



Yura: Relaciones internacionales

Departamento de Ciencias Económicas, Administrativas y de Comercio

Revista electrónica ISSN: 1390-938x

N° 36: Octubre – diciembre 2023.

Estudio de la eficiencia de los sistemas de agitación fijo y móvil para la producción de espirulina en el Colegio Intercultural Bilingüe Jatari Unancha del Cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, Ecuador. pp. 15 - 26

Tapia Zurita, Edison Gustavo; Tapia Zurita, Melton Edmundo.

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Sangolquí - Ecuador

Av. General Rumiñahui S/N, Sangolquí 171103.

egtapia2@espe.edu.ec; metapia@espe.edu.ec.

Estudio de la eficiencia de los sistemas de agitación fijo y móvil para la producción de espirulina en el Colegio Intercultural Bilingüe Jatari Unancha del Cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, Ecuador.

*Tapia Zurita, Edison Gustavo; Tapia Zurita, Melton Edmundo.
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.*

egtapia2@espe.edu.ec; metapia@espe.edu.ec; macesen@espe.edu.ec.

Resumen

El presente trabajo de investigación consistió en desarrollar dos sistemas de oxigenación (uno móvil y uno fijo) para piscinas de producción de espirulina ubicadas en el Colegio Intercultural Bilingüe Jatari Unancha del Cantón Pujilí en la provincia de Cotopaxi. Se realizó el diseño, se fabricó y se los instaló en sitio para posteriormente proceder con las pruebas correspondientes a fin de determinar la eficacia de los dos mecanismos mediante la medición de niveles de oxígeno y la observación de la dispersión de células de espirulina en el agua. Los resultados obtenidos arrojaron datos satisfactorios que demuestran que los sistemas instalados cumplen con el objetivo inicialmente planteado, llevando a niveles homogéneos de oxígeno en toda la piscina; haciendo un análisis individual de ambos sistemas, se pudo determinar una mejor eficiencia en el sistema de oxigenación móvil, pero en términos generales podemos concluir que ambos sistemas ayudan satisfactoriamente a mejorar el proceso productivo de la espirulina.

Palabras clave

Espirulina, oxigenación, agitador, fotosíntesis, algas, organismos unicelulares.

Abstract

The present research work, consisted in developing two oxygenation systems for spirulina production pools which are located at Jatari Unancha Bilingual Intercultural School, Pujilí city, province of Cotopaxi. Design and fabrication of both systems were done for subsequently installation at site in order to make tests and determine the effectiveness of the two mechanisms by oxygen level's measuring and observing the dispersion of spirulina cells in the water. The obtained data results, demonstrate that both systems meet the initially stated objective, leading to homogeneous oxygen levels throughout the pool; by doing an individual analysis of both systems, it was possible to determine better efficiency in the mobile oxygenation system, but in general terms, we can conclude that both systems help to improve the spirulina production process in a satisfactory way.

Keywords

Spirulina, oxygenation, shaker, photosynthesis, algae, unicellular organisms.

La espirulina actualmente es considerada como un superalimento ya que presenta un alto contenido de minerales y vitaminas que ayudan al desarrollo de las personas que lo consumen, este producto es útil en sectores de la población que tienen problemas de desnutrición; en el caso de Ecuador, según el INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos), el 20.1% de los niños presentan desnutrición crónica infantil, siendo la región sierra la que presenta mayor porcentaje, 27.7%. Hablando de comunidades del sector indígena, los datos indican que alrededor del 33.4% de los niños presentan este problema.

El Colegio Intercultural Bilingüe Jatari Unancha trabaja con comunidades indígenas asentadas en las provincias de Pichincha y Cotopaxi, capacita en áreas técnicas y oficios a personas que en un 100% provienen de comunidades en situación de vulnerabilidad y que presentan serias condiciones de desnutrición. En esta institución educativa vienen cultivando este producto con la finalidad de alimentar a los estudiantes y de esta manera mejorar sus condiciones de aprendizaje y de vida; para ello, se está trabajando en mejorar la eficiencia de la producción de espirulina, la cual depende de una serie de factores que mediante sistemas automatizados pueden controlarse.

La agitación del agua contribuye con el control de los parámetros de trabajo como niveles de oxígeno y concentraciones homogéneas del alga, además permite que todas reciban la cantidad de luminosidad suficiente para que puedan realizar el proceso de fotosíntesis y que los nutrientes se puedan mezclar de manera uniforme. Existen distintos tipos de sistemas de agitación dependiendo del tipo de medio en el que se cultive la espirulina, siendo los más comunes: tanques Raceway, circulares e inclinados; bombas, brazos mecánicos y agitadores de paletas.

