



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Industrial, Sistemas e Informática
Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

Diseño de un fotobiorreactor autónomo para optimizar el cultivo de spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología – Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

Autor

Wilson Yoberth Gregorio Vásquez

Asesor

Ing. Ulises Robert Martínez Chafalote

Huacho – Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SISTEMAS E INFORMÁTICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

INFORMACIÓN

DATOS DEL AUTOR (ES):		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Wilson Yoberth Gregorio Vasquez	71873630	06/06/2024
DATOS DEL ASESOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Ulises Robert Martinez Chafalote	15616588	0000-0002-9523-308X
DATOS DE LOS MIEMROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Jorge Antonio Sanchez Guzman	17829652	0000-0002-2387-2296
Carlos Manuel Cruz Castañeda	80593441	0000-0003-3311-8251
Ernesto Díaz Ronceros	46943961	0000-0002-2841-7014

DISEÑO DE UN FOTOBIORREACTOR AUTÓNOMO PARA OPTIMIZAR EL CULTIVO DE SPIRULINA SPP EN EL LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA - UNJFSC, 2023

ORIGINALITY REPORT

16%	15%	2%	7%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repositorio.unjfsc.edu.pe Internet Source	5%
2	hdl.handle.net Internet Source	2%
3	core.ac.uk Internet Source	1%
4	alicia.concytec.gob.pe Internet Source	1%
5	repositorio.ucss.edu.pe Internet Source	1%
6	Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion Student Paper	<1%
7	Submitted to Escuela Superior Politécnica del Litoral Student Paper	<1%
8	forum.arduino.cc Internet Source	<1%

DEDICATORIA

Deseo dedicar esta tesis a mi familia, cuyo amor, apoyo y comprensión incondicionales han sido mi fuente de fortaleza y motivación durante todo este arduo proceso. Agradezco especialmente a mis padres por su constante aliento y sacrificio, y a mis hermanos por su inquebrantable confianza en mí. Este logro no habría sido posible sin su amor y respaldo incondicional. A ustedes, mi familia, va dedicado este trabajo con todo mi cariño y gratitud.

Gregorio Vasquez Wilson Yoberth

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que contribuyeron al éxito de esta tesis. En primer lugar, deseo agradecer a mi asesor y todos los profesores e investigadores por su colaboración, asistencia técnica y facilitación de recursos que fueron indispensables para llevar a cabo este estudio. Su conocimiento compartido y disposición para ayudar fueron invaluableles y contribuyeron significativamente al desarrollo de esta tesis.

También quiero reconocer el apoyo brindado por mis compañeros de clase y colegas, cuyas discusiones, retroalimentación y ánimo fueron una fuente constante de inspiración y motivación a lo largo de este viaje académico. Sus contribuciones ayudaron a enriquecer mi perspectiva y a mejorar la calidad de este trabajo.

Además, no puedo pasar por alto el apoyo inquebrantable de mis amigos y seres queridos, quienes estuvieron siempre ahí para escucharme, alentarme y recordarme la importancia de seguir adelante incluso en los momentos más desafiantes. Su amor y confianza fueron el motor que impulsó este proyecto hasta su culminación.

Por último, pero no menos importante, mi más profundo agradecimiento se dirige a mi familia. A mis padres, por su infinito amor, sacrificio y dedicación a mi educación y desarrollo personal. A mis hermanos, por su constante apoyo y por ser un ejemplo a seguir. A todos ustedes, mi gratitud eterna por ser mi roca en tiempos de adversidad y mi fuente de alegría en los momentos de celebración. Sin su apoyo incondicional, este logro no habría sido posible.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO.....	6
RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I	16
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	17
1.1. Descripción de la realidad problemática	17
1.2. Formulación del problema	18
1.2.1. Problema general.....	18
1.2.2. Problemas específicos	19
1.3. Objetivos de la investigación	19
1.3.1. Objetivo general	19
1.3.2. Objetivos específicos.....	20
1.4. Justificación.....	20
1.5. Delimitación.....	21
1.6. Viabilidad.....	22
CAPÍTULO II.....	23
MARCO TEÓRICO.....	24
2.1.1. Antecedentes internacionales	24

2.1.2.	Antecedentes Nacionales	28
2.2	Bases Teóricas:.....	32
2.2.1	Fotobiorreactor	32
2.2.2	Automatización	33
2.2.3	Condiciones de cultivo en un fotobiorreactor	34
2.2.4	Seguimiento continuo de un fotobiorreactor	36
2.2.5	Escalabilidad de un fotobiorreactor.....	38
2.2.6	Control de condiciones en un fotobiorreactor	39
2.2.7	Optimización de condiciones de cultivo	40
2.2.8	Sostenibilidad y Calidad del Cultivo.....	41
2.2.9	Aplicaciones sostenibles	42
2.3.	Hipótesis e investigación.....	45
2.3.1.	Hipótesis general	45
2.3.2.	Hipótesis específicas.....	45
2.4.	Operacionalización de las variables	46
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		48
3.1	Diseño metodológico.....	49
3.1.1	Tipo de investigación	49
3.1.2	Nivel de Investigación.....	49
3.1.3	Diseño.....	49
3.1.4	Enfoque	50
3.2	Población y muestra	50
3.2.1	Población.....	50

3.2.2	Muestra.....	50
3.3	Técnica para la recolección de datos.....	51
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		53
4.1	Análisis de resultados.....	54
4.2	Contrastación de hipótesis.....	70
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN		72
5.1	Discusión de los resultados	73
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		74
6.1	Conclusiones	75
6.2	Recomendaciones.....	76
REFERENCIAS.....		77
7.1	Referencias bibliográficas	78
7.2	Referencias electrónicas.....	79
ANEXOS		81

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. “MÓDULO SENSOR DE PH LÍQUIDO CON Sonda HIDROPÓNICO BNC” ..55	55
FIGURA 2. “DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL SENSOR DS18B20”56	56
FIGURA 3. “DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL SENSOR DS18B20 CON FUERTE EXTERNA”57	57
FIGURA 4. “SENSOR DE INTENSIDAD LUMÍNICA BH1750”58	58
FIGURA 5. “TIRA DE LED BLANCAS A 12V”59	59
FIGURA 6. “BOMBA DE AIRE SOBO SB-948”60	60
FIGURA 7. “CONTROLADOR ESP32”61	61
FIGURA 8. “SIMULACIÓN DEL FOTOBIORREACTOR”62	62
FIGURA 9. “VALOR DEL FOTOPERIODO”62	62
FIGURA 10. “AJUSTE DE LA INTENSIDAD”63	63

RESUMEN

Título de la investigación: DISEÑO DE UN FOTOBIORREACTOR AUTÓNOMO PARA OPTIMIZAR EL CULTIVO DE SPIRULINA SPP EN EL LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA – UNJFSC, 2023. **Objetivo:** Determinar si el fotobiorreactor autónomo optimizará el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023. **Metodología:** “La presente investigación, pertenece al tipo de investigación aplicada, el nivel de investigación es correlacional, diseño no experimental y enfoque cuantitativo”. **Hipótesis:** El fotobiorreactor autónomo optimizó el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023. **Población:** La población estuvo todos los tipos de Spirulina, tipo de microalga que se ha utilizado durante mucho tiempo como un suplemento dietético debido a su alto contenido nutricional. **Muestra:** Como muestra se seleccionó a la Spirulina SPP es un tipo de cianobacteria, también conocida como alga verde-azulada, que se cultiva y se utiliza como suplemento dietético y alimento debido a su alto valor nutricional. **Instrumento:** Se utilizó el software de simulación electrónica Proteus. **Resultados:** Como resultado se obtiene el esquemático electrónico así mismo se muestra los resultados del proceso de automatización en relación al fotoperiodo y la intensidad. **Conclusión:** El fotobiorreactor autónomo optimizó el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.

Palabras Claves: Fotobiorreactor, spirulina SPP, biotecnología.

ABSTRACT

Title of the research: DESIGN OF AN AUTONOMOUS PHOTOBIOREACTOR TO OPTIMIZE THE CULTIVATION OF SPIRULINA SPP IN THE BIOTECHNOLOGY LABORATORY - UNJFSC, 2023. Objective: To determine whether the autonomous photobioreactor will optimize the cultivation of Spirulina SPP in the biotechnology laboratory at the Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023. Methodology: "The present research belongs to the type of applied research, the level of research is correlative, non-experimental design and quantitative approach". Hypothesis: The autonomous photobioreactor optimized the cultivation of Spirulina SPP in the biotechnology laboratory at the Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023. Population: The population was all types of Spirulina, a type of microalga that has long been used as a dietary supplement due to its high nutritional content. Sample: As a sample was selected Spirulina SPP is a type of cyanobacteria, also known as blue-green algae, which is grown and used as a dietary supplement and food due to its high nutritional value. Instrument: Electronic simulation software Proteus was used. Results: As a result, the electronic schematic is obtained, as well as the results of the automation process in relation to photoperiod and intensity. Conclusion: The autonomous photobioreactor optimized the cultivation of Spirulina SPP in the biotechnology laboratory at the Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.

Keywords: Fotobiorreactor, spirulina SPP, biotechnology.

INTRODUCCIÓN

La biotecnología, como disciplina científica multidisciplinaria, ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas, con un enfoque creciente en el desarrollo de tecnologías sostenibles para la producción de alimentos, medicamentos y energía. Dentro de este contexto, el cultivo de microorganismos fotosintéticos, como *Spirulina* spp., ha surgido como una alternativa prometedora debido a su alto contenido nutricional y su capacidad para crecer en condiciones controladas. En este sentido, el diseño y la optimización de fotobiorreactores autónomos se presentan como una herramienta crucial para la investigación y la producción de microalgas en laboratorios de biotecnología.

El presente trabajo se centra en el diseño de un fotobiorreactor autónomo destinado a optimizar el cultivo de *Spirulina* spp. en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión (UNJFSC), con el objetivo de mejorar la producción y la calidad de esta microalga de interés nutricional. Este proyecto se enmarca en la búsqueda de soluciones innovadoras y sostenibles para la producción de alimentos funcionales y suplementos nutricionales, contribuyendo así al desarrollo de prácticas agrícolas más eficientes y respetuosas con el medio ambiente.

