

MEJORA DE LA PRODUCCIÓN DEL ALGA *SCENEDESMUS ALMERIENSIS* MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DE LOS CICLOS DE LUZ/OSCURIDAD

M. Barceló-Villalobos¹, F. G. Ación Fernández², J.M. Fernández-Sevilla², J. L. Guzmán Sánchez¹, Francisco Rodríguez Díaz¹

¹ Departamento de Informática, Universidad de Almería

² Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Almería
E04120 Almería (España); mbarcelovillalobos@gmail.com

Palabras clave: microalga, luz, reactor abierto, industrial, fertilizantes

El presente trabajo tiene por objetivo optimizar el proceso de fotosíntesis de las algas para, como consecuencia, mejorar la producción de biomasa en reactores abiertos. Para este propósito, se llevaron a cabo distintos ensayos tomando muestras de un reactor de 100 m² a diferentes horas a lo largo del día. Las muestras fueron tratadas con distintos ciclos de luz/oscuridad, cambiando la duración del ciclo, y el porcentaje de luz inducido. De este modo, podemos conocer cuáles son las condiciones óptimas de operación del reactor, que ayuden a asimilar mejor la luz y como consecuencia, se obtenga una mejora en la producción de la biomasa. La metodología utilizada, mediante un equipamiento de medida de producción de oxígeno on-line, permite medir la influencia de la luz en la producción de biomasa, y conocer cómo la variación del ciclo luz/oscuridad puede afectar a la productividad del reactor. Como resultado, se obtiene una mejora de la producción cuando la luz incidente llega como mínimo al 30% de la columna de agua, lo cual se traduce en alturas del cultivo menores de 15 cm. Por otro lado, se ha demostrado que los ciclos cortos, de cuatro segundos, son los que permiten una mejor respuesta en la producción de oxígeno (g min⁻¹). Siendo el ciclo 3/1 la mejor opción de cara a trabajar con reactores abiertos. Además, si comparamos los resultados con los datos reales obtenidos en un reactor que funciona con una altura de cultivo 15 cm y a una velocidad de las palas de 35 Hz, vemos cómo mejora la respuesta fotosintética del mismo. Serán necesarios realizar futuros trabajos para conocer cuáles son las condiciones óptimas de altura de cultivo y velocidad de las palas para obtener una alta productividad en el reactor.

INTRODUCCIÓN

Estudios anteriores demuestran la existencia de una necesidad de mejora del diseño y la metodología de escalado de los foto-biorreactores (Molina Grima et al. 1999). Para ello, se hace imprescindible proveer al cultivo de una efectiva y eficiente fuente de luz para obtener un adecuado desarrollo de la producción de microalga a escala industrial. Las mayores tasas de crecimiento y productividad de biomasa únicamente pueden llevarse a cabo bajo el uso eficiente de la radiación solar, asegurando las condiciones de saturación de nutrientes (García-Malea et al. 2005).

Debido a que es complicado regular el suministro de radiación solar incidente en reactores abiertos, los ciclos de luz/oscuridad podrían ser optimizados a través de la

mejora del diseño y de la operatividad del reactor. Este trabajo tiene por objetivo definir cuál es el óptimo ciclo de luz/oscuridad bajo el cual debe operar el reactor para maximizar la productividad del mismo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Microorganismo

La cepa de microalga utilizada fue *Scenedesmus almeriensis* (CCAP 276/24). Ésta fue cultivada con el medio Mean and Myers preparado a partir de fertilizantes en lugar de productos químicos purificados. El cultivo fue controlado a pH 8 mediante un controlador basado en eventos.

Diseño experimental

García-Camacho demuestra en su trabajo que es posible evaluar la tasa fotosintética mediante la medida de la generación de oxígeno (García-Camacho et al. 2012). Para lo cual, el Departamento de Ingeniería Química ha desarrollado un instrumento de medida.

El diseño experimental consta de un total de 172 muestras de 80 mL tomadas de un reactor abierto de 100 m². Estas muestras fueron tomadas a diferentes horas del día a lo largo de seis meses. Dichas muestras fueron tratadas con distintos ciclos de luz/oscuridad en el “instrumento de tasa fotosintética” construido para tal fin (1/3, 2/2, 2/6, 3/1, 4/0, 4/12, 8/24). Los ciclos corresponden a segundos en luz/ oscuridad, siendo el 1/3, 1 segundo de luz / 3 segundos de oscuridad, y así sucesivamente.

