

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**



**Evaluación de un estanque tipo canal para mejorar el rendimiento y la
calidad morfológica del cultivo de espirulina (*Arthrospira Platensis*) en
la empresa Musuq Kawsay**

Tesis para optar el título profesional de:
Ingeniero Agroindustrial

Presentado por:
Bach. Jaime Omar Mallqui Pablo

Asesor:
MSc. Jorge Adalberto Málaga Juárez

Coasesora:
MSc. Leidy Diana Medina Quiquin

Ayacucho - Perú

2024

DEDICATORIA

A Dios fuente de vida y sabiduría.
A mis padres Saturnina y Damián quienes con su enseñanza y apoyo incondicional me ayudaron a culminar una etapa más de mi vida, a mi querida hermana Nora por su apoyo e impulsarme hacia adelante y alcanzar mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

- A mi alma mater, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, que me dio la formación profesional que hoy poseo y que me permitió desarrollar el trabajo de tesis. De manera especial a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por el empeño y esfuerzo que me brindaron durante mis estudios.
- Al Ing. Jorge Adalberto Málaga Juárez asesor de la tesis, por su apoyo incondicional en el desarrollo de este trabajo.
- A la Mg. Leidy Diana Medina Quiquin por su apoyo en el desarrollo de la tesis.
- A mi familia y amigos Romel Alcarraz y Mariela Bautista, por el gran apoyo brindado en mi vida profesional y estar presentes en todo momento.

RESUMEN

En la provincia de Huamanga, la empresa Musuq Kawsay SAC se dedica al cultivo de espirulina (*A. Platensis*) en sistema abierto con el objetivo de aprovechar su alto valor nutricional y producir diversos subproductos alimentarios. Sin embargo, en la actualidad el rendimiento de su producción es muy reducido. Haciendo un análisis en el lugar de producción se identificó ciertas deficiencias mencionadas a continuación: la forma y dimensión del estanque, inadecuada agitación, mala distribución de iluminación en la biomasa, estas deficiencias perjudican el desarrollo y crecimiento adecuado de la microalga, como consecuencia genera un bajo rendimiento de producción y heterogeneidad de la calidad morfológica de sus tricomas, frente a estas deficiencias que afectan la productividad y calidad morfológica del cultivo, con este trabajo de investigación se pretende evaluar los parámetros de operación: velocidad de agitación, tiempo de agitación y profundidad del flujo de agua en un estanque tipo canal, para mejorar el rendimiento y la calidad morfológica del cultivo.

Se diseñó el estanque de tipo canal haciendo uso del software Sketchup, el cual nos permitió obtener un prototipo estructural con las características y consideraciones necesarias posterior a ello se construyó el estanque tomando en cuenta el diseño preliminar del software Sketchup, con las consideraciones y características adecuadas. Luego, se procedió a evaluar los efectos de diferentes niveles de velocidad de agitación (7 RPM, 9 RPM, 12 RPM), tiempos de agitación (12 h, 24 h) y alturas del medio de cultivo (0,15 m; 0,23 m; 0,30 m).

Los resultados de estas evaluaciones han señalado que los parámetros de operación más adecuados para mejorar tanto el rendimiento como la calidad morfológica son una velocidad de agitación de 9 RPM, una altura del medio de cultivo de 0,23 m y un tiempo de agitación de 12 horas. Estos ajustes llevaron a una producción de 1064 g de espirulina en peso seco por semana, equivalente a 0,265 g/L, lo que representa un aumento considerable del rendimiento en un 33 %. En términos de calidad morfológica, se logró un porcentaje de tricomas espirales del 30 ± 5 %.

Palabras claves: Tricoma, espirulina, tanque tipo canal, parámetros de operación, concentración de espirulina.

ABSTRACT

In the province of Huamanga, Musuq Kawsay SAC cultivates spirulina (*A. Platensis*) in an open system in order to take advantage of its high nutritional value and produce various food byproducts. However, production yields are currently very low. An analysis at the production site identified certain deficiencies mentioned below: the shape and size of the pond, inadequate agitation, poor distribution of lighting in the biomass, these deficiencies impair the development and proper growth of the microalgae, as a result generates a low production yield and heterogeneity of the morphological quality of its trichomes, facing these deficiencies that affect the productivity and morphological quality of the crop, with this research work is intended to evaluate the operating parameters: agitation speed, agitation time and water flow depth in a channel type pond, to improve the yield and morphological quality of the crop.

The channel type pond was designed using the Sketchup software, which allowed us to obtain a structural prototype with the necessary characteristics and considerations, after which the pond was built taking into account the preliminary design of the Sketchup software, with the appropriate considerations and characteristics.

Then, we proceeded to evaluate the effects of different agitation speed levels (7 RPM, 9 RPM, 12 RPM), agitation times (12 h, 24 h) and culture medium heights (0.15 m; 0.23 m; 0.30 m).

The results of these evaluations have indicated that the most suitable operating parameters to improve both yield and morphological quality are an agitation speed of 9 RPM, a culture medium height of 0.23 m and an agitation time of 12 hours. . These adjustments led to a production of 1064 g of spirulina dry weight per week, equivalent to 0.265 g/L, which represents a considerable increase in yield by 33 %. In terms of morphological quality, a percentage of spiral trichomes of 30 ± 5 % was achieved.

Keywords: Trichome, spirulina, channel-type tank, operating parameters, spirulina concentration.

ÍNDICE

Página

CARÁTULA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN.....	1
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1. Problema principal.....	3
1.2.2. Problemas secundarios	3
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.4.1. Hipótesis general.....	4
1.4.2. Hipótesis específicas.....	4
1.5. JUSTIFICACIÓN	4
II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
2.1.1. Internacional.....	6
2.1.2. Nacional	9
2.1.3. Local.....	10
2.2. BASES TEÓRICAS	10
2.2.1. Espirulina.....	10
2.2.2. Parámetros de cultivo de la espirulina	13
2.2.3. Calidad morfológica.....	18
2.2.4. Factores que influyen en el rendimiento y la calidad morfológica	19
2.2.5. Sistemas de cultivo.....	19
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	28
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	28

3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA	28
3.4.	VARIABLES E INDICADORES.....	29
3.4.1.	Variable independiente	29
3.4.2.	Variable dependiente.....	29
3.5.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	29
3.6.	VARIABLES FIJAS DE INVESTIGACIÓN	30
3.7.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	33
3.7.1.	Identificación de factores	34
3.7.2.	Diseño del estanque.....	35
3.7.3.	Construcción del estanque tipo canal	39
3.7.4.	Tratamiento experimental	39
3.7.5.	Obtención de la concentración de espirulina	40
3.7.6.	Calidad morfológica de la espirulina	43
3.8.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	44
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1.	DISEÑO PRELIMINAR	46
4.2.	CONSTRUCCIÓN DE ESTANQUES.....	49
4.3.	CONCENTRACIÓN DEL CULTIVO DE ESPIRULINA	50
4.4.	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MORFOLÓGICA DEL CULTIVO	54
	CONCLUSIONES.....	60
	RECOMENDACIONES.....	61
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
	ANEXOS.....	65

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 2 Composición bioquímica de la espirulina	11
Tabla 3 Operacionalización de variables de investigación	30
Tabla 4 Cantidad de masa seca (g) cosechada / semana por estanque	66
Tabla 5 Conteo de morfología de los tricomas lineales y espirales con un tiempo de agitación de 12 h	69
Tabla 6 Conteo de morfología de los tricomas lineales y espirales con un tiempo de agitación de 24 h	71

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Ciclo de vida de la espirulina (A. Platensis) Ciclo de vida de la espirulina (A. Platensis)	12
Figura 2 Sistema de producción de Dunaliella salina en balsas artificiales	21
Figura 3 Sistema de producción de Chlorella en estanques circulares	22
Figura 4 Sistema de producción de microalgas en columna de burbujeo	23
Figura 5 Sistema de producción de microalgas en fotobiorreactores planos inclinados	24
Figura 6 Sistema de producción de microalga espirulina en fotobiorreactores tubulares	25
Figura 7 Diseño de un estanque de tipo canales	31
Figura 8 Deflectores de un estanque de tipo canales	32
Figura 9 Paletas de agitación	33
Figura 10 Diagrama de flujo del desarrollo experimental	34
Figura 11 Dimensiones del estanque	38
Figura 12 Espirulina cosechada	41
Figura 13 Lavado y filtrado de la espirulina	41
Figura 14 Prensado de la espirulina	42
Figura 15 Extruido de la espirulina	42
Figura 16 Secado en bandejas	43
Figura 17 Conteo de la morfología de la espirulina	44
Figura 18 Diseño preliminar del estanque tipo canal 2D	46
Figura 19 Diseño preliminar del estanque tipo canal 3D	47
Figura 20 Diseño preliminar 2D de los estanques en el área disponible	47
Figura 21 Diseño preliminar 3D de los estanques en el área disponible	48
Figura 22 Proceso de construcción de los estanques	49
Figura 23 Finalización de la construcción de los estanques	49
Figura 24 Resultado de la gráfica de efectos principales	50
Figura 25 Efecto de la temperatura sobre el crecimiento de microalgas	51
Figura 26 Resultado de Análisis de varianza	53
Figura 27 Optimización de respuesta: Concentración g/L	54
Figura 28 Conteo de la morfología espiral con 7 RPM y 12 horas de agitación	55
Figura 29 Conteo de la morfología espiral con 9 RPM y 12 horas de agitación	55
Figura 30 Conteo de la morfología espiral con 12 RPM y 12 horas de agitación	56
Figura 31 Conteo de la morfología espiral con 7 RPM con 24 h de agitación	57
Figura 32 Conteo de la morfología espiral con 9 RPM	57
Figura 33 Conteo de la morfología espiral con 12 RPM	58

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1 Datos de la concentración del cultivo de espirulina
- Anexo 2 Ficha de control de la concentración del cultivo de espirulina
- Anexo 3 Datos de la evaluación de la calidad morfológica del cultivo con 12 h de agitación
- Anexo 4 Morfología de la espirulina con 12 h de agitación
- Anexo 5 Datos de la evaluación de la calidad morfológica del cultivo con 24 h de agitación
- Anexo 6 Morfología de la espirulina con 24 h de agitación
- Anexo 7 Diseño del estanque tipo canal
- Anexo 8 Construcción del estanque tipo canal

INTRODUCCIÓN

La espirulina es una “cianobacteria que por su alto contenido nutricional es utilizada para la alimentación, puede ayudar a reducir la desnutrición para aquellas personas de bajos recursos económicos presentes en nuestro país” (Abalde, 2000, p. 44). La organización mundial de la salud (OMS) ha confirmado que la espirulina representa un alimento interesante por múltiples razones, no necesita tierra fértil para el cultivo y por lo tanto conserva tierra y suelo fértiles; tiene más del 60 % de proteínas que es la más alta que cualquier otro alimento, además de los beneficios de un crecimiento rápido y mayor rendimiento.

El cultivo de espirulina en diferentes países se desarrolla en dos sistemas, el primero es el sistema cerrado, “implica a los fotobiorreactores y no es usado en la producción industrial por su complejidad, son de estructura plana o tubular, utilizados mayormente en laboratorios y su mantenimiento es regularmente costoso” (Vonshak, 1997). Por otro lado, está el sistema abierto que pueden ser de diferentes tipos: tanques circulares, balsas y estanques, estos vienen a ser los más comunes y usados en la producción comercial de microalgas, por tener un menor costo en su construcción, mantenimiento y además de su fácil manejo. (Escriba, 2018). En el Perú el cultivo de espirulina es muy escasa, a pesar de ello algunas asociaciones y grupos de cultivadores vienen desarrollando dicho cultivo en sistemas abiertos.

En la empresa Musuq Kawsay se ha identificado una disminución en la producción de la microalga espirulina, que contempla los siguientes aspectos: forma y dimensión del estanque, la inadecuada agitación y mala distribución de iluminación. Por ello, se pretende evaluar los parámetros de operación (la agitación, el tiempo de agitación y la profundidad del flujo de agua) en un estanque tipo canal para mejorar el rendimiento y calidad morfológica del cultivo espirulina. Esta intervención permitirá investigar en mayor medida las causas subyacentes de la baja producción y tomar acciones específicas. Los resultados obtenidos de este trabajo podrán ser aplicados no solo en la empresa Musuq Kawsay, sino también en otros proyectos de cultivo de espirulina en el ámbito público y privado.

Además, este trabajo de investigación desempeñará un papel fundamental como base científica para investigaciones futuras, contribuyendo al descubrimiento de otros factores que puedan influir en el desarrollo y los resultados de cultivos similares.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La producción de microalgas depende mucho del control y manejo adecuado de ciertos factores de cultivo, así como también del tipo de especie a cultivar; mientras estos parámetros no sean los adecuados el cultivo se verá afectado en el estrés del cultivo, disminución de la productividad y en otros casos la mortandad del cultivo. Jorquera et al. (2010)

De acuerdo a Hernández A. & Labbé, (2014). En países como Taiwán, Japón e Indonesia, se lleva a cabo el cultivo de diversas especies de microalgas, como *Dunaliella*, *Salina*, *Espirulina* y *Chlorella*, entre otras. Estas microalgas se cultivan con diversos propósitos, en aguas superficiales naturales, lagos y estanques mecánicos conocidos como cultivo en sistema abierto. Sin embargo, el desarrollo del cultivo en este sistema está condicionado por las condiciones del entorno en el que se encuentran, lo cual dificulta el control de variables como la temperatura del agua, la oxigenación y la iluminación. Esta falta de control puede ocasionar cambios en la morfología de las microalgas y afectar la calidad del cultivo.

En el Perú, grupos de cultivadores artesanales se dedican al cultivo de espirulina a pequeña escala, intentando controlar los parámetros como: iluminación, temperatura y agitación para lograr una producción adecuada. Sin embargo, aún existen deficiencias en el control de estos, lo que provoca un lento desarrollo en el crecimiento del cultivo. (Zabala, 2020)

En la provincia de Huamanga, la empresa Musuq Kawsay SAC se dedica al cultivo de espirulina (*A. Platensis*) en sistema abierto con el objetivo de aprovechar su alto valor nutricional y producir diversos subproductos alimentarios. Sin embargo, en la actualidad el rendimiento de su producción es muy reducido pese al control y manejo del cultivo, de tal manera que se considera un cuello de botella para su producción.

Haciendo un análisis en el lugar de producción se identificó que el cultivo presenta deficiencias mencionadas a continuación, primero: la forma y dimensión del estanque, lo cual hacen que exista zonas muertas provocando el incorrecto flujo en el cultivo, segundo: presenta una inadecuada agitación lo que ocasiona desbalance en la distribución y homogenización de nutrientes, mala distribución de iluminación en la biomasa y sedimentación del cultivo, estas deficiencias perjudican el desarrollo y crecimiento adecuado de la microalga, como consecuencia genera un bajo rendimiento de producción y heterogeneidad de la calidad morfológica de sus tricomas; frente a estas deficiencias que afectan la productividad y calidad morfológica del cultivo, con este trabajo de investigación se pretende evaluar los parámetros de operación: velocidad de agitación, tiempo de agitación y profundidad del flujo de agua en un estanque tipo canal, para mejorar el rendimiento y la calidad morfológica del cultivo.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema principal

- ¿Cuáles son los parámetros de operación en un estanque tipo canal que permiten mejorar el rendimiento y la calidad morfológica del cultivo de espirulina (*Arthrospira Platensis*) en la empresa Musuq Kawsay?

1.2.2. Problemas secundarios

- ¿Cómo será el diseño del estanque tipo canal cuyos parámetros de operación permitan mejorar el rendimiento y calidad morfológica del cultivo de espirulina?
- ¿Cuáles serán las características adecuadas en la construcción de un estanque tipo canal que permita mejorar el rendimiento y la calidad morfológica del cultivo espirulina?
- ¿Qué parámetros de operación en cuanto a la velocidad, tiempo de agitación y profundidad del flujo de agua del estanque tipo canal permitirán mejorar el rendimiento y la calidad morfológica del cultivo de espirulina?
- ¿Cuál será el rendimiento y la calidad morfológica del cultivo de espirulina estimando los parámetros de operación en el estanque tipo canal?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar los parámetros de operación en un estanque tipo canal para mejorar el rendimiento y calidad morfológica del cultivo espirulina (*A. Platensis*) en la empresa Musuq Kawsay.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar un estanque de tipo canal cuyos parámetros de operación permitan mejorar el rendimiento y calidad morfológica del cultivo de espirulina.
- Construir un estanque con las características que permitan mejorar el rendimiento y la calidad morfológica en el cultivo de espirulina.
- Determinar los parámetros adecuados de velocidad, tiempo de agitación y profundidad del flujo de agua del estanque tipo canal, para mejorar el rendimiento y la calidad morfológica del cultivo de espirulina.
- Evaluar el rendimiento y la calidad morfológica del cultivo espirulina considerando los parámetros de operación en el estanque tipo canal.

1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Hipótesis general

- Si se evalúan correctamente los parámetros de operación en un estanque tipo canal, entonces se mejorará significativamente el rendimiento y la calidad morfológica del cultivo de espirulina (*Arthrospira Platensis*) en la empresa Musuq Kawsay.

1.4.2. Hipótesis específicas

- El diseño apropiado del estanque tipo canal permite un mejor rendimiento y calidad morfológica en el cultivo de espirulina.
- Las características adecuadas en la construcción de un estanque tipo canal permiten un mejor rendimiento y la calidad morfológica del cultivo espirulina.
- Con una óptima velocidad de agitación, tiempo de agitación y profundidad del flujo de agua mejoran el rendimiento y la calidad morfológica del cultivo de espirulina.
- Considerando los parámetros adecuados de operación se obtiene un mayor rendimiento y mejor calidad morfológica del cultivo de espirulina.

1.5. JUSTIFICACIÓN

En la empresa Musuq Kawsay se ha detectado deficiencia en la producción de la microalga espirulina, que contempla los siguientes aspectos: forma y dimensión del estanque, la inadecuada agitación y mala distribución de iluminación. Por ello, se pretende evaluar los parámetros de operación (la agitación, el tiempo de agitación y la profundidad del flujo de agua) en un estanque tipo canal para mejorar el rendimiento y calidad morfológica del cultivo espirulina. Esta intervención permitirá investigar en mayor medida las causas subyacentes de la baja producción y tomar acciones específicas. Los resultados obtenidos de este trabajo podrán ser aplicados

no solo en la empresa Musuq Kawsay, sino también en otros proyectos de cultivo de espirulina en el ámbito público y privado.

Asimismo, este trabajo de investigación contribuirá como soporte científico, necesario para posteriores investigaciones, e impulsar a identificar otros factores que puedan influir en el desarrollo y resultado de cultivos análogos.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Internacional

Huarachi (2014), En su trabajo de investigación titulada “Adaptabilidad de Spirulina (*Arthrospira Platensis*) en fotobiorreactor tubular cónico bajo condiciones ambientales” demuestra que la morfología de la espirulina cambia por exposición directa a una alta iluminación de los rayos solares, como resultado de esta investigación se obtuvo una biomasa de 1,5 g/L y una productividad de 0,298 g/m²/día a una intensidad de luz de 11 700 Lux. El fotobiorreactor utilizado en este experimento fue de PVC (policloruro de Vinilo) que contenía un enfriador de forma espiral de PVC, así como una bomba de aire (modelo ACQ-001); las pruebas se realizaron a cabo en condiciones ambientales de 16°24’50” de latitud sur y a 71°32’02” de longitud oeste con una altitud de 2 344 msnm. Para la determinación de los carotenoides se realizó mediante espectrofotometría de clorofila mientras que el crecimiento de la espirulina se evaluó mediante el recuento de células con cámara de Sedwick Rafter, en consecuencia, se menciona que las características morfológicas de la espirulina están relacionadas con la calidad del producto y que la alta radiación solar en cultivos al aire libre influye negativamente en la calidad, contenido de carotenoides y rendimiento de la biomasa cosechada.

Fernández, Sevilla & Molina (2013) en su trabajo de investigación “Fotobiorreactores para la producción de microalgas”; tuvo como objetivo identificar las variables a controlar en un sistema cerrado para una adecuada producción de microalgas, en este trabajo se revisa: la productividad, los principios como transferencia de calor, disponibilidad de luz, transferencia de masa en fotobiorreactores tubulares llevándose a una adecuada escala para su producción, mediante esta investigación determina que la productividad de microalgas en un fotobiorreactor es de 0,39 g/L.día, en paneles planos 0,8 g/L.día y en los estanques 0,18 g/L.día. Concluyendo que el mayor porcentaje de eficiencia en la producción se da en sistemas cerrados;

por otro lado, indica que un sistema abierto con un buen control podría aumentar la eficiencia en la producción.

Yusuf, C. (2013) en su trabajo de investigación "Raceways-based production of algal crude oil" menciona que los estanques conocidos como estanques de Oswald, en honor a su inventor; son usados para tratar aguas residuales y también para la producción de microalgas al aire libre con otros fines, a través de la investigación se determina qué; los canales del estanque deben tener una profundidad aproximada de 0,25 m a 0,30 m sin exceder los 0,50 m de altura, debido a que una menor profundidad existe una mayor penetración de luz provocando la fotoinhibición y estrés en los cultivos. Además menciona que la relación entre la longitud y el ancho del canal debe ser mayor a 10; si el valor es demasiado bajo "el flujo perturbaciones causadas por las curvas en los extremos de la pista de rodadura comienzan a afectar el flujo en las secciones rectas del canal", Asimismo señala que para el cultivo de microalgas, el flujo del cultivo debe ser turbulento "para mantener las células en suspensión, prevenir la estratificación y mejorar la desorción del oxígeno producido por la fotosíntesis". (p.34)

Hongyan (2005), en el trabajo de investigación titulado "Efectos de la radiación UV solar sobre la morfología y la fotosíntesis de la cianobacteria filamentosa *Arthrospira Platensis*" se investigó sobre el impacto de la radiación ultravioleta solar (UVR) en la cianobacteria filamentosa *Arthrospira (Spirulina) Platensis*, se realizaron estudios sobre los cambios morfológicos y el rendimiento fotosintético utilizando dos cepas. Durante el experimento, ambas cepas fueron expuestas a tres tratamientos de radiación solar: PAB (radiación fotosintéticamente activa [PAR] más UVR; 280 nm a 700 nm), PA (PAR más UV-A; 320 nm a 700 nm) y P (solo PAR; 400 nm a 700 nm). También se demostró que las cepas de *A. Platensis* con una estructura helicoidal más compacta tenían una mayor capacidad para tolerar una mayor intensidad de luz en comparación con las cepas con espirales más sueltas, los resultados indican que las células experimentan diferentes niveles de adaptación y aclimatación cuando se exponen a la radiación solar completa. Como conclusión se encontró que las características morfológicas de las especies de *Arthrospira* o *Spirulina* a menudo están relacionadas con la calidad del producto final. Además, la longitud de los filamentos en espiral es un factor crucial para la eficiencia de la cosecha.

Liffman. K, Paterson. D, Liovic. P & Bandopadhyay, P. (2012) en su trabajo de investigación "Comparación de la eficiencia energética de diferentes algas de alta tasa diseños de estanques raceway utilizando dinámica de fluidos computacional"

donde tuvo como objetivo de minimizar los costos operativos y de capital, ya que esto permitiría la construcción de estanques de mayor escala. La metodología desarrollada fue la aplicación del (CFD) dinámica computacional de fluidos, empleando códigos con diferentes configuraciones en la curvatura de pista de rodadura. Con las simulaciones realizadas concluyeron que con el uso del CFD “ayudaron en el desarrollo de un diseño de curva que puede reducir la pérdida de energía alrededor de un 87 % en relación con la energía consumida en una curva convencional”. Los diferentes diseños no solo minimizan el consumo de energía, sino que también mejora la mezcla de la alcantarilla eliminando regiones de baja velocidad y estancamiento dentro del flujo. De tal manera debería mejorar la productividad de algas en los estanques de canalización.

Slegers, P. Losing, M. Wijffels, R. Straten, G. & Van Boxtel, A. (2013) en su investigación titulado “Scenario evaluation of open pond microalgae production” donde tuvo como objetivo evaluar la producción de microalgas en estanques abiertos bajo diferentes condiciones climatológicas. En este trabajo de investigación se ha realizado el análisis para dos especies de algas utilizando datos meteorológicos medidos en Argelia y Países Bajos. Los resultados obtenidos en este estudio “muestran que el clima y las condiciones tales como la radiación solar y la temperatura juegan un papel importante en los estanques de canales abiertos”. Concluyendo que las temperaturas altas y bajas suprimen el crecimiento y en latitudes altas este efecto es importante ya que los niveles de luz varían mucho durante el día y entre estaciones. De esta manera este estudio nos da una referencia en donde la producción de microalgas depende mucho de la ubicación geográfica donde son producidas, así también la especie de algas, el diseño de estanque y que no puede basarse solo en eficiencias generales o supuestas.

Chiamonti, D. Prussi, P. Casini, D. Tredici, M. Rodolfi, L. Bassi, N. Chini, G. & Bondioli P. (2013) en su trabajo de investigación titulado “Review of energy balance in raceway ponds for microalgae cultivation” El presente trabajo se centra en el consumo de energía en estanques raceway (RWP). Se evaluaron las pérdidas de carga en estanques de canales convencionales y se compararon los resultados con información disponible en la literatura. Se extrajo la dinámica de fluidos computacionales (CFD) para respaldar el análisis teórico. En el estudio, se desarrolló y operó un estanque raceway de referencia utilizando dos tipos de microalgas marinas. De este trabajo se obtuvo como resultado lo siguiente: para lograr una máxima productividad en el diseño y operación de RWPs convencionales, es

necesario evitar la fotoinhibición y la fotolimitación de los microorganismos cultivados. Esto se logra en parte mediante el movimiento de la cultura y, por lo tanto, un gran volumen de agua (aproximadamente 200-300 litros por metro cuadrado a una altura de 20-30 cm), a una velocidad considerable (generalmente de 15- 30 centímetros por segundo). El estudio llegó a la conclusión de que es crucial realizar una evaluación adecuada de las pérdidas para una evaluación general del consumo de energía, especialmente en el caso de estanques de pequeña escala. También que es beneficioso no solo con respecto a la reducción de la demanda de energía, sino también con respecto a la operación (cuanto más concentrado es el cultivo, es más resistente a la contaminación).

Jorquera, et al., (2010) realizó una investigación sobre “Análisis comparativos del ciclo de vida energético de la producción de biomasa de microalgas en estanques abiertos y fotobiorreactores”, tuvo como objetivo calcular la relación de energía neta (NER), el nivel de producción y evaluar la factibilidad de microalgas, utilizando microalgas *Nannochloropsi*, la metodología de investigación es de nivel experimental y enfoque explicativo, donde comprueba la factibilidad de su producción en dos sistemas llegando a la conclusión “los fotobiorreactores de placa plana como los estanques mostraron $NER > 1$ en este estudio y por lo tanto, se consideran económicamente factibles para el cultivo masivo de *Nannochloropsis*” (p.7) De esta investigación se resalta la importancia que la producción de microalgas en estanques abiertos y fotobiorreactores son factibles para su producