organization—WMO. *The Europa Directory of International Organizations 2021*. Routledge.
- Fernández Puchol, M. C., Pantano, M. N., Godoy, S., Serrano, M. E. & Scaglia, G. J. E. 2019. Optimización de parámetros utilizando los métodos de Monte Carlo y algoritmos evolutivos: Aplicación a un controlador de seguimiento de trayectoria en sistemas no lineales.
- Gómez Jousse, M. 2021. *Evaluación de la capacidad de remoción de metal en especies de algas aisladas de ambientes contaminados*. Universidad Nacional del Comahue. Centro Regional Universitario Bariloche.
- Groff, C., Kuchen, B., Gil, R., Fernández, C. & Scaglia, G. 2023. Application of the Luedeking and Piret with delay time model in bioproductions with non-zero kinetic parameters. *IEEE Latin America Transactions*, 21, 882-888.
- Groff, M. C., Scaglia, G., Ortiz, O. A. & Noriega, S. E. 2022. Modification of the Luedeking and Piret model with a delay time parameter for biotechnological lactic acid production. *Biotechnology Letters*, 44, 415-427.
- Jacob, J. M., Ravindran, R., Narayanan, M., Samuel, S. M., Pugazhendhi, A. & Kumar, G. 2021. Microalgae: A prospective low cost green alternative for nanoparticle synthesis. *Current opinion in environmental science & health*, 20, 100163.
- Mulumba, N. & Farag, I. H. 2012. Tubular photobioreactor for microalgae biodiesel production. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 4, 703-709.
- Murwanashyaka, T., Shen, L., Yang, Z., Chang, J.-S., Manirafasha, E., Ndikubwimana, T., Chen, C. & Lu, Y. 2020. Kinetic modelling of heterotrophic microalgae culture in wastewater: Storage molecule generation and pollutants mitigation. *Biochemical engineering journal*, 157, 107523.
- Tang, D. Y. Y., Khoo, K. S., Chew, K. W., Tao, Y., Ho, S.-H. & Show, P. L. 2020. Potential utilization of bioproducts from microalgae for the quality enhancement of natural products. *Bioresource technology*, 304, 122997.