El reactor fue expuesto a las mismas condiciones de temperatura y tasa de dilución a lo largo del experimento (datos no mostrados).

Caracterización de la tasa fotosintética

Dos parámetros fueron analizados dentro del cultivo: oxígeno disuelto y radiación. La intensidad de luz impuesta a las lámparas del instrumento de tasa fotosintética fue calculada de la siguiente manera:

Irradiancia promedio del cultivo del reactor (I_{av_fuera}) = Irradiancia promedio de la muestra dentro del instrumento de tasa fotosintética ($I_{av_laboratorio}$)
(Ecuación 1)

$$I_{av_fuera} = (I_0/p \times Ka \times 1000) \times (1 - \exp(-p \times Cb \times Ka \times 1000)) \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$I_{av_laboratorio} = I_{lámpara} \times \left(\frac{t_{luz}}{t_{luz} + t_{oscuridad}} \right) \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$I_{lámpara} = [I_{av_fuera} \times (t_{luz} + t_{oscuridad})] \div (t_{luz}) \quad (\text{Ecuación 4})$$

La irradiancia promedio del cultivo del reactor calculada como una función de la irradiancia en la superficie del cultivo (I_0), el coeficiente de extinción de la luz (Ka), la

concentración de biomasa (C_b) y el recorrido de la luz dentro del reactor (p) (Ecuación 2).

La irradiancia promedio en el laboratorio fue calculada como una función de la irradiancia de la lámpara (I lámpara), y el tiempo de exposición a la luz y a la oscuridad en segundos (t luz, t oscuridad) (Ecuación 3).

Una vez seleccionados los parámetros de: intensidad de lámpara, tiempo de luz, y tiempo de oscuridad, dejamos la muestra en constante agitación dentro del instrumento creado para tal fin, y registramos las medidas de oxígeno disuelto (mg L^{-1}) y de radiación dentro de la muestra ($\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante el tiempo máximo de una hora.

Previamente, todas las muestras fueron aireadas hasta conseguir una saturación 100% de oxígeno disuelto. De este modo, nos aseguramos de que todas las muestras parten de las mismas condiciones iniciales de oxígeno. De tal manera, que las diferencias encontradas solo se deban a las condiciones de luz / oscuridad impuestas.

Instrumento de tasa fotosintética

Un instrumento de medida de tasa fotosintética fue construido por el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Almería para desarrollar el objetivo del presente trabajo. El instrumento consta de distintos sensores: pH, oxígeno disuelto, y temperatura (Instrumentos Crison, España), conectados a una unidad de control (MM44, Instrumentos Crison, España), así como a un software de adquisición de datos (DAQFactory, Labjack) para tener un completo monitoreo y control del experimento. Se utilizó un set point de pH 8.0 para asegurar las condiciones óptimas de medida de tasa fotosintética en $\text{g de O}_2 \text{min}^{-1}$.

Análisis estadístico

Los efectos de la duración del ciclo, radiación solar, porcentaje de luz y tipo de ciclo, fueron analizados mediante un Análisis de Varianza (ANOVA). Cuando los resultados indicaron diferencias significativas, el test de comparación múltiple Newman-Keuls fue llevado a cabo. En todos los casos se obtuvo un nivel de significancia del 95% ($p < 0.05$). Se ha utilizado el software Statistica v.7 para llevar a cabo el análisis estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La intensidad de luz emitida por las lámparas fue de $400 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ como máximo, en todas las muestras. De esta manera, evitamos el fenómeno de fotoinhibición. En este caso, todas las curvas alcanzan el plato de saturación, correspondiendo con la tasa máxima de fotosíntesis (Merchuk et al., 2011)

Las medidas de oxígeno disuelto fueron tomadas cada minuto a lo largo de una hora máximo (Datos no mostrados). Con estas medidas, se ha determinado la tasa fotosintética ($\text{g de O}_2 \text{min}^{-1}$). No se encontraron diferencias significativas respecto a la duración del ensayo (40-60 minutos) en cada uno de los ciclos evaluados (MS 749.52; F 2.48; $p > 0.06$).

