ISSN 1870-4069

Sistema fotovoltaico autónomo (SFA) y monitoreo IoT en la producción de Arthrospira platensis out-door

Daniela Michel Baltazar-Navarrete, Andrea Giovanna Lira-Morales, Jennifer Arredondo-Delgado, Juan de Dios Ortiz-Alvarado, Juan Carlos Rodríguez-Sierra

Instituto Politécnico Nacional,
UPIIG,
México

jurodriguezs@ipn.mx

Resumen. Debido a la gran cantidad de metabolitos, el cultivo de microalgas y cianobacterias ha ido ganando importancia en todos los sectores. La producción de biomasa en sistemas abiertos es la más económica, ya que conlleva menores costos de inversión y mantenimiento en comparación con los cultivos en sistemas cerrados. Sin embargo, el rendimiento en la producción es considerablemente menor. En la búsqueda de optimizar dicho proceso a bajo costo, se diseñó y construyó un sistema de invernaderos con tecnología de cubierta en pequeña escala. Además, se desarrolló e implementó un sistema fotovoltaico autónomo (SFA), através del uso de paneles solares, y el uso de la IoT. El sistema cuenta con un mecanismo de agitación y monitoreo automático, donde se observan los factores ambientales fundamentales para el crecimiento de *A. platensis*. Con las lecturas obtenidas por los sensores se identificó las condiciones de temperatura e intensidad lumínica a nivel invernadero para el desarrollo en producción de biomasa.

Palabas clave: IoT, Cianobacteria, Arthrospira platensis.

Autonomous Photovoltaic System (SFA) and IoT Monitoring in the Production of Arthrospira Platensis Out-Door

Abstract. Due to the large amount of metabolites, the cultivation of microalgae and cyanobacteria has been gaining importance in all sectors. Biomass production in open systems is the most economical, since it entails lower investment and maintenance costs compared to cultivation in closed systems. However, the production yield is considerably lower. In the search to optimize this process at low cost, a greenhouse system with small scale roof technology was designed and built. In addition, an autonomous photovoltaic system (SFA) was developed and implemented, through the use of solar panels, and the use of IoT. The system has an automatic stirring and monitoring mechanism, where the

fundamental environmental factors for the growth of A. platensis are observed. With the readings obtained by the sensors, the conditions of temperature and light intensity at the greenhouse level were identified for the development of biomass production.

Keywords: IoT, cyanobacteria, Arthrospira platensis.

1. Introducción

La producción de fuentes alternativas de alimento ha tomado gran relevancia en los países que tienen grandes problemas de desnutrición. La espirulina (*Arthrospira platensis.),* es un ejemplo de tales alternativas, ya que, además de sus propiedades nutritivas (bajo contenido calórico y elevado porcentaje de proteínas de 50% a 70%), su cultivo conlleva pocas dificultades [1].

Algunos de los factores que más influyen en la producción de biomasa y deben mantenerse dentro de los rangos son: la intensidad lumínica, la temperatura, el pH, la agitación y contaminación [2]. En el cultivo de micro algas los sistemas cerrados son económicamente más caros que los abiertos, ya que conlleva altos costos de inversión en su diseño, construcción, mantenimiento y operación.

Mientras que el cultivo en sistemas abiertos tiene un coste de instalación y operación bajo, pero no lleva tanto control; lo que trae condiciones de cultivo adversas, contaminación, difícil control de la concentración de nutrientes y de la temperatura. En consecuencia, estas condicionantes traen una producción de biomasa menor [3].

Los invernaderos con túnel geodésicos tienen mayor capacidad para el control de los factores climáticos, buen reparto de la luminosidad en el interior del invernadero y gran resistencia a fuertes vientos [4].

La energía solar fotovoltaica funcional al incidir la radiación del sol sobre una de las caras de una célula fotoeléctrica, que conforman los paneles, se produce una diferencia de potencial eléctrico entre ambas caras que hace que los electrones salten de un lugar a otro, generando así corriente eléctrica. Esta energía eléctrica contribuye al desarrollo sostenible y no contamina [2].