La *Spirulina* spp. es un microorganismo fotosintético unicelular que ha ganado reconocimiento por su alto contenido de proteínas, vitaminas, minerales y antioxidantes, convirtiéndola en un candidato prometedor para combatir la desnutrición y mejorar la salud humana. Sin embargo, su cultivo a gran escala enfrenta desafíos relacionados con la eficiencia de

producción, la calidad del producto y los costos operativos. En este sentido, el diseño de fotobiorreactores adaptados a las necesidades específicas de *Spirulina* spp. puede proporcionar una solución viable para estos problemas.

El desarrollo de fotobiorreactores autónomos implica la integración de tecnologías avanzadas de automatización, control de procesos y monitoreo en un sistema compacto y eficiente. Estos dispositivos están diseñados para proporcionar las condiciones óptimas de crecimiento para las microalgas, incluyendo la temperatura, la iluminación, la concentración de nutrientes y la agitación, de manera precisa y constante. Además, la autonomía del sistema permite reducir la intervención humana y garantizar un cultivo continuo y uniforme de *Spirulina* spp.

La optimización del cultivo de *Spirulina* spp. en fotobiorreactores autónomos requiere una comprensión profunda de los factores que afectan su crecimiento y su metabolismo. Esto incluye el estudio de parámetros como la intensidad lumínica, la composición del medio de cultivo, la concentración de CO₂, el pH y la temperatura, entre otros. La aplicación de técnicas de modelado y simulación computacional puede ayudar a predecir el comportamiento del sistema y optimizar las condiciones de cultivo para maximizar la producción de biomasa y nutrientes.

El diseño de un fotobiorreactor autónomo para el cultivo de *Spirulina* spp. en el Laboratorio de Biotecnología de la UNJFSC implica una serie de etapas, que van desde la selección de materiales y componentes hasta la implementación de sistemas de control y

monitoreo. Se busca diseñar un sistema eficiente, económico y fácil de operar, que pueda ser replicado y escalado según las necesidades de investigación y producción del laboratorio.

El éxito de este proyecto dependerá en gran medida de la colaboración interdisciplinaria entre expertos en biotecnología, ingeniería de sistemas, control de procesos, diseño mecánico y automatización. La integración de conocimientos y habilidades de diferentes áreas permitirá abordar los desafíos técnicos y científicos asociados con el diseño y la operación de fotobiorreactores autónomos para el cultivo de microalgas.

El diseño de un fotobiorreactor autónomo para optimizar el cultivo de *Spirulina* spp. en el Laboratorio de Biotecnología de la UNJFSC representa un paso importante hacia la investigación y la producción sostenible de alimentos funcionales y suplementos nutricionales. Este proyecto tiene el potencial de contribuir al avance de la biotecnología y al desarrollo de soluciones innovadoras para los desafíos alimentarios y de salud a nivel local y global.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad problemática

La Spirulina SPP es un microorganismo fotosintético que requiere condiciones de crecimiento específicas para alcanzar su máximo potencial. El uso de un fotobiorreactor permite controlar y ajustar con precisión factores como la intensidad y el ciclo de luz, la concentración de dióxido de carbono y la temperatura. Esto es crítico para optimizar la fotosíntesis y el crecimiento de la Spirulina, lo que resulta en una mayor productividad y calidad del cultivo.

La autonomía del fotobiorreactor es beneficiosa para la eficiencia y la sostenibilidad del proceso de cultivo. Los fotobiorreactores autónomos pueden estar equipados con sistemas de monitoreo y control automatizados que ajustan las condiciones en tiempo real, minimizando la intervención humana y reduciendo los errores operativos. Esto garantiza una operación continua y consistente, lo que es fundamental para la investigación y producción a escala en un laboratorio de biotecnología.

El cultivo de Spirulina SPP puede ser susceptible a la contaminación por microorganismos no deseados. Un fotobiorreactor autónomo bien diseñado puede incorporar sistemas de esterilización y aislamiento que previenen la contaminación cruzada y mantienen el cultivo de Spirulina de manera pura y libre de contaminantes.

Un fotobiorreactor autónomo es escalable. Esto significa que se puede adaptar para ajustar el volumen de cultivo según las necesidades del laboratorio. La escalabilidad es esencial para la investigación en biotecnología, ya que permite probar

diferentes condiciones y escenarios a pequeña y gran escala, lo que es útil para la optimización de procesos y la producción a mayor escala en el futuro.

El cultivo de Spirulina SPP tiene aplicaciones potenciales en la industria de alimentos, la acuicultura, la agricultura y la producción de suplementos nutricionales debido a su alto contenido de proteínas y nutrientes. Un fotobiorreactor autónomo bien diseñado permite la producción controlada y eficiente de Spirulina, lo que puede ser beneficioso para futuras aplicaciones comerciales.

La investigación en biotecnología busca constantemente mejorar la producción de microorganismos valiosos como la Spirulina SPP. El diseño de un fotobiorreactor autónomo es esencial para avanzar en la comprensión de los factores que afectan su crecimiento y productividad, lo que puede tener un impacto positivo en la industria y en la seguridad alimentaria en el futuro. Finalmente, el diseño de un fotobiorreactor autónomo es necesario para optimizar el cultivo de Spirulina spp en un laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, debido a su capacidad para controlar las condiciones de crecimiento, su autonomía, su escalabilidad, su capacidad de prevenir la contaminación, sus aplicaciones potenciales y su contribución a la investigación en biotecnología.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cómo el fotobiorreactor autónomo optimizará el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la “Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión”, 2023?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo la automatización optimizará el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la “Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión”, 2023?
- ¿Cómo la escalabilidad optimizará el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la “Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión”, 2023?
- ¿Cómo el control de condiciones optimizará el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la “Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión”, 2023?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Determinar si el fotobiorreactor autónomo optimizará el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la “Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión”, 2023.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar si la automatización optimizará el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la “Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión”, 2023.
- Determinar si la escalabilidad optimizará el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la “Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión”, 2023.
- Determinar si el control de condiciones optimizará el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la “Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión”, 2023.

1.4. Justificación

La investigación que busca diseñar un fotobiorreactor autónomo para optimizar el cultivo de Spirulina spp en un laboratorio de biotecnología encuentra su justificación en la necesidad de abordar desafíos críticos en la producción de esta microalga altamente nutritiva. En primer lugar, Spirulina spp posee un

potencial significativo en la lucha contra la malnutrición global, ya que es rica en proteínas, vitaminas y minerales esenciales. Optimizar su cultivo en un ambiente controlado como un fotobiorreactor autónomo permite garantizar un suministro constante y confiable de este recurso valioso, lo que puede tener un impacto positivo en la seguridad alimentaria y la salud de las poblaciones.

Además, esta investigación también es relevante desde una perspectiva de sostenibilidad ambiental, ya que el diseño de un fotobiorreactor autónomo podría reducir la presión sobre los recursos naturales al minimizar el consumo de agua y energía en comparación con los métodos tradicionales de cultivo al aire libre. Además, este proyecto tiene implicaciones en el avance de la tecnología de bioprocesos y en el campo de la biotecnología en general, ya que puede contribuir al desarrollo de sistemas de cultivo más eficientes y respetuosos con el medio ambiente. En resumen, esta investigación tiene un impacto potencial tanto en la salud y nutrición de las personas como en la sostenibilidad de los procesos de producción, lo que justifica su importancia en el ámbito de la biotecnología.

1.5. Delimitación

Delimitación temporal:

La investigación estará comprendida entre los meses de noviembre del 2023 y febrero del 2024.

Delimitación espacial:

Esta investigación está comprendida en el Laboratorio de Ingeniería Electrónica de

la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

1.6. Viabilidad

La viabilidad de la investigación que se propone para el diseño de un fotobiorreactor autónomo destinado a optimizar el cultivo de Spirulina SPP en un laboratorio de biotecnología es alta. En primer lugar, la Spirulina es un microorganismo de rápido crecimiento, lo que la hace adecuada para el cultivo en sistemas de biorreactores controlados. Además, ya existen investigaciones y tecnologías relacionadas con el cultivo de Spirulina en fotobiorreactores, lo que demuestra la factibilidad técnica de la propuesta. La viabilidad también se basa en la creciente importancia de la Spirulina en la industria de alimentos y suplementos debido a su alto contenido nutricional. La demanda de este recurso está en aumento, lo que podría respaldar la inversión en investigación y desarrollo de sistemas de cultivo eficientes. Además, el enfoque en la sostenibilidad y el uso eficiente de recursos en la investigación puede alinearse con las preocupaciones ambientales y las regulaciones, lo que hace que el proyecto sea aún más viable. En resumen, la viabilidad de esta investigación se basa en la idoneidad del microorganismo, la tecnología disponible y la creciente demanda de Spirulina en diversas industrias.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.1. Antecedentes internacionales

El artículo científico titulado “diseño, construcción y operación de un fotobiorreactor flat panel para el cultivo de microalgas” fue desarrollado por los autores Martínez A.D, Gómez B.P, Diaz M.A y Ruiz M.A, con el respaldo del instituto tecnológico de Durango México. El propósito principal del estudio fue la creación, implementación y operación exitosa de un fotobiorreactor de película plana diseñado específicamente para el cultivo de microalgas. Este proyecto busco evaluar la eficiencia del fotobiorreactor y obtener datos valiosos relacionados con la producción y productividad de biomasa. Las conclusiones del estudio destacaron el éxito en el diseño y construcción del fotobiorreactor, su eficacia en el crecimiento de la microalga *C. vulgaris*, el logro de los objetivos la producción y la productividad de biomasa, y la identificación de parámetros que podrían ser optimizados en futuras investigaciones, incluyendo el contenido de nitrógeno del medio, la agitación y la cantidad de luz. Estos hallazgos proporcionan una base para la investigación futura en este campo.

La investigación se enfoca en el “Diseño de un fotobiorreactor para la obtención de compuestos bioluminiscentes” llevada a cabo en Barcelona, España, en 2019, fue realizada por el autor Sanz V.F. Bajo el respaldo de la Escuela técnica superior de ingeniería industrial (UPC). El objetivo principal de este trabajo consistió en el diseño de un fotobiorreactor a nivel planta piloto con

la finalidad de obtener anualmente 30 kg de Dinoflagellate Luciferina. Esta investigación se enmarca en la categoría de investigaciones aplicadas, con un diseño experimental. La muestra utilizada para el estudio estuvo compuesta por diversos tipos de fotobiorreactores. Los instrumentos empleados para la recolección de datos incluyeron una tabla de comparación de los distintos tipos de cultivo y la ficha técnica de un fotobiorreactor Air-lift. Como resultado, la investigación se concluyó logrando diseñar un fotobiorreactor tipo Air-lift que permite la obtención anual de 30 kg de Dinoflagellate Luciferina, con un coste total de 16.600,00 €.