Estudios previos han demostrado que tanto la disponibilidad como la intensidad de la luz son los principales factores que controlan la productividad de los cultivos fotosintéticos (Molina Grima et al. 1999). Se hallaron diferencias significativas respecto a la influencia de la proporción de luz (Fig.1), (MS 2241.14; F 11.37; $p < 0.01$). siendo el óptimo un porcentaje mayor del 75%. Además, se hallaron diferencias significativas respecto a la duración del ciclo (4, 8, 16, 32 segundos) (Fig. 2). A la vista de los resultados, se proponen el uso de ciclos largos a primera hora de la mañana (radiación promedio dentro del cultivo $< 40 \text{ W m}^{-2}$), y cortos cuando la radiación sea mayor que ésta. Para finalizar, en el presente trabajo se demuestra que sí es posible mejorar la productividad del sistema modificando la duración del ciclo (Fig. 3). Serán necesarios futuros estudios para conocer cuáles son las condiciones óptimas de operación del cultivo de profundidad y velocidad del fluido.

La metodología utilizada permite medir la influencia de la luz en la producción de biomasa, y conocer cómo el tipo de ciclo luz / oscuridad puede afectar a la productividad del reactor. El presente trabajo demuestra una mejora en la productividad del sistema cuando se utilizan ciclos cortos 3/1. Serán necesarios realizar futuros estudios que relacionen dichos ciclos con la velocidad de las palas y con la altura del cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (DPI2014-55932-C2-1-R and CTQ2014-57293-C3-1-R EDARSOL).

REFERENCIAS

- García-Camacho, F., A. Sánchez-Mirón, E. Molina-Grima, F. Camacho-Rubio, and J. C. Merchuck. 2012. A Mechanistic Model of Photosynthesis in Microalgae Including Photoacclimation Dynamics. *J. Theor. Biol.* 304:1–15.
- García-Malea, M. C. et al. 2005. Modelling of Growth and Accumulation of Carotenoids in *Haematococcus Pluvialis* as a Function of Irradiance and Nutrients Supply. *Biochem. Eng. J.* 26(2–3):107–14.
- Merchuk, J. C. and and Molina Grima E. Sheva, B, García-Camacho F. 2011. *Photobioreactors – Models of Photosynthesis and Related Effects*. Second Edi. Elsevier B.V. Retrieved
- Molina Grima, E., F. G. Ación Fernández, F. García Camacho, and Yusuf Chisti. 1999. Photobioreactors: Light Regime, Mass Transfer, and Scaleup. *Prog. Ind. M.* 35(C):231–47.

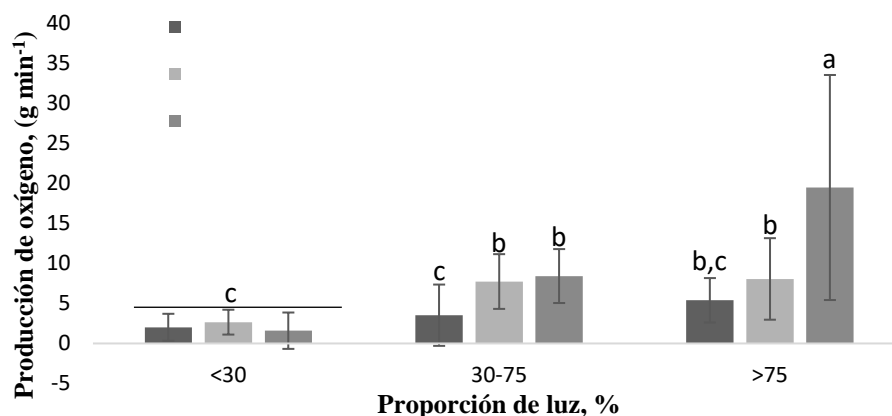


Figura 21. Producción de oxígeno (g O₂ min⁻¹) utilizando tres proporciones de luz (<30, 30-75, >75%) a distintos tratamientos de irradiancia promedio dentro del cultivo (W m⁻²). No se observaron diferencias significativas en los ciclos con proporción de luz menos del 30 %. Los datos se representan como media ± DE (n=172). Las diferentes letras indican diferencias significativas de acuerdo al test de Newman-Keuls