Para los agitadores de paletas, la velocidad de agitación debe estar en el rango de 5.1 a 10.5 [m/s], velocidades mayores podrían contribuir a la desintegración del organismo sobre el cual se trabaja (Middelberg, 1995). El sistema de agitación debe funcionar en intervalos de quince a treinta minutos en los momentos de mayor radiación solar o de una a tres horas al día (Cruz Woo, 2022).

Este estudio de investigación profundiza acerca del desempeño de los agitadores de tipo fijo y tipo móvil con el objetivo de mejorar la producción de espirulina.

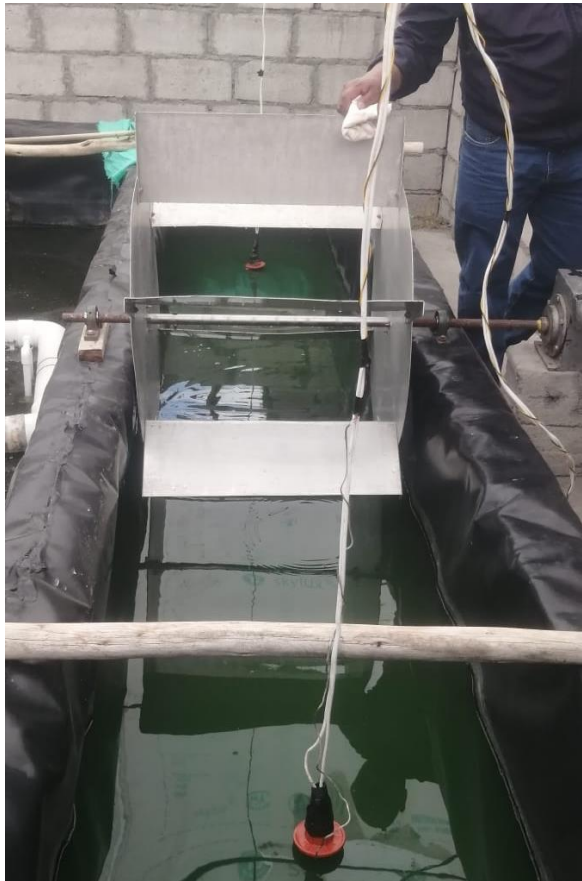
Materiales y Métodos

Para las pruebas se utilizaron 2 sistemas de agitación, uno fijo de paletas y otro móvil (que circula a lo largo de la piscina).

El sistema fijo mostrado en la figura 1 consiste en un rotor accionado por un motor de corriente continua de 12 voltios y controlado mediante un Arduino en sus tiempos de giro y paro.

Figura 1

Agitador fijo instalado en la piscina de espirulina



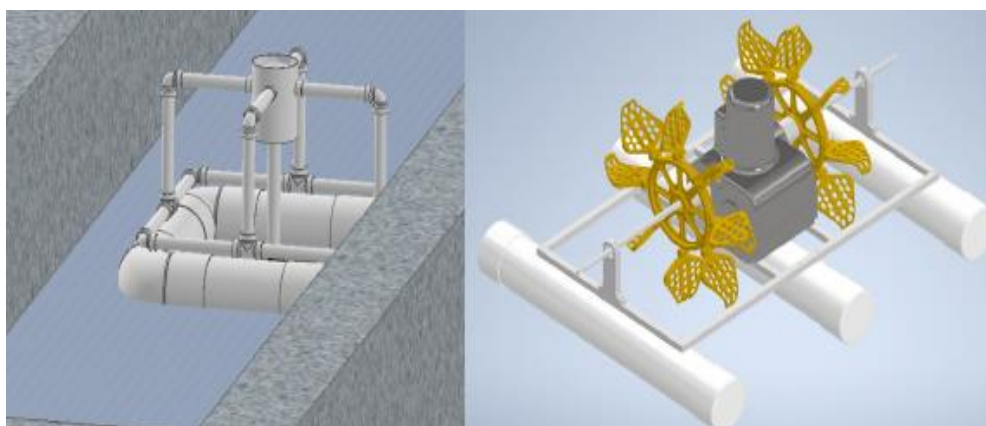
Este sistema fijo es el más usado en las piscinas de producción de espirulina. Se lo diseñó y construyó en lámina de aluminio, con un diámetro de 900 mm entre los extremos de las aletas. El motor que lo impulsa es de corriente continua que gira a 1800 RPM, velocidad que es reducida a 6 RPM mediante una caja reductora y engranes.