El Internet de las Cosas (IoT) es la tecnología que une la acción de monitorear objetos con el envío a dispositivos de los datos obtenidos. ThingSpeak es una plataforma de IoT, por medio esta podemos almacenar y recolectar datos a través de una red de área local o de Internet.

También nos permite la creación de aplicaciones de localización de posicionamiento, aplicaciones de registro de sensores, y una red social con notificaciones de las actualizaciones de estado. Esta plataforma puede interactuar con programas y paquetes matemáticos como MatLab®, Freescale® y Arduino® [5].

El objetivo de este trabajo es diseñar e implementar un sistema de producción de biomasa con energía fotovoltaica en un invernadero a pequeña escala empleando sistemas de monitoreo IoT.

Tabla 1. Dimensiones de base y biorreactor.

	Base	**Biorreactor**
Largo(*m*)	1.37	0.8
Ancho (*m*)	0.9	0.6
Alto (*m*)	0.1	0.2

Tabla 2. Dimensiones y elementos del túnel geodésico.

Propiedad			**Longitud (cm)**
Altura de la cúpula de túnel			70
Ancho de la cúpula de túnel			90
Longitud del perímetro de la cúpula del túnel			4.24
Cantidad	**Tipo de puntal**	**Color**	**Longitud (cm)**
61	A	Azul	27
26	B	Negro	26
30	C	Rojo	23
8	D	Amarillo	26.2

2. Metodología

2.1. Diseño y construcción del sistema de producción

Base y biorreactor. La base del invernadero consistió en una tarima de madera. Sobre la base, se construyó un estanque de madera recubierta con plástico con un volumen de operación de 90 L como biorreactor de producción de biomasa, ambas medidas se muestran en la Tabla 1.

Túnel geodésico. Se diseñó un túnel de frecuencia 3V. El software Inventor realizó el cálculo de la estructura del invernadero a escala 1:100. La calculadora Zip Tie Domes © 2022 del sitioweb Zip Domes LLC [6] determinó las dimensiones del túnel y los elementos necesarios para la construcción del túnel (ver Tabla 2). Adicionalmente el software también muestro los puntos que se requieren para los triángulos en la cúpula. Con estos datos seconstruyó la estructura del invernadero del sistema de producción (ver Fig. 1). En cadasistema de producción se le instaló diferente tecnología en su cubierta externa: blanco 50% sombra, térmico 20% sombra y verde clorofila 25% sombra. Adicionalmente todos los sistemas fueron acondicionados internamente con maya sombra al 50%.

2.2. Sistema fotovoltaico autónomo

El sistema fotovoltaico autónomo (SFA) fue incorporado al sistema de producción de acuerdo con [3]. El SFA fue constituido de las siguientes partes: un panel solar, un sistema de agitación, almacenamiento de energía y el sistema de monitoreo. El panel solar tiene una capacidad de 6W el cual suministró la energía para el sistema de agitación y el almacenamiento. El sistema de aireación fue conformado por una bomba de aire de 6V, el cual funcionó únicamente durante el periodo de luz para dar mezclado

Fig. 1. Fotografía del sistema de producción: a) Estructura del invernadero, b) Biorreactor sobre su base, c) Invernadero con cubierta externa blanco 50% sombra.

Fig. 2. Visualización interfaz gráfica remota de 24 horas en ThingSpeak de 1) Temperatura, 2) pH 3) intensidad lumínica, del sistema de invernadero con cubierta blanca al 50%. (ThingSpeak.com).

neumático al cultivo. En cuanto al sistema de acumulación, este consta de baterías recargables de litio 18650 de 3.7V con un módulo de carga TP4066 para suministrar energía al sistema de monitoreo.

Sistema de monitoreo IoT. Los sensores para monitoreo fueron 3: sensor de temperatura (DS18B20), el sensor depH (PH-4502C), el sensor de intensidad lumínica (bh1750). El sistema de monitoreo usó el controlador ESP32 para acoplar los sensores, las mediciones y la conexión IoT. Los tres sensores funcionaron las 24 horas. Sin embargo, el controlador operó en estadode bajo consumo y se activó a modo normal por aproximadamente 1 minuto cada mediahora para la adquisición y envío de datos.