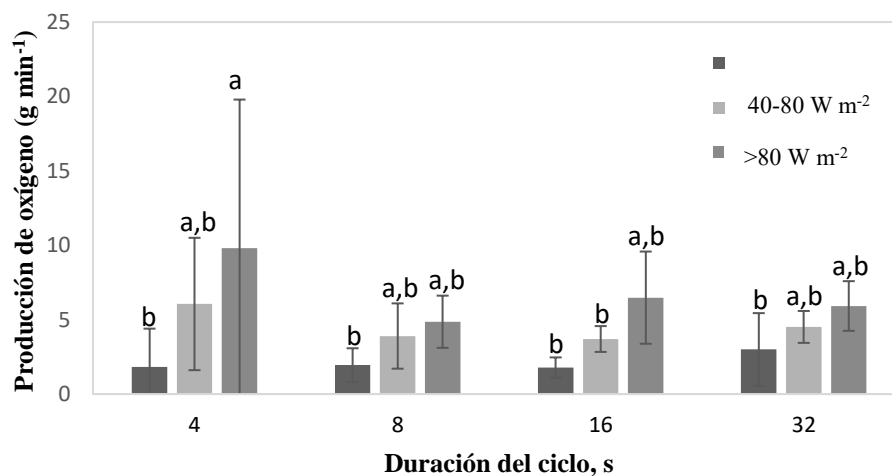


Figura 22. Producción de oxígeno (g min⁻¹) analizada a diferentes irradiancias promedios dentro del cultivo (W m⁻²) en los cuatro ciclos ensayados (4,8,16,32) en el instrumento de tasa fotosintética. Los datos se representan como la media ± DE (n=172). Las diferentes letras indican diferencias significativas de acuerdo al test de Newman-Keuls.

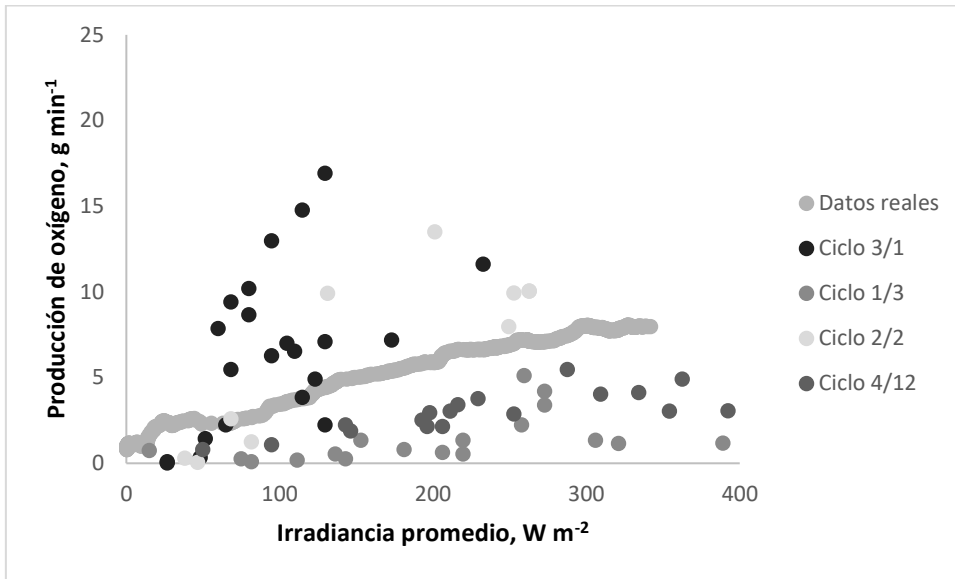


Figura 23. Comparación de la capacidad fotosintética de la biomasa ($\text{g O}_2 \text{ min}^{-1}$) de un reactor de 100 m^2 (datos reales) respecto al uso de distintos ciclos de luz/oscuridad (Ciclos 3/1 4/12, 2/2 y 1/3).



**FEBRERO
2018**

ACTAS DE HORTICULTURA

78

Sociedad Española de Ciencias Hortícolas

**III SYMPOSIUM NACIONAL
DE INGENIERÍA HORTÍCOLA**

**I SYMPOSIUM IBÉRICO
DE INGENIERÍA HORTÍCOLA**

**Colección de Actas de Horticultura
(Sociedad Española de Ciencias Hortícolas)**

**Editores:
Javier J. Cancela Barrio
Xesús Pablo González Vázquez**

**LUGO
21-23 de febrero de 2018**

III Symposium Nacional de Ingeniería Hortícola, I Symposium Ibérico de la SECH, 21-23 de febrero de 2018, Lugo

Editores:

Javier J. Cancela Barrio, Universidad de Santiago de Compostela
Xesús Pablo González Vázquez, Universidad de Santiago de Compostela

Documento Impreso, 412 p + Memoria externa, 412 p.