Para el sistema móvil se propusieron 2 conceptos los cuales plantean un agitador de hélice con flotador de marco cuadrado y un agitador tipo molino con flotador longitudinal, estos sistemas se indican en la Figura 2. Con respecto al primer concepto su diseño promueve la agitación del agua de forma que permita liberar el oxígeno en exceso y homogeneizar la mezcla, el prototipo cuenta con una hélice donde las aspas generen turbulencia en la parte superficial del agua, para esto se requiere de un flotador en forma de marco cerrado conformado por tubos de PVC de 4 pulgadas de diámetro y de un soporte que sostenga firmemente el motor en una posición específica.

El segundo concepto plantea un agitador capaz de romper la tensión superficial ya que tiene paletas tipo molino de agua, que cuenta con flotadores dispuestos de forma longitudinal al movimiento de las paletas, consta de dos tubos de 2 pulgadas y de una estructura metálica para la sujeción del motor, el sistema cuenta con dos sistemas de paletas uno a cada lado del motor.

Figura 2

Bosquejos de los conceptos planteados. (a) concepto 1: agitador de hélice con flotador de marco cuadrado, (b) concepto 2: agitador tipo molino con flotador longitudinal.



(a)

(b)

El prototipo final resultó en una combinación de los dos conceptos planteados, se adopta del concepto 1 el tipo de flotador de marco y la construcción de la estructura de soporte del motor, mientras que del concepto 2 se toma el método de agitación del agua, modificándolo a un sistema único de paletas y conservando el movimiento original del motor. En base a lo antes planteado se procedió a diseñar el prototipo final indicado en la Figura 3, los materiales empleados para la construcción se detallan en la Tabla 1.

Figura 3

Combinación de conceptos aplicadas al prototipo final.



Tabla 1: *Materiales Utilizados para la construcción del agitador.*

Flotador	Sistema mecánico	Sistema electrónico
Tubos PVC 4"	Motor 6V	Arduino Nano
Codos PVC 4"	Varilla Roscada de 4mm	Leds de colores
	Tuercas para varilla roscada	Selector 3 posiciones
	Paletas realizadas en impresión 3D	Resistencias
		Cable o Jumpers
		LN298-N

El prototipo consta de tres elementos fundamentales, flotador, agitador o sistema mecánico, y sistema electrónico.

El flotador se fabricó con tubo PVC de 4 pulgadas con una longitud total aproximada de 2.2 metros, se calcula la flotabilidad.

Sea $r = 5[cm]$ y $L = 220[cm]$; $V = \frac{\pi * r^2}{2} * L = \frac{\pi * 5^2}{2} * 220 = 8639.37[cm^3]$, considerando una densidad de $0.998 \frac{g}{cm^3}$ para el agua, se tiene que la masa necesaria para hundir el flotador con esas dimensiones aproximadas es $m = 8639.37 * 0.998 = 8.6221 [kg]$. Para la construcción del flotador se utilizaron tubos y codos de PVC de 4 pulgadas, con pegamento se realizaron las uniones para obtener un sistema de forma rectangular herméticamente cerrado que impida el ingreso de agua. El prototipo construido se muestra en la Figura 4

Figura 4

Prototipo fabricado en tubería PVC de 4 pulgadas. Pruebas de hermeticidad en agua.



Para la construcción del agitador mostrado en la Figura 5, primero se diseñaron las paletas y el eje de sujeción de estas, debido a la arquitectura modular estos componentes se acoplan con tornillos de 10 mm, para el diseño se consideró la altura del eje del motor. En los sistemas Raceway la paleta se introduce en el agua un máximo de 5 [cm], por lo que se realizó la construcción con manufactura aditiva usando PLA (ácido poliláctico). El segundo sistema fue la sujeción y transmisión de movimiento del motor, para ello con manufactura aditiva se diseñaron y construyeron sistemas de acople, y la transmisión de movimiento se realizó con varilla roscada en una disposición triangular para evitar pandeo de los elementos.

Figura 5

Sistema de paletas (a) vista isométrica, (b) vista frontal.