La tesis titulada “Diseño y construcción de un fotobiorreactor para la obtención y análisis de las curvas de crecimiento de cepas de cianobacterias unicelulares” fue llevado a cabo en san José, Costa Rica, en el año 2019 por la autora Ulate A.M. con el respaldo de la “Universidad de Costa Rica” (UCR). El objetivo general de esta investigación fue diseñar y construir un fotobiorreactor destinado al cultivo de cianobacterias unicelulares y al análisis de sus curvas de crecimiento bajo distintas condiciones ambientales. Este estudio se encuadra en la categoría de investigaciones aplicadas y adopto un diseño de tipo experimental. La muestra utilizada para el cultivo de las cianobacterias se obtuvo en el “Laboratorio de Microbiología Ambiental del centro de investigaciones en Biología Celular y Molecular”. Los instrumentos empleados para el desarrollo de la tesis fueron un cuadro comparativo de diferentes tipos de biorreactores y el análisis de las propiedades físicas, químicas y ópticas de diversos tipos de materiales para la construcción del cuerpo de fotobiorreactor. Como principales

conclusiones, “se determinó que, para las condiciones del proyecto, el diseño conceptual más adecuado es un reactor de placas planas y se calculó que la distancia óptima para que la luz atravesase el reactor es de 0.25 metros, logrando una concentración de cultivo de *Xenococcus* de 3.987 g/L y un coeficiente de atenuación de 2.790 L/mg” (p. 60).

La tesis denominada “Diseño de un sistema de iluminación móvil para un fotobiorreactor cerrado de cultivo de microalgas” fue realizada en la escuela superior politécnica del litoral en 2021 por los autores Romero H.E y Molina V.A. Con el respaldo de dicha institución. El objetivo de la investigación consistió en desarrollar un sistema lumínico móvil para el cultivo de microalgas en un fotobiorreactor tubular cerrado, aplicando criterios de diseño de sistemas mecánicos. La investigación fue aplicada con diseño experimental. La muestra empleada con la que se llevó a cabo el cultivo fue las microalgas *Chorella vulgaris*. Los instrumentos utilizados fueron la comparación por pares para evaluar el sistema de iluminación y el sistema móvil; la matriz de decisión del sistema de lumínico y sistema móvil, con todo ello se llegó a las conclusiones:

- Se determinó que el tipo de microalga no afecta el diseño del sistema, ya que solo varían los parámetros de uso el equipo y no sus dimensiones, tipo soporte o materiales, debido a la menor densidad y cantidad de microalgas en comparación con el agua en la se desarrollan.

- Se destacó que el sistema móvil del fotobiorreactor permite el desplazamiento lateral de las lámparas, así como su acercamiento y alejamiento de los tanques hasta 40 cm.

La tesis titulada “Diseño y optimización de fotobiorreactores Raceway y capa fina mediante dinámica de fluidos computacional (CFD) acoplado a métodos numéricos de fotosíntesis” se llevó a cabo en la ciudad de Almería-España en el año 2023, bajo la autoría de Inostroza C. Con el respaldo de la universidad de Almería. El objetivo general se centró en “desarrollar un diseño optimizado de fotobiorreactores abiertos tanto como raceway como de capa fina, así como las condiciones de operación en los mismos que permitan maximizar el rendimiento de este tipo de sistema a gran escala” (p. 55). El enfoque metodológico fue cuantitativo, diseño experimental. La muestra utilizada comprendió diferentes configuraciones de reactores raceway y capa fina. El instrumento principal que fue empleado fue la dinámica de fluidos computacional (CFD) acoplada a métodos numéricos de fotosíntesis. Con ello se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se determinó que el diseño con tabiques deflectores en las curvas en los reactores raceway resultó óptimo desde una perspectiva fluidodinámica. Este diseño minimiza la sedimentación de biomasa, reduce las zonas muertas y mejora la circulación de fluido, lo que se refleja en una turbulencia óptima en todo reactor.
- La metodología presentada en esta investigación ofrece un enfoque viable para describir los sistemas de cultivo de microalgas y

proporciona una herramienta útil para el diseño y optimización de sistemas de producción, identificando y mejorando parámetros clave. El enfoque Lagrangiana permite presidir variables que afectan el diseño y la producción de reactor, como la disponibilidad de luz.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Mejía y Ninantay (2019) en su estudio denominado “desarrollo de un prototipo electrónico de control y monitoreo remoto, orientado al medición de parámetros de temperatura, oxígeno disuelto y pH en posas de crianza de tilapia en la ciudad Lima del país Perú, su objetivo se centró en desarrollar un prototipo electrónico de control y monitoreo remoto que pueda estabilizar los parámetros más importantes que determinen la calidad de agua los cuales son la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto para la crianza de tilapias en pozas del sector acuícola” (p. 33). La muestra estuvo conformada por pozas para la crianza de tilapias. El tipo de investigación fue aplicativo, el nivel de investigación correlacional. El diseño que utilizó fue experimental. Los instrumentos que se usaron fueron ficha de recolección de datos para pH y temperatura. De los resultados obtenidos por el autor se tiene el diseño de la poza para la crianza de las tilapias el módulo de control, la interfaz gráfica raspberry pi y el costo de inversión total de la investigación. Los autores concluyen que se logró diseñar el prototipo de poza a tamaño real del cual se obtuvieron los datos sobre la calidad de agua y la crianza de tilapias.

Delgado (2022) en su tesis “Influencia del fotoperiodo, intensidad de luz en la producción de biomasa de spirulina (*Arthrospira platensis*) en biorreactores abiertos en la ciudad de Arequipa país Perú”. El objetivo del estudio fue determinar cómo influyen estos factores en la densidad celular de spirulina y la producción de biomasa. La muestra estuvo conformada por cultivos de spirulina en biorreactores abiertos los cuales fueron expuestos a diferentes fotoperiodos, intensidades y colores de luz. El tipo de investigación fue experimental, el nivel de investigación es aplicativo. El diseño que utilizó fue experimental con un grupo de control y tres grupos experimentales, cada uno expuesto a diferentes condiciones de luz. Los instrumentos utilizados fueron una ficha de recolección de datos e instrumentos específicos para medir la densidad celular y la producción de biomasa. Los resultados indican que el fotoperiodo, intensidad y calor de luz influyen significativamente en la densidad celular y la producción de biomasa de *Espirulina*. El tesista concluye que las condiciones óptimas para el cultivo de spirulina (*Arthrospira platensis*) en biorreactores abiertos influyen una temperatura de 24°C, un fotoperiodo de 12 horas de luz, una intensidad de luz de 3240 lux y luz blanca (575nm).

Ramos (2019) en su estudio denominado “Análisis de experiencias de mejora continua en la producción industrial de Spirulina en la ciudad de Lima del país de Perú”. El objetivo del estudio fue conocer si se está dando un proceso de mejorar continua en la producción industrial de spirulina y en qué proporción. La muestra estuvo conformada por empresas productoras de spirulina, las cuales

han implementado procesos de mejora continua en sus plantas productoras. El tipo de investigación fue descriptivo nivel aplicativo. El diseño que se utilizó fue el no experimental. Se dieron mediante los instrumentos de bases de datos académicos y motores de búsqueda, como Google Académico, Elsevier, SciELO, Dialnet y Redalyc. Los resultados indican que hay un interés creciente en la mejora continua de la producción de Spirulina. Ramos concluye que la producción de Spirulina se está beneficiando de la mejora continua, con un enfoque en la innovación tecnológica en diferentes etapas de producción.

Abril (2002) en su tesis denominado “Diseño de un sistema de producción de concentrado de biomasa de microalgas marinas para la nutrición de organismos hidrobiológicos de interés comercial en la ciudad de Lima, Perú”. El objetivo del estudio fue desarrollar un sistema que produzca eficientemente concentrado de biomasa de microalgas marinas mediante el uso de un fotobiorreactor y técnicas de floculación. La muestra estuvo formada por cultivos de microalgas marinas en biorreactores, los cuales fueron expuestos a diferentes condiciones lumínicas y nutricionales. El tipo de investigación fue aplicada y nivel descriptivo. El diseño utilizado fue experimental, con un grupo control y tres grupos experimentales. La investigación hace el uso de instrumentos, como fotobiorreactor tubular, una estructura de sedimento por lotes y el floculante LT25. Se midió la densidad celular y la producción de biomasa. Los resultados fueron un diseño detallado del fotobiorreactor tubular y el sistema de concentración de microalgas. El tesista concluye que se logró identificar el tipo de fotobiorreactor y la metodología de diseño óptima para

desarrollar un sistema eficiente de cultivo de microalgas, utilizando algoritmos de diseño. Esto resultó en la elección de un fotobiorreactor tubular y una aproximación semi empírica.

Sánchez (2018) en su tesis denominado “Evaluación del diseño de un fotobiorreactor con iluminación fotovoltaica para la obtención de biomasa *Arthrospira plantensis* (Nordstedt) Gomont empleando agua residual hidropónica en la ciudad de lima del país, Perú”. El principal del estudio se centro en evaluar el diseño de diseño de fotobiorreactor y su rendimiento al utilizar agua residual hidropónica como medio de cultivo. El tipo de investigación es aplicada nivel correlacional. La muestra estuvo conformada por cultivos de cianobacteria *Arthrospira plantensis* en fotobiorreactores, los cuales fueron expuestos a diferentes condiciones lumínicas y nutricionales. El Tipo de investigación fue experimental y el nivel de investigación fue aplicativo. El diseño fue experimental. Los instrumentos se utilizaron fueron una ficha de recolección de datos y un fotobiorreactor con iluminación fotovoltaica. De los resultados obtenidos por el autor se tiene que la cianobacteria “tuvo una alta producción de biomasa ($1,353 \pm 0,004$ mg. L-1) y porcentaje de proteína (33.75%) el tratamiento T2, un PBR iluminado con panel y solar y medio de cultivo agua residual hidropónica” (p. 40). Las tasas de crecimiento máxima encontrada con una alta significancia fue de $\mu=0,3744 \pm 0,005$ dias-1 y capacidad de carga $k=1,353 \pm 0,004$ mg. L-1 y fueron obtenidos para el tratamiento de T2. El autor concluye que *Arthrospira plantensis* tuvo una alta producción de biomasa

empleando fotobiorreactor con iluminación fotovoltaica y usando como medio de cultivo agua residual.