Disponible en formato PDF

(Actas de Horticultura / Sociedad Española de Ciencias Hortícolas, Comunicaciones 78)

ISBN: 978-84-697-9314-5

Colección Actas de Horticultura (Sociedad Española de Ciencias Hortícolas)

Primera edición: febrero 2018

Universidad de Santiago de Compostela
Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Lugo
PROEPLA & AMGEO
Rúa Benigno Ledo s/n
27002 Lugo

Impreso en España – Printed in Spain

Ninguna parte de esta publicación, incluyendo el diseño general y el de cubierta, puede ser copiado, reproducido, almacenado o transmitido de ninguna manera ni por ningún medio, tanto si es eléctrico, como químico, mecánico, óptico, de grabación, de fotocopia, o por otros métodos, sin la autorización previa por escrito de los titulares del Copyright.

Los editores no se responsabilizan del contenido de las publicaciones, siendo responsable de cada acta los autores correspondientes.

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES EN EL LISÍMETRO ENTERRADO LP2 228
 A. González-Rodríguez, F.J. Cánovas-Rodríguez, C. Jiménez-Carvajal, D. Parras Burgos, A. Ruiz-Canales y J.M. Molina-Martínez

DISEÑO DEL PROCESO DE MUESTREO. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL DEPÓSITO DE DRENAJE Y DEL RECIPIENTE DE EVACUACIÓN DEL AGUA DRENADA EN UN LISÍMETRO DE PESADA COMPACTO 233
 J.A. Nicolás-Cuevas, D. Parras-Burgos, L. Ruíz-Peñalver, A. Ruiz-Canales y J.M. Molina-Martínez

RECONOCIMIENTO Y LOCALIZACIÓN AUTOMÁTICA DE PATRONES DE CULTIVO EN IMÁGENES AÉREAS DE LAS PLANTACIONES 238
 G. García-Mateos, M.V. Carrión-Morales, J.M. Molina-Martínez

SECCIÓN V. MODELADO Y SIMULACIÓN

MODELADO BASADO EN EL PARADIGMA DE LOS ENERGY HUBS DE UNA EXPLOTACIÓN AGRARIA BAJO INVERNADERO CON APOYO DE ENERGÍAS RENOVABLES 244
 J. Ramos Teodoro, F. Rodríguez Díaz y M. Berenguel Soria

GREENHOUSE DISEASE WARNING MODEL: ONE CASE IS GREY LEAF SPOT ON TOMATO 250
 H. Wang, J.A. Sanchez-Molina, M. Li, F. Rodríguez y J.L. Guzman

ANÁLISIS MULTITEMPORAL PARA LA MODELIZACIÓN DE LA VARIACIÓN ESPACIAL DEL CONTENIDO EN AZÚCARES DE LA UVA EN VIÑEDO MEDIANTE INTERPOLACIÓN ESPACIAL 255
 A.B. González-Fernández, J.R. Rodríguez-Pérez, M. García-Fernández, V. Marcelo-Gabella y E. Sanz-Ablanedo

SISTEMA DE CUBIERTA FLOTANTE PARA EL CONTROL DE LA EVAPORACIÓN EN BALSAS DE RIEGO. CASO DE ESTUDIO EN UNA ZONA SEMIÁRIDA DEL SURESTE DE ESPAÑA 260
 J. Chazarra Zapata, F. López Peñalver, J.M. Molina Martínez y A. Ruiz Canales

EVALUACIÓN DEL MODELO DE BALANCE DE AGUA EN SUELO RIEGO-ASESOR: APLICACIÓN PRÁCTICA SOBRE UN CULTIVO DE ESCAROLA EN EL SURESTE DE ESPAÑA 264
 J.S. Rubio-Asensio, J.M. Ramírez-Cuesta, J.M. Mirás-Avalos, I. Buesa, J.F. Maestre-Valero, D.S. Intrigliolo

MEJORA DE LA PRODUCCIÓN DEL ALGA SCENEDESMUS ALMERIENSIS MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DE LOS CICLOS DE LUZ/OSCURIDAD 269
 M. Barceló-Villalobos, F.G. Ación Fernández, J.M. Fernández-Sevilla, J.L. Guzmán Sánchez y Francisco Rodríguez Díaz

MODELADO DEL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DE APOORTE DE CO2 EN INVERNADEROS, RECUPERADO A PARTIR DE GASES DE COMBUSTIÓN DE BIOMASA 275
 J.V. Reinoso Moreno, J.A. Sánchez Molina, M.D. Fernández Fernández, J.C. López Hernández y F.G. Ación Fernández