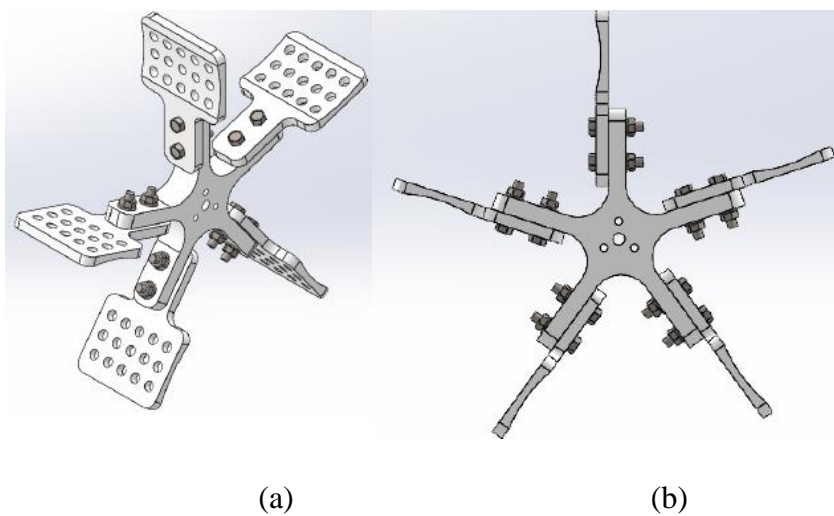


Figura 7

Medición de los niveles de oxígeno en sitio



Resultados

El nivel de oxígeno medido en la piscina que produce espirulina la misma que trabaja con el rotor móvil fue de 5,21 mg/L en un extremo de la piscina; 6,88 mg/L en el centro de la piscina; y de 9,38 mg/L en el otro extremo, una de las mediciones se puede ver en la Figura 8.

Figura 8.

Medida del nivel de oxígeno en uno de los extremos de la piscina



Una vez realizada la agitación con el rotor fijo con una programación establecida en 5 minutos de encendido y 55 minutos de paro, se obtuvo una homogeneización en los niveles de toda la piscina en un valor de 5, 30 mg/L.

Con el rotor móvil ocurre lo mismo, existe el mismo grado de oxigenación en toda la piscina y en este caso al haber realizado las pruebas en la misma piscina de producción, el nivel de oxígeno se mantuvo dentro de los mismos parámetros.

En lo relacionado al número de células por mililitro, se tomaron muestras del agua antes y después de agitarlas con los distintos métodos (ver Figura 9) y se observó que con el rotor fijo existe una mayor homogeneización en los sectores aledaños al mismo, pero en los extremos de la piscina tiende a concentrarse el alga en la parte superior.

Figura 9

Toma de muestras de agua con algas de espirulina ara conteo de células por mililitro



El rotor móvil debido a que realiza un movimiento de ida y vuelta en la piscina llegando a los extremos e incluso mantenerse en los mismos realizando una agitación continua del área, para luego ir al otro lado y repetir el proceso, presenta un mejor desempeño en cuanto a la agitación pues se observó una mayor homogeneización en todos los puntos. El nivel de oxígeno se homogeniza de manera adecuada con los dos métodos, pero la concentración de células/ml es homogeneizada de mejor manera con el rotor móvil.

Esta diferencia en cuanto a efectividad en la agitación y homogeneización de los niveles de oxígeno con los dos métodos probados, podría ocasionar que, al existir un mayor número de algas en los extremos, se requiera de tiempos más prolongados de trabajo con el rotor fijo ocasionando un mayor consumo energético.

Al contar con una alta concentración del alga, sin agitación, se obtienen valores muy elevados de oxígeno, esto se da debido a la fotosíntesis, para ello, el sistema de agitación permite bajar los niveles de oxígeno, esto debido a que la agitación permite la apropiada salida del oxígeno a la atmósfera y lo mantiene en su nivel de saturación en caso de que esté en niveles altos.

Los 2 sistemas aportan en este aspecto, sea para la salida en caso de que los niveles estén altos o para el aporte en caso de bajos niveles, pero todo ello depende de otros factores que deben analizarse con mayor profundidad.

Discusión

Los dos sistemas de oxigenación, fijo y móvil, destinados a la producción de espirulina son adecuados para la homogenización de los niveles de oxígeno, no así en cuanto a la concentración de alga en todos los sectores de la piscina de producción, para ello, el sistema móvil presenta un mejor desempeño.

No existen parámetros adecuados de trabajo de los sistemas de oxigenación, es decir tiempos de operación y paro, ellos se deben calibrar dependiendo de factores como el grado de concentración del alga en células/ml, temperatura, luminosidad, entre otros que participan en la producción, así como de factores controlables como la velocidad de rotación de las paletas, el número y forma de las mismas, por ello cada diseño debe adaptarse mediante

pruebas de operación y en caso de cambiar los parámetros de trabajo, los sistemas también deben variar o ponerlos en un punto mínimo de operación.

Lista de referencias

- Cruz Woo, G. (2022). Manual para el cultivo artesanal de espirulina (*Arthrospira* spp.) en San Salvador Atenco, México. (*Tesis licenciatura*). UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA, XOCHIMILCO.
- Middelberg, A. P. (1995). Process - scale disruption of microorganisms. *Pergamon*, 13, 511-512.
- Ojeda, J., Jiménez, P., Quintana, A., Crespo, G., & Viteri, M. (2015). Protocolo de investigación. (U. d. ESPE, Ed.) *Yura: Relaciones internacionales*, 5(1), 1 - 20.