La adquisición de datos se llevó a cabo cada media hora y durante 21 días se obtuvieron datos para cada sistema de producción. Por medio de la plataforma ThingSpeak de código abierto de internet de los objetos de aplicación (IO) y la API de almacenamiento de datos, se recuperaron los datos y los gráficos para un posterior análisis.

3. Resultados y discusión

Con los datos registrados en la plataforma ThingSpeak se observaron los intervalos deoperación de cada sistema, como lo muestra la Figura 2. Las temperaturas máximas quealcanzaron fueron: cubierta blanca al 50% de 38°C, cubierta térmica de 37°C y

cubiertaverde clorofila de 32°C. Los valores observados de pH en los primeros días se encuentran en valores de 8, y conforme el cultivo va progresando el valor se aproxima valoresde 11; de acuerdo con Tanaka y colaboradores en 2020 [7] la temperatura óptima de crecimiento de *A. platensis* es de 35°C y el pH no mayor a 11. Dos de los sistemas de producción sobrepasan la temperatura optima de crecimiento por 2°C, sin embargo, nose afecta el crecimiento del cultivo ya que la producción de *A. platensis.* se ve perjudicada a temperaturas mayores a 40°C [3].

Por otro lado, se encontró que los valores de intensidad lumínica máximos que reciben los sistemas de producción son los siguientes: cubierta blanca 50% con 47 kLux, cubierta térmica 20% con 45 kLux y cubierta verdeclorofila 25% con 24 kLux. Con los datos observados podría sugerirse que el mejor sistema de producción es de la cubierta verde clorofila, sin embargo, la iluminación queprovee a las células está por debajo de la intensidad lumínica referida como óptima de30 a 50 kLux de acuerdo con Licett en 2014 [8].

4. Conclusiones

Las tecnologías de cubiertas empleadas son capaces de proveer las condiciones adecuadas de intensidad lumínica requerida por *A. platensis* para su crecimiento. Por las mediciones de temperatura y pH registradas en el sistema de monitoreo IoT, la temperatura que alcanzan los sistemas de invernaderos no llega a ser perjudicial para el cultivo de *A. platensis.* El sistema fotovoltaico autónomo desempeño un papel fundamental en la operación de los sistemas productivos para que el sistema de agitación y el sistema de monitoreo IoT funcionaran correctamente.

Referencias

1. Ramírez-Moreno, L., Olvera-Ramírez, R.: Uso tradicional y actual de Spirulina sp. (Arthrospira sp.). Interciencia, vol. 31, no. 9, pp. 657–663 (2006)
2. Martínez, T., Romantchik, E., Betanzos, F., Contreras, E., Martínez, R., Poblano, E. S.: Metodología para la selección de sistemas fotovoltaicos a invernaderos y su aplicación. Ingeniería Agrícola y Biosistemas, vol. 6, no. 1, pp. 15–30 (2014)
3. Kumar, M., Kulshreshtha, J., Singh, G.: Growth and biopigment accumulation of cyanobacterium Spirulina platensis at different light intensities and temperature. Brazilian Journal of Microbiology, vol. 42, no. 3, pp. 1128–1135 (2020)
4. Rodriguez-Sotelo, J. L., Lopez-Londoño, A., Vega-Botero, C. A., Flores-Hurtado, R. D.: Sistema de monitoreo y control remoto usando IOT para un regulador de presión. Scientia et technica, vol. 22, no. 4, pp. 391–397 (2017)
5. Zip Tie Domes. https://www.ziptiedomes.com/index.htm
6. Tanaka, K., Kishi, M., Assaye, H., Toda, T.: Low temperatures in dark period affect biomass productivity of a cyanobacterium Arthrospira platensis. Algal Research, vol. 52, no. 1 (2020)
7. Licett, B., Guevara, M., Lemus, N., Freites, L., Romero, L., Lodeiros, C., Arredondo, B.: Crecimiento y composición bioquímica de *Arthrospira platensis* (division cyanophyta) cultivada a diferentes salinidades y fuentes de nitrógeno. Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, vol. 53, no. 1, pp. 3–13 (2014)