2.2 Bases Teóricas:

2.2.1 Fotobiorreactor

Un fotobiorreactor es un dispositivo o sistema utilizado en biotecnología para cultivar microorganismos fotosintéticos, como algas, bacterias fotosintéticas u otros organismos similares, en condiciones controladas. Su objetivo principal es proporcionar un ambiente óptimo para el crecimiento y reproducción de estos organismos, aprovechando la luz solar u otra fuente de luz artificial para estimular el proceso de fotosíntesis.

Estos reactores se utilizan principalmente en la producción a gran escala de microorganismos fotosintéticos, como la Spirulina, Chlorella u otras microalgas, tanto con fines comerciales (por su valor nutricional, farmacéutico, cosmético o energético) como en la investigación científica.

Los fotobiorreactores pueden variar en diseño y tamaño, pero generalmente incluyen características comunes, como:

- Control de condiciones ambientales: Esto incluye el control de la temperatura, la concentración de nutrientes, la luz (natural o artificial), el pH y la aireación.

- Diseño adecuado para maximizar la exposición a la luz: Los reactores suelen estar diseñados para maximizar la absorción de la luz por parte de los microorganismos. Esto puede incluir tubos, placas o estructuras específicas que permiten una distribución uniforme de la luz.
- Sistemas de agitación y circulación: Para asegurar una distribución homogénea de nutrientes y gases en el cultivo.
- Sistemas de recolección y separación: Permiten la extracción eficiente de los microorganismos cultivados para su posterior procesamiento.

El diseño de un fotobiorreactor puede variar desde sistemas más simples y pequeños utilizados en laboratorios hasta instalaciones más grandes empleadas en aplicaciones industriales. En el contexto de la producción de microorganismos fotosintéticos como la Spirulina, el diseño óptimo del fotobiorreactor es fundamental para maximizar la productividad del cultivo y obtener productos de alta calidad.

2.2.2 Automatización

La automatización en el contexto de un fotobiorreactor ha revolucionado la forma en que se cultivan microorganismos fotosintéticos, como la Spirulina, al permitir un control preciso y continuo de las condiciones de cultivo. A través de la integración de sistemas computarizados, sensores y dispositivos de control automático, se logra supervisar y regular aspectos fundamentales como la temperatura, la iluminación, el pH, los nutrientes y otros parámetros cruciales. Estos sistemas automatizados ofrecen la posibilidad de mantener un entorno óptimo para el

crecimiento de las microalgas, minimizando la intervención humana directa y asegurando condiciones estables y favorables para el desarrollo de cultivos.

La automatización en el fotobiorreactor garantiza una mayor eficiencia y precisión en la gestión del cultivo de microalgas. Los sistemas de control automático, en combinación con los datos recopilados por los sensores, permiten realizar ajustes en tiempo real, respondiendo de manera inmediata a cambios o desviaciones en las condiciones ideales de cultivo. Esto conlleva a un monitoreo constante y detallado, evitando fluctuaciones bruscas que podrían afectar negativamente el crecimiento y la productividad de las microalgas.

La implementación de la automatización no solo reduce la variabilidad en el cultivo, sino que también maximiza la eficiencia operativa al minimizar los errores humanos y permitir una operación continua del fotobiorreactor. Esta tecnología avanzada no solo mejora la calidad y cantidad del cultivo, sino que también representa un enfoque más sostenible al permitir una gestión más precisa de los recursos y una reducción de costos asociados con la operación manual.

2.2.3 Condiciones de cultivo en un fotobiorreactor

Las condiciones de cultivo en un fotobiorreactor para el cultivo de microorganismos fotosintéticos, como la Spirulina, son fundamentales para maximizar la producción y la calidad del cultivo. A continuación, se presentan algunas condiciones clave que se consideran en el diseño y operación de un fotobiorreactor para el cultivo de microalgas:

- **Iluminación:** El suministro de luz es esencial para el crecimiento de las microalgas, ya que utilizan la fotosíntesis para producir su propio alimento. En un fotobiorreactor, se garantiza una iluminación adecuada mediante fuentes de luz artificial o la exposición controlada a la luz solar.
- **Temperatura:** Las microalgas tienen rangos de temperatura óptimos para su crecimiento. Por lo general, se mantienen a temperaturas controladas, generalmente entre 20-30 °C, dependiendo de la especie de microalga cultivada.
- **Agitación y aireación:** Se mantiene una agitación suave o una adecuada circulación de agua para evitar la sedimentación de las microalgas y promover una distribución uniforme de nutrientes y gases, como CO₂ y O₂, dentro del fotobiorreactor.
- **Control del pH:** Se controla y ajusta el nivel de acidez o alcalinidad del medio de cultivo para mantener un pH óptimo, que suele estar en el rango de 7-9, dependiendo de la especie de microalga.
- **Nutrientes:** Se suministran nutrientes esenciales, como nitrógeno, fósforo, potasio y otros micronutrientes, para promover el crecimiento y la reproducción de las microalgas.

- Densidad celular y concentración de biomasa: Se controla la densidad de las microalgas en el medio para evitar la competencia por nutrientes y maximizar la tasa de crecimiento, evitando la sobrepoblación que podría dificultar la fotosíntesis.
- Sistemas de recolección y separación: El fotobiorreactor debe permitir una fácil recolección y separación de las microalgas cultivadas para su posterior procesamiento.

Estas condiciones son ajustadas y monitoreadas de manera constante para maximizar la productividad y la calidad del cultivo de microalgas en un fotobiorreactor. El diseño óptimo del fotobiorreactor y el control preciso de estas condiciones son fundamentales para el éxito del cultivo y la obtención de un producto final de alta calidad.

2.2.4 Seguimiento continuo de un fotobiorreactor

El seguimiento continuo en un fotobiorreactor es esencial para mantener condiciones óptimas de cultivo y garantizar un entorno favorable para el crecimiento de microorganismos como la *Spirulina*. El monitoreo continuo implica la supervisión constante de varios parámetros y condiciones del cultivo, lo que permite ajustar y mantener un ambiente adecuado para las microalgas. Algunos aspectos clave del seguimiento continuo en un fotobiorreactor incluyen:

- **Sistemas de sensores:** El fotobiorreactor se equipa con sensores automatizados que monitorean parámetros críticos como la temperatura, pH, concentración de oxígeno disuelto, nivel de luz, flujo de nutrientes y otros factores relevantes para el crecimiento de las microalgas.
- **Control automatizado:** Los sistemas automatizados ajustan los parámetros del fotobiorreactor en respuesta a los datos recopilados por los sensores. Esto puede incluir sistemas de control que regulan la iluminación, la temperatura, la aireación, el suministro de nutrientes, entre otros, para mantener las condiciones óptimas.
- **Software de monitoreo y control:** Se utilizan sistemas informáticos o software especializado que permite la visualización en tiempo real de los datos recopilados por los sensores y facilita el control remoto de las condiciones del fotobiorreactor.
- **Registros y análisis de datos:** Se registran y analizan los datos recopilados a lo largo del tiempo para identificar tendencias, patrones y cambios en las condiciones del cultivo. Esto es crucial para entender la dinámica del cultivo y tomar decisiones informadas sobre ajustes necesarios.
- **Intervenciones manuales cuando sea necesario:** A pesar de la automatización, a veces pueden ser necesarias intervenciones manuales

para ajustar o corregir condiciones específicas en el fotobiorreactor. El monitoreo continuo permite identificar estos momentos.

El seguimiento continuo y la retroalimentación en tiempo real proporcionan la oportunidad de mantener un ambiente óptimo para el crecimiento de las microalgas en el fotobiorreactor. Esto ayuda a maximizar la productividad, minimizar las fluctuaciones no deseadas y asegurar la calidad del cultivo.

2.2.5 Escalabilidad de un fotobiorreactor

La escalabilidad de un fotobiorreactor es fundamental para adaptar y ampliar la producción de microalgas a diferentes dimensiones, desde laboratorios pequeños hasta aplicaciones a gran escala. Este concepto se refiere a la capacidad del sistema para crecer y ajustarse en términos de tamaño, capacidad de producción y eficiencia, manteniendo las condiciones óptimas para el cultivo de microorganismos como la *Spirulina*. La escalabilidad implica la adaptación del diseño, los sistemas de control y la eficiencia para garantizar un rendimiento consistente y óptimo a cualquier escala.

Un fotobiorreactor escalable debe ser capaz de expandirse manteniendo una distribución uniforme de luz, nutrientes y aireación en toda la instalación, a pesar del aumento en el volumen de cultivo. El diseño flexible del fotobiorreactor es esencial para permitir esta expansión, ajustando la disposición de los paneles, la configuración de los tubos y la distribución de la iluminación para mantener un entorno propicio para el crecimiento de las microalgas. La capacidad de adaptar el diseño y la disposición

del fotobiorreactor es esencial para garantizar la eficiencia y la calidad en diferentes escalas de producción.

La automatización y los sistemas de control juegan un papel crucial en la escalabilidad del fotobiorreactor. A medida que el tamaño del cultivo se amplía, es esencial que los sistemas de monitoreo y control se ajusten para gestionar cambios en las variables críticas del cultivo, como la temperatura, el pH, la iluminación y la circulación de nutrientes. Los sistemas automatizados deben ser capaces de manejar estos ajustes con precisión y eficiencia, permitiendo una producción constante y de alta calidad a cualquier escala. Además, la eficiencia energética y la optimización de costos son consideraciones importantes para garantizar que la escalabilidad sea rentable a gran escala, minimizando el consumo de recursos y maximizando la productividad del cultivo de microalgas.

2.2.6 Control de condiciones en un fotobiorreactor

El control preciso de las condiciones ambientales en un fotobiorreactor es esencial para optimizar el crecimiento y la productividad de microorganismos fotosintéticos, como la *Spirulina*. A través de sistemas de monitoreo y regulación, se ajustan variables clave como la iluminación, la temperatura, el pH, la aireación y la concentración de nutrientes para crear un entorno óptimo de cultivo. Este control garantiza condiciones estables y favorables que maximizan la eficiencia de la fotosíntesis y el desarrollo de las microalgas.

Los sistemas de control en un fotobiorreactor utilizan sensores especializados que monitorean constantemente parámetros críticos. Por ejemplo, sensores de luz registran la intensidad lumínica para asegurar niveles adecuados de irradiación, mientras que sensores de temperatura y pH mantienen condiciones óptimas para el crecimiento de las microalgas. La retroalimentación de estos sensores permite ajustar las condiciones de cultivo en tiempo real, asegurando un entorno estable y productivo.

La automatización en el control de condiciones proporciona una ventaja significativa al permitir ajustes precisos y rápidos en el fotobiorreactor. Los sistemas automatizados regulan la iluminación, la temperatura, la aireación y otros factores, manteniendo constantes las condiciones ideales para el crecimiento de las microalgas. Esto garantiza una producción consistente y de alta calidad, minimizando fluctuaciones indeseadas y asegurando un entorno de cultivo óptimo para las microalgas en el fotobiorreactor.

2.2.7 Optimización de condiciones de cultivo

La optimización de las condiciones de cultivo en un fotobiorreactor es fundamental para garantizar un entorno propicio que maximice el crecimiento y la productividad de microorganismos fotosintéticos, como la *Spirulina*. Este proceso implica ajustar una serie de parámetros clave, incluyendo la iluminación, la temperatura, el pH, la aireación y la disponibilidad de nutrientes. La modulación de estos factores es crucial para mantener un equilibrio óptimo que promueva la fotosíntesis y la reproducción de las microalgas, contribuyendo así a un crecimiento saludable y eficiente.

La optimización se logra a través de sistemas de monitoreo y control que emplean sensores especializados para detectar variaciones en las condiciones del fotobiorreactor. La retroalimentación de estos sensores permite ajustar y mantener los niveles adecuados de iluminación, temperatura y nutrientes, asegurando un entorno estable y favorable para las microalgas. Esta optimización es esencial para alcanzar una producción consistente y de alta calidad, ya que maximiza la eficiencia del proceso de cultivo y garantiza un rendimiento óptimo en el fotobiorreactor.

2.2.8 Sostenibilidad y Calidad del Cultivo

La sostenibilidad y la calidad del cultivo en un fotobiorreactor son aspectos cruciales para garantizar la eficacia a largo plazo y la obtención de un producto final óptimo. La sostenibilidad se refiere a la capacidad de mantener la producción de microalgas de manera responsable y respetuosa con el entorno, minimizando el impacto ambiental y maximizando el uso eficiente de recursos. Esto implica la gestión adecuada de agua, energía y materias primas, así como la reducción de residuos y emisiones.

Para asegurar la calidad del cultivo, es esencial mantener condiciones estables y óptimas que favorezcan el crecimiento saludable de las microalgas. La calidad se evalúa a través de parámetros como el contenido nutricional, la densidad celular, la pureza y la ausencia de contaminantes. La consistencia en las condiciones de cultivo, como la iluminación adecuada, la temperatura controlada, el suministro de nutrientes

equilibrado y el mantenimiento del pH, garantiza un crecimiento constante y una calidad uniforme en la producción de microalgas.

La combinación de prácticas sostenibles con altos estándares de calidad en el cultivo en un fotobiorreactor es fundamental para una producción eficiente y respetuosa con el medio ambiente. El enfoque en la sostenibilidad garantiza la continuidad del proceso de cultivo a largo plazo, mientras que el énfasis en la calidad asegura la obtención de microalgas de alto valor nutricional y pureza, lo que es fundamental para diversas aplicaciones en sectores como la alimentación, la medicina, la cosmética y la energía.

2.2.9 Aplicaciones sostenibles

Los fotobiorreactores ofrecen numerosas aplicaciones sostenibles, principalmente en el ámbito de la producción de microorganismos fotosintéticos, como las microalgas, y sus derivados. Algunas de las aplicaciones sostenibles de los fotobiorreactores incluyen:

- **Producción de biocombustibles y bioproductos:** Las microalgas cultivadas en fotobiorreactores pueden convertirse en biocombustibles, como biodiésel, mediante procesos de extracción de aceite. Este enfoque sostenible reduce la dependencia de los combustibles fósiles y disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero.

- Alimentos y suplementos nutricionales: Las microalgas, como la Spirulina, cultivadas en fotobiorreactores, son fuentes ricas en nutrientes, como proteínas, vitaminas y antioxidantes, utilizadas en la producción de alimentos funcionales y suplementos nutricionales sostenibles.
- Biorremediación y tratamiento de aguas: Las microalgas tienen la capacidad de absorber contaminantes del agua, como metales pesados y otros compuestos tóxicos, convirtiéndolas en una opción sostenible para la biorremediación de aguas residuales y la purificación del agua.
- Captura de dióxido de carbono (CO₂): Las microalgas tienen la capacidad de absorber CO₂ durante la fotosíntesis. Los fotobiorreactores pueden ser utilizados en aplicaciones industriales para capturar y reducir las emisiones de CO₂, contribuyendo así a mitigar el cambio climático.
- Productos cosméticos y farmacéuticos: Los compuestos producidos por las microalgas, como pigmentos, lípidos y compuestos bioactivos, se utilizan en la fabricación de cosméticos y productos farmacéuticos sostenibles.

Estas aplicaciones sostenibles de los fotobiorreactores demuestran su versatilidad y potencial para abordar desafíos medioambientales, energéticos y de

salud, ofreciendo soluciones innovadoras y respetuosas con el entorno en diversas industrias.

2.3. Definición de términos básicos:

- ✓ Fotobiorreactor: Dispositivo o sistema que proporciona un entorno controlado para el cultivo de microorganismos fotosintéticos, como las microalgas, utilizando la luz solar o fuentes artificiales de iluminación.

- ✓ Spirulina spp: Microalga multicelular, de tono azul verdoso, rica en nutrientes como proteínas, vitaminas y minerales, utilizada en la alimentación humana y animal, y en aplicaciones de salud y bienestar.

- ✓ Cultivo: Proceso de crecimiento y reproducción de organismos vivos en condiciones controladas, donde se administran factores como temperatura, pH, nutrientes y luz para fomentar su desarrollo.

- ✓ Biotecnología: Campo multidisciplinario que aplica principios de biología y tecnología para el desarrollo de productos y procesos que beneficien a la humanidad, abarcando áreas como la agricultura, la medicina y la ingeniería.

- ✓ Optimización: Acción de ajustar o perfeccionar un proceso o sistema para alcanzar la eficiencia máxima, maximizando un resultado deseado.

- ✓ Autónomo: Capacidad de funcionar de manera independiente o automática sin intervención humana directa, en este contexto, haciendo referencia a un fotobiorreactor capaz de operar sin necesidad de una supervisión constante.

- ✓ Laboratorio: Espacio equipado y dedicado a la investigación científica, pruebas, experimentación y desarrollo de tecnologías, productos o procesos en un entorno controlado.

- ✓ Diseño: Proceso de concepción, planificación y desarrollo de una estructura o sistema, en este caso, un fotobiorreactor específicamente diseñado para el cultivo de *Spirulina spp.*

- ✓ Control de calidad: Conjunto de medidas y procesos utilizados para garantizar que los productos o procesos cumplan con estándares predefinidos y requisitos específicos de calidad.

2.3. Hipótesis e investigación

2.3.1. Hipótesis general

- El fotobiorreactor autónomo optimizó el cultivo de *Spirulina SPP* en el laboratorio de biotecnología en la “Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión”, 2023.

2.3.2. Hipótesis específicas

- La automatización optimizó el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la “Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión”, 2023.
- La escalabilidad optimizó el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la “Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión”, 2023.
- El control de condiciones optimizó el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la “Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión”, 2023.

2.4. Operacionalización de las variables

Las variables de investigación se presentan a continuación:

- **Variable 1:** Fotobiorreactor autónomo
- **Variable 2:** Cultivo de Spirulina SPP

2.4.1. Matriz de Operacionalización de variables

Cuadro 1.

“Matriz de Operacionalización de variables”

“VARIABLE”	“DEFINICION CONCEPTUAL”	“DIMENSIONES”	“INDICADORES”	“INSTRUMENTO”
Fotobiorreactor autónomo	Un fotobiorreactor autónomo es un dispositivo diseñado para cultivar microorganismos fotosintéticos, como algas o cianobacterias, en condiciones controladas de iluminación, temperatura, nutrientes y otros factores ambientales, de manera autónoma y automatizada.	X.1.- Automatización	X.1.1. Condiciones de cultivo X.1.2. Monitorear parámetros ambientales X.1.3. Seguimiento continuo	Ficha de registro para recolectar la información sobre la variables independiente y dependiente
		X.2.- Escalabilidad	X.2.1. Capacidad de adaptarse X.2.2. Eficiencia a diferentes escalas X.2.3. Volumen de cultivo	
		X.3.- Control de condiciones	X.3.1. Intensidad de la luz X.3.2. La temperatura X.3.3. El Ph X.3.4. Concentración de nutrientes	
Cultivo de Spirulina SPP	Se refiere al proceso de crecimiento y propagación controlada de microorganismos pertenecientes al género Spirulina.	Y.1.- Optimización de Condiciones de Cultivo	Y.1.1. Intensidad de la luz Y.1.2. La temperatura Y.1.3. El Ph Y.1.4. Concentración de nutrientes	
		Y.2.- Sostenibilidad y Calidad del Cultivo	Y.2.1. Prácticas sostenibles Y.2.2. Prevención de contaminación Y.2.3. Garantía de calidad	
		Y.3.- Aplicaciones sostenibles	Y.3.1. Producción de alimentos Y.3.2. Acuicultura y agricultura Y.3.3. Investigación científica Y.3.4. Biotecnología	

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación aplicada se distingue por su enfoque práctico y su aplicación directa para abordar problemas específicos en el mundo real. Este tipo de investigación se orienta hacia la resolución de desafíos prácticos y la mejora de procesos existentes en diferentes campos. Al contrario de la investigación puramente teórica, la investigación aplicada busca generar conocimientos que puedan ser implementados y tienen un impacto directo en la solución de problemas concretos. (Ñaupas, Mejía, Novoa y Villagómez, 2014).

3.1.2 Nivel de Investigación

Hernández, Fernández y Baptista (2014) La investigación correlacional se centra en identificar y comprender la relación o asociación entre dos o más variables, sin establecer una relación de causa y efecto entre ellas. Este tipo de investigación busca determinar si y cómo las variables están relacionadas y cómo cambian juntas, pero no intenta demostrar una relación de causalidad.

3.1.3 Diseño

El diseño experimental es un método sistemático utilizado en la investigación científica para planificar y llevar a cabo experimentos con el

objetivo de probar hipótesis, estudiar relaciones causa-efecto entre variables y recopilar datos de manera controlada y estructurada. En términos simples, implica la creación de un plan detallado que describe cómo se realizará un experimento para obtener información relevante y confiable. (Ñaupas, Mejía, Novoa, & Villagómez, 2014).

3.1.4 Enfoque

El enfoque mixto de investigación es un paradigma metodológico que combina elementos cualitativos y cuantitativos en un mismo estudio o proyecto de investigación. Esta estrategia se utiliza para integrar y complementar los puntos fuertes de ambas metodologías, lo cual permite obtener una comprensión más completa y profunda de un fenómeno o problema de investigación (Ñaupas, Mejía, Novoa y Villagómez, 2014)

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población estuvo todos los tipos de Spirulina, tipo de microalga que se ha utilizado durante mucho tiempo como un suplemento dietético debido a su alto contenido nutricional.

3.2.2 Muestra

Como muestra se seleccionó a la Spirulina SPP es un tipo de cianobacteria, también conocida como alga verde-azulada, que se cultiva y se utiliza como suplemento dietético y alimento debido a su alto valor nutricional.

3.3 Técnica para la recolección de datos

Técnicas cualitativas:

- Entrevistas: Entrevistar a expertos en biotecnología, ingenieros, científicos o investigadores con experiencia en el cultivo de microalgas para obtener opiniones, sugerencias o información relevante sobre el diseño del fotobiorreactor.
- Grupos focales: Realizar discusiones grupales con investigadores o especialistas en biotecnología para recopilar ideas, perspectivas y recomendaciones sobre el diseño del fotobiorreactor.

Técnicas cuantitativas:

- Observaciones: Observar el proceso de cultivo de Spirulina spp en el laboratorio para recopilar datos cuantitativos sobre el rendimiento, el

crecimiento, la densidad celular, la temperatura, el pH u otras variables relevantes.

- Mediciones y análisis de laboratorio: Realizar mediciones específicas en el cultivo de *Spirulina* spp, como el contenido de clorofila, el contenido proteico, la tasa de crecimiento, la fotosíntesis, entre otros, utilizando equipos de laboratorio adecuados.
- Encuestas o cuestionarios: Recopilar información sobre las necesidades y requisitos específicos para el diseño del fotobiorreactor mediante encuestas a expertos en el campo, estudiantes, o personal que trabaje con cultivos de *Spirulina*.
- Registro de datos del fotobiorreactor: Implementar sensores y dispositivos de medición en el fotobiorreactor para recopilar datos en tiempo real sobre parámetros como temperatura, iluminación, flujo de nutrientes, oxígeno disuelto, entre otros.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

A continuación, se presentan los dispositivos necesarios para el diseño de prototipo:

- **Sensor PH:** Módulo sensor de PH líquido con sonda hidropónico BNC.

Descripción del producto

“El Módulo sensor de PH líquido PH0-14 de sensor de detección de valor incluye sonda de electrodo de pH BNC”

Características técnicas

“Voltaje de funcionamiento: $5 \pm 0,2$ V (AC/DC)

Corriente de funcionamiento: 5-10mA

Rango de concentración Detectable: PH0-14

Rango de temperatura de detección: 0-80 °C

Tiempo de respuesta: ≤ 5 S

Tiempo de instalación: ≤ 60 S

Potencia del componente: $\leq 0,5$ W

Temperatura de trabajo: -10 ~ 50 °C (temperatura nominal 20 °C)

Humedad: 95% de humedad relativa (humedad nominal 65% de humedad relativa).

Tamaño del módulo de prueba de PH: 42mm * 32mm * 20mm

Salida: salida de señal de voltaje analógica

Con 4 orificios de montaje M3”



Figura 1. “Módulo sensor de PH líquido con sonda hidropónico BNC”

- **Sensor de temperatura DS18B20:** Naylamp (2020) “El DS18B20 es un sensor digital de temperatura que utiliza el protocolo 1-Wire para comunicarse, este protocolo necesita solo un pin de datos para comunicarse y permite conectar más de un sensor en el mismo bus”. Naylamp (2020) “El sensor DS18B20 es fabricado por Maxim Integrated, el encapsulado de fabrica es tipo TO-92 similar al empleado en transistores pequeños. La presentación comercial más utilizada por conveniencia y robustez es la del sensor dentro de un tubo de acero inoxidable resistente al agua, con el que trabajemos este tutorial”.

Naylamp (2020) “Con este sensor podemos medir temperatura desde los -55°C hasta los 125°C y con una resolución programable desde 9 bits hasta 12 bits. Cada sensor tiene una dirección única de 64bits establecida de fábrica, esta dirección sirve para identificar al dispositivo con el que se está comunicando, puesto que en un bus 1-wire pueden existir más de un dispositivo”.

El sensor tiene dos métodos de alimentación:

Alimentación a través del pin de datos:

Naylamp (2020) “De esto forma, el sensor internamente obtiene energía del pin de datos cuando este se encuentra en un estado alto y almacena carga en un condensador para cuando la línea de datos esté en un estado bajo, a esta forma de obtener energía se le llama “Parasite Power” y se usa cuando el sensor debe conectarse a grandes distancias o en donde el espacio es limitado, puesto que de esta forma no se necesita la línea de VDD. El diagrama para su conexión debe ser de la siguiente forma”:

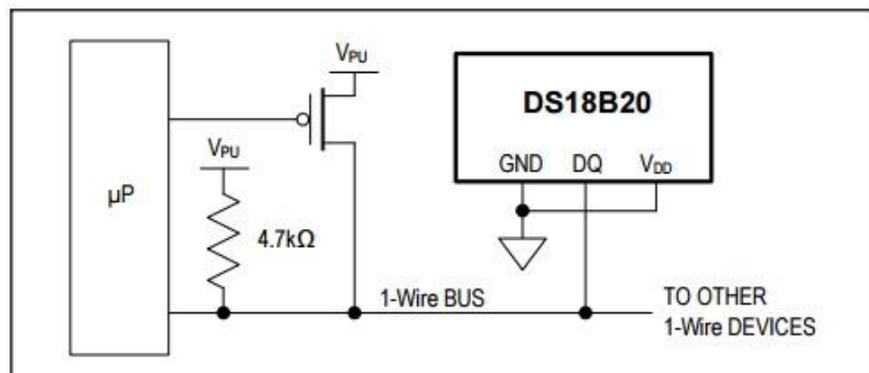


Figura 2. “Diagrama de conexión del sensor DS18B20”

Naylamp (2020) “Notar que el pin GND y VDD están ambos conectados a GND, esto es indispensable para que se active el Parasite Power . EL MOSFET en la imagen es necesario para cuando se realicen conversiones de temperatura o copiar datos desde la memoria de circuito de la EEPROM, en estas operaciones la corriente de operación aumenta y si solo se suministra energía a través de la resistencia pueden causar caídas de voltaje en el condensador interno”.

Alimentación usando una fuente externa:

Naylamp (2020) “De esta forma el sensor se alimenta a través del pin VDD, de esta forma el voltaje es estable e independiente del tráfico del bus 1-wire”.

El diagrama de conexión es de la siguiente forma:

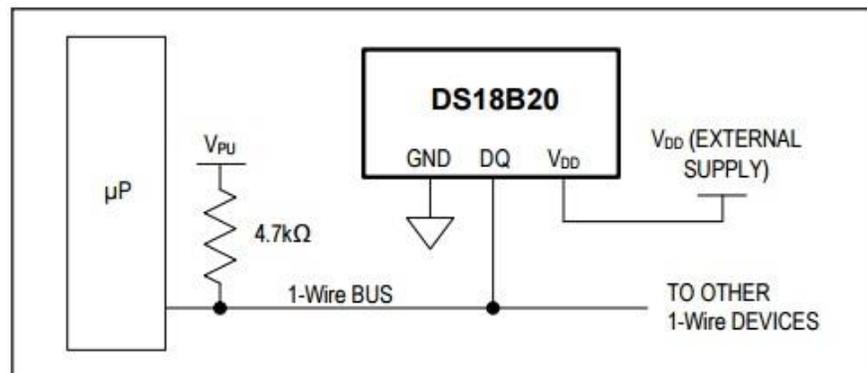


Figura 3. “Diagrama de conexión del sensor DS18B20 con fuente externa”

- **Sensor de intensidad lumínica BH1750:** Naylamp (2020) “EL módulo BH1750 es un sensor de luz, que a diferencia del LDR es digital y nos entrega valores de medición en Lux (lumen /m²) que es una unidad de medida estándar para el nivel de iluminación (iluminancia). Tiene alta precisión y un rango ente 1 – 65535 lx el cual es configurable”.



Figura 4. “Sensor de intensidad lumínica BH1750”

Naylamp (2020) “EL módulo tiene un regulador interno de 3.3V pudiendo alimentar con 5V sin problemas. La interfaz de comunicación es I2C pudiéndolo implementar en la mayoría de microcontroladores, el módulo aparte de los pines de alimentación y pines I2C tiene un pin para establecer la dirección”.

- **Tiras de LED blancas a 12V:**



Figura 5. “Tira de LED blancas a 12V”

- **Bomba de aire Sobo:** La Bomba De Aire Sobo Para Acuarios Y Peceras Sb-948 es el complemento perfecto para mantener un ambiente saludable en tu acuario o pecera. Con su diseño compacto y dimensiones de 14 cm de altura, 18 cm de largo y 9 cm de ancho, se adapta fácilmente a cualquier espacio.

Esta bomba de aire de la reconocida marca Sobo es ideal para su uso en peceras y acuarios, proporcionando un caudal máximo de agua de 12 l/m. Además, su modelo SB-948 garantiza un rendimiento eficiente y duradero.

Características:

Cuatro orificios de aireación, volumen de aire ajustable, silencioso.

Voltaje: 220-240V, 50Hz (personalizable)

Potencia: 8W

El volumen de aire: 4 * 3L/min

Con su potente motor, esta bomba de aire asegura una óptima oxigenación del agua, creando un ambiente propicio para la vida de tus peces y plantas acuáticas. Su funcionamiento silencioso no perturbará la tranquilidad de tu hogar ni la de tus mascotas.



Figura 6. “Bomba de aire Sobo Sb-948”

- **ESP32:** El ESP32 es un microcontrolador altamente versátil y poderoso desarrollado por Espressif Systems, diseñado principalmente para aplicaciones de Internet de las cosas (IoT) y dispositivos embebidos. Con su arquitectura de doble núcleo, el ESP32 ofrece un rendimiento excepcional que permite la ejecución de múltiples tareas de manera eficiente. Además de su capacidad de procesamiento, el ESP32 cuenta con conectividad inalámbrica integrada, incluyendo Wi-Fi y Bluetooth, lo que facilita la comunicación con otros dispositivos y la conexión a redes locales e

internet. Esto lo convierte en una opción ideal para proyectos que requieren interacción y control remoto.

Una de las características destacadas del ESP32 es su amplia gama de pines GPIO y sus numerosos periféricos integrados, que ofrecen flexibilidad para conectar una variedad de sensores, actuadores y otros dispositivos externos. Además, el ESP32 está diseñado para ser eficiente en cuanto a consumo de energía, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que funcionan con baterías o energía limitada. Esta combinación de potencia, conectividad y eficiencia energética ha llevado al ESP32 a ser ampliamente adoptado en una variedad de proyectos, desde sistemas de monitoreo y automatización del hogar hasta dispositivos portátiles y wearables, respaldado por una activa comunidad de desarrolladores y una amplia gama de recursos disponibles en línea.

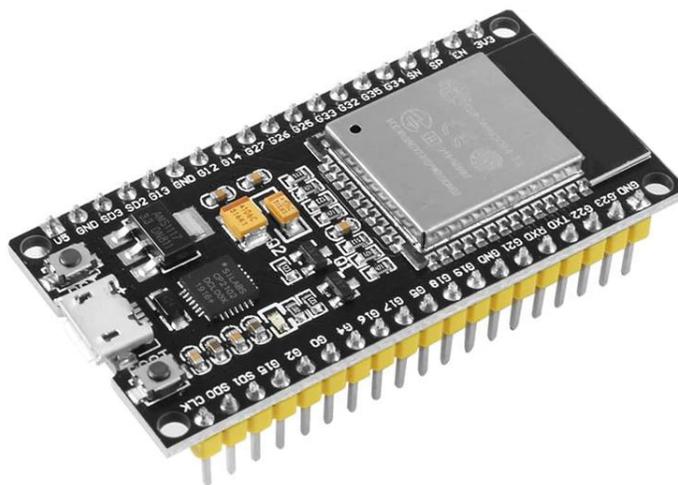


Figura 7. “Controlador ESP32”

A continuación, se presente la simulación del sistema electrónico utilizando el controlador ESP32. En la figura 8 se visualiza la fecha y la asignación del tiempo.

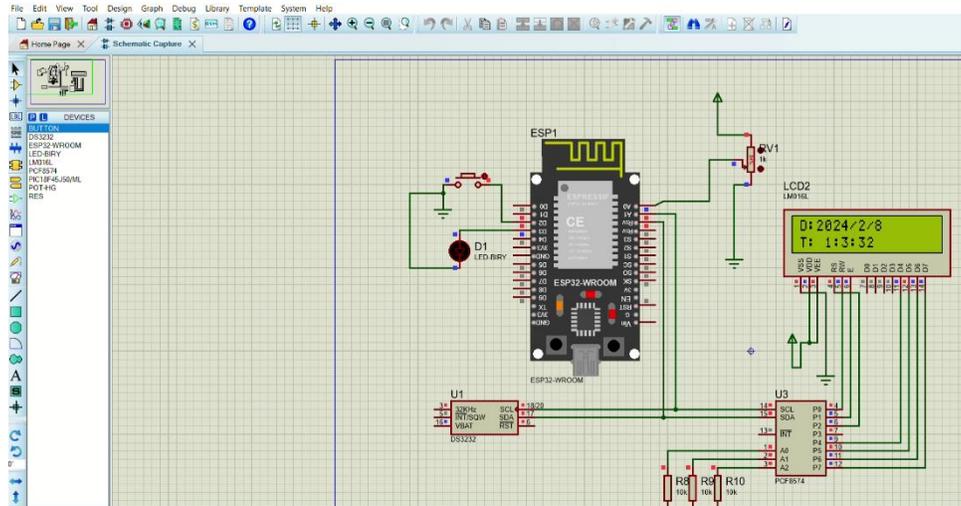


Figura 8. “Simulación del fotobiorreactor”

En la figura 9 se visualiza el valor del fotoperiodo el cual se establece en 20 horas.

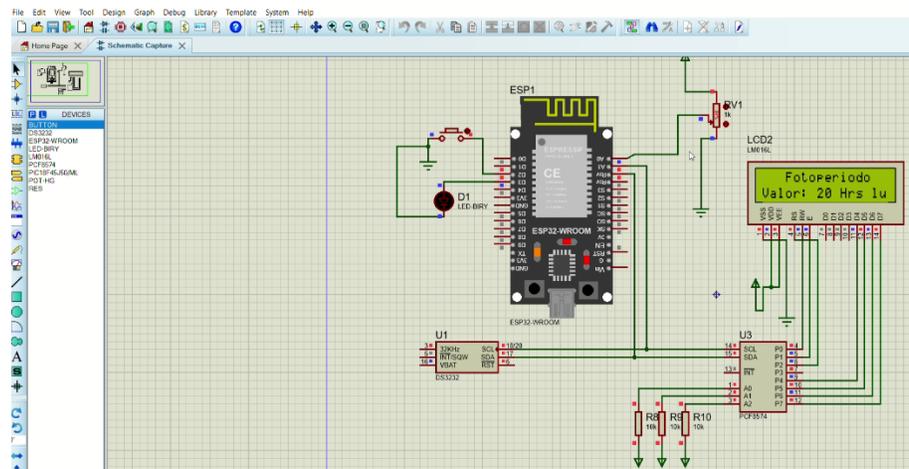


Figura 9. “Valor del fotoperiodo”

En la figura 10 se visualiza el valor de la intensidad.

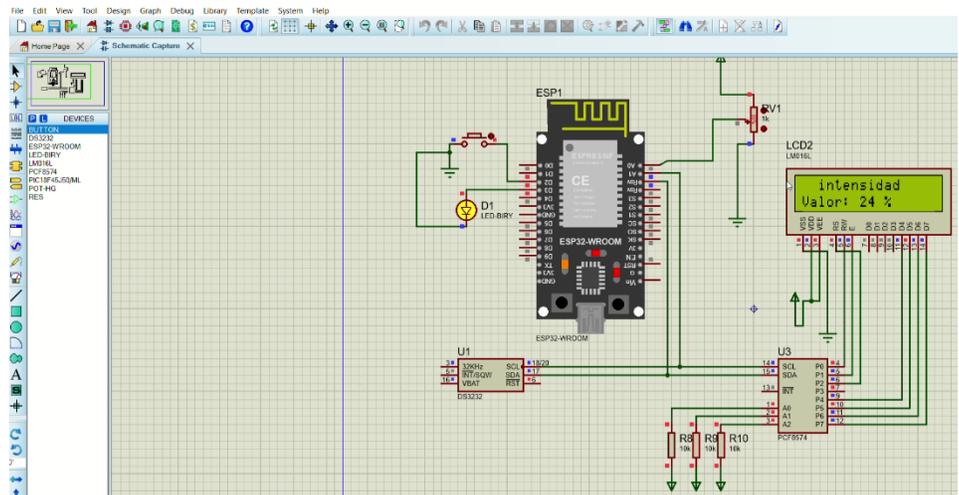


Figura 10. “Ajuste de la intensidad”

Finalmente se presenta el código implementado en el controlador ESP32 y desarrollado en el compilador ARDUINO IDE.

```
#include <Wire.h>

#include <LCD.h>

#include "RTClib.h"

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

RTC_DS1307 RTC;

int Dedi;

LiquidCrystal_I2C lcd (0x27,2,1,0,4,5,6,7);

const int potPin = A0; // Pin analógico para el potenciómetro

const int buttonPin = 2; // Pin digital para el botón

const int TiraLED = 3; // Pin digital para el buzzer
```

```

int    Hrs,porcentaje,HrsActual,HrsLuz,    HrsOff,HrsOn,HrsInicio,HrsNoche,
Minut1,MinutActual;

const int fotoperiodoValores[] = {2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20};

int fotoperiodoIndex = 0;

int intensidad= 0;

bool configu = true;

bool control = true;

volatile bool botonPresionado = false;

void setup() {
  RTC.begin(); // Inicia la comunicaciøn con el RTC

  RTC.adjust(DateTime(_DATE, __TIME_));

  Serial.begin(9600);

  lcd.setBacklightPin(3,POSITIVE);

  lcd.setBacklight(HIGH);

  lcd.begin(16,2);

  lcd.clear();

  pinMode(buttonPin, INPUT_PULLUP);

  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(buttonPin), botonInterrupcion, FALLING);

  pinMode(TiraLED, OUTPUT);

  digitalWrite(TiraLED, LOW);
}

void loop() {

  if (botonPresionado) {

    configu=!configu;

```

```

botonPresionado=true;

delay(50);

while(configu){

    DateTime now = RTC.now();

    HrsInicio=now.hour();

    Minut1=now.minute();

    lcd.setCursor(0, 0);

    lcd.print(" Fotoperiodo  ");

    fotoperiodoIndex = map(analogRead(potPin), 0, 1023, 0, 9);

    HrsLuz= fotoperiodoValores[fotoperiodoIndex];

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("Valor: ");

    lcd.print(HrsLuz);

    lcd.print(" Hrs luz");

    delay(100);

    if (botonPresionado==false){

        botonPresionado=false;

        delay(50);

        while(configu){

            lcd.setCursor(0, 0);

            lcd.print(" intensidad ");

            intensidad= map(analogRead(potPin), 0, 1023, 0, 255);

            porcentaje = (intensidad*100)/1023;

            analogWrite(TiraLED, intensidad);

```



```

lcd.print("/");

lcd.print(now.month(), DEC);

lcd.print("/");

lcd.print(now.day(), DEC);

lcd.print(" ");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("T: ");

lcd.print(now.hour(), DEC);

lcd.print(":");

lcd.print(now.minute(), DEC);

lcd.print(":");

lcd.print(now.second(), DEC);

delay(500); // La informaciòn se actualiza cada 1 seg.

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("      ");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("      ");

if(control==true){

  HrsOff=HrsInicio+HrsLuz;

  if(HrsOff>24){

    HrsOff=( HrsInicio+HrsLuz)-24;

    if (HrsActual==HrsOff && MinutActual==Minut1 ) {

      analogWrite(TiraLED,0);

      control=false;

```

```

    HrsInicio=now.hour();

}

}

else {

if (HrsActual==HrsOff && MinutActual==Minut1 ) {

    analogWrite(TiraLED,0);

    control=false;

    HrsInicio=now.hour();

}

}

}

if(control==false){

HrsNoche=24-HrsLuz;

HrsOn=HrsInicio+HrsNoche;

if(HrsOn>24){

    HrsOn= (HrsInicio+HrsNoche )-24;

    if (HrsActual==HrsOn && MinutActual==Minut1 ) {

        analogWrite(TiraLED,intensidad);

        control=true;

        HrsInicio=now.hour();

    }

}

else {

    if (HrsActual==HrsOn && MinutActual==Minut1) {

```

```

    analogWrite(TiraLED,intensidad);

    HrsInicio=now.hour();

    control=true;

}

}

}

}

void botonInterrupcion() {

    botonPresionado = !botonPresionado; // Indica que el botón ha sido presionado

}

```

Tabla 1.

Presupuesto para el fotobiorreactor

Dispositivos y materiales	Precio por unidad	Cantidad	Precio total
Módulo sensor de PH líquido con sonda hidropónico BNC	149	1	149
Sensor de temperatura DS18B20	10	1	10
Sensor de intensidad lumínica BH1750	10	1	10
Tiras de LED blancas a 12V	134	1	134
Bomba de aire Sobo Sb-948	90	1	90
ESP32	45	1	45
Estructura	100	1	100
Total			S/. 538.00

4.2 Contrastación de hipótesis

Hipótesis General

Hipótesis Alternativa: El fotobiorreactor autónomo optimizó el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.

Hipótesis Nula: El fotobiorreactor autónomo no logró optimizar el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.

Análisis: Tal como se puede visualizar en la figura 8, figura 9 y figura 10, se logró optimizar el horario, la intensidad y la interfaz, para monitorear los fotoperiodos del cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.

Hipótesis específica 1

Hipótesis Alternativa: La automatización optimizó el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.

Hipótesis Nula: La automatización no logró optimizar el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.

Análisis: Tal como se puede visualizar en la figura 9, se logró optimizar el horario para los fotoperiodos del cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.

Hipótesis específica 2

Hipótesis Alternativa: La escalabilidad optimizó el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.

Hipótesis Nula: La escalabilidad no logró optimizar el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.

Análisis: Tal como se puede visualizar en la figura 10, se logró optimizar la intensidad para los fotoperiodos del cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.

Hipótesis específica 3

Hipótesis Alternativa: El control de condiciones optimizó el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.

Hipótesis Nula: El control de condiciones no logró optimizar el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.

Análisis: Tal como se puede visualizar en los resultados, se logró optimizar el control basado en un ESP32 para las condiciones del cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1 Discusión de los resultados

En cuanto a los resultados obtenidos se coincide con Martínez A.D, Gómez B.P, Diaz M.A y Ruiz M.A, en su trabajo de investigación concluyeron que el éxito en el diseño y construcción del fotobiorreactor, su eficacia en el crecimiento de la microalga *C. vulgaris*, el logro de los objetivos la producción y la productividad de biomasa, y la identificación de parámetros que podrían ser optimizados en futuras investigaciones, incluyendo el contenido de nitrógeno del medio, la agitación y la cantidad de luz. Estos hallazgos proporcionan una base para la investigación futura en este campo. Así mismo con Delgado (2022) quien menciona que los resultados indican que el fotoperiodo, intensidad y calor de luz influyen significativamente en la densidad celular y la producción de biomasa de *Espirulina*. El tesista concluye que las condiciones óptimas para el cultivo de *spirulina* (*Arthrospira platensis*) en biorreactores abiertos influyen una temperatura de 24°C, un fotoperiodo de 12 horas de luz, una intensidad de luz de 3240 lux y luz blanca (575nm). Abril (2002) concluye que se logró identificar el tipo de fotobiorreactor y la metodología de diseño óptima para desarrollar un sistema eficiente de cultivo de microalgas, utilizando algoritmos de diseño. Esto resultó en la elección de un fotobiorreactor tubular y una aproximación semi empírica.

Finalmente, hay que recordar que según Ramos (2019) la producción de *Spirulina*. Ramos concluye que la producción de *Spirulina* se está beneficiando de la mejora continua, con un enfoque en la innovación tecnológica en diferentes etapas de producción.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Podemos concluir que:

- El fotobiorreactor autónomo optimizó el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la “Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023”.
- La automatización optimizó el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la “Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023”.
- La escalabilidad optimizó el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la “Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023”.
- El control de condiciones optimizó el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la “Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023”.

6.2 Recomendaciones

- **Evaluación Continua del Rendimiento:** Implementa un sistema de monitoreo continuo del rendimiento del fotobiorreactor y del crecimiento de la *Spirulina* spp. Esto permitirá identificar posibles desviaciones en los parámetros óptimos de cultivo y realizar ajustes oportunos para maximizar la productividad y la calidad del producto final.
- **Integración de Tecnologías Sostenibles:** Considera la integración de tecnologías sostenibles, como el uso de energía renovable o la reutilización de recursos, para hacer que el proceso de cultivo sea más ecoamigable y reducir el impacto ambiental. Esto no solo fortalecerá la viabilidad a largo plazo del proyecto, sino que también resaltarán su compromiso con la responsabilidad ambiental.
- **Divulgación de Resultados y Colaboración:** Fomenta la divulgación de los resultados obtenidos a través de publicaciones científicas, presentaciones en conferencias y colaboraciones con otras instituciones o empresas interesadas en la producción de *Spirulina* spp. Esta difusión no solo contribuirá al avance del conocimiento en el campo de la biotecnología, sino que también abrirá nuevas oportunidades de colaboración y potenciales aplicaciones prácticas de la investigación realizada.

REFERENCIAS

7.1 Referencias bibliográficas

- Abril, M. R. (2022). *Diseño de un sistema de producción de concentrado de biomasa de microalgas marinas para la nutrición de organismos hidrobiológicos de interés comercial*. [Universidad Peruana Cayetano Heredia].
- Hernández, R., Fernández, C y Baptista, P. (2014) *Metodología de la Investigación*. McGraw Hill España
- Mejía J.G. & Ninantay A.F. (2019). *Desarrollo de un prototipo electrónico de control y monitoreo remoto, orientado a la medición de parámetros de temperatura, oxígeno disuelto y pH en posas de crianza de tilapia* [Universidad San Martín De Porres].
- Ñaupas-Paitán, H., Mejía-Mejía, E., Novoa-Ramírez, E., & Villagomez-Páucar, A. (2014). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis* (4th ed.). Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Ramos, L. A. (2019). *Análisis de experiencias de mejora continua en la producción industrial de Spirulina* [Universidad Privada Del Norte].
- Romero H.E. & Molina V.A. (2021a). *Diseño de un sistema de iluminación móvil para un fotobiorreactor cerrado de cultivo de microalgas* [Escuela Superior Politécnica Del Litoral].
- Sánchez, K. P. (2018). *Evaluación del diseño de un fotobiorreactor con iluminación fotovoltaica para la obtención de biomasa *Arthrospira plantensis* (Nordstedt) Gomont empleando agua residual hidropónica* [Universidad Católica Sedes Sapientiae].

Sánchez, P. R. (2019). *Planificación De Un Nuevo Modelo De Mantenimiento Preventivo Para Los Equipos Médicos Del Hospital De Los Valles, Aplicable Al Año 2019*. (Tesis posgrado). Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador.

Sanz, V. F. (2019). *Diseño de un fotobiorreactor para la obtención de compuestos bioluminiscentes* [Escuela Técnica Superior De Ingeniería Industrial].

7.2 Referencias electrónicas

Castro, A. M. (2019). *Diseño y construcción de un fotobiorreactor para la obtención y análisis de las curvas de crecimiento de cepas de cianobacterias unicelulares* [Universidad de Costa Rica].

<https://repo.sibdi.ucr.ac.cr/handle/123456789/19056>

Delgado, B. S. (2022). *Influencia del fotoperiodo, intensidad de luz en la producción de biomasa de spirulina (artrosphira plantensis) en biorreactores abiertos* [Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa].

<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/85d24ef2-4830-44fd-bf4e-0afcdb5efa77/content>

Inostroza, C. E. (2023). *Diseño y Optimización de Fotobiorreactores Raceway y Capa Fina mediante Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) acoplado a Métodos Numéricos de Fotosíntesis* [Universidad De Almería].

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=320668>

Martínez, A. J. (Ed.). (2020). *Diseño, construcción y operación de un fotobiorreactor flat panel para el cultivo de microalgas* (Vol. 12, Número ISSN 1940-2171).

Revista de la Alta Tecnología y Sociedad.

https://www.researchgate.net/publication/344340793_Disen%C3%B3_construcci%C3%B3n_y_puesta_en_marcha_de_un_fotobiorreactor_flat_panel_para_el_cultivo_de_microalgas

ANEXOS

ANEXO N°1
MATRIZ DE CONSISTENCIA

Matriz de Consistencia: DISEÑO DE UN FOTOBIORREACTOR AUTÓNOMO PARA OPTIMIZAR EL CULTIVO DE SPIRULINA SPP EN EL LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA – UNJFSC, 2023

PROBLEMA	OBJETIVOS	JUSTIFICACIÓN	HIPÓTESIS	VARIABLES	INSTRUMENTOS
<p>Problema general ¿Cómo el fotobiorreactor autónomo optimizará el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023?</p> <p>Problemas específicos ¿Cómo la automatización optimizará el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023?</p> <p>¿Cómo la escalabilidad optimizará el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023?</p> <p>¿Cómo el control de condiciones optimizará el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023?</p>	<p>Objetivo general Determinar si el fotobiorreactor autónomo optimizará el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.</p> <p>Objetivos específicos Determinar si la automatización optimizará el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.</p> <p>Determinar si la escalabilidad optimizará el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.</p> <p>Determinar si el control de condiciones optimizará el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.</p>	<p>Justificación La investigación que busca diseñar un fotobiorreactor autónomo para optimizar el cultivo de Spirulina spp en un laboratorio de biotecnología encuentra su justificación en la necesidad de abordar desafíos críticos en la producción de esta microalga altamente nutritiva.</p>	<p>Hipótesis general El fotobiorreactor autónomo optimizó el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.</p> <p>Hipótesis específicas La automatización optimizó el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.</p> <p>La escalabilidad optimizó el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.</p> <p>El control de condiciones optimizó el cultivo de Spirulina SPP en el laboratorio de biotecnología en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023.</p>	<p>Variable 1: Fotobiorreactor autónomo</p> <p>Variable 2: Cultivo de Spirulina SPP</p>	<p>Ficha de observación para registrar los datos de las variables independiente y dependiente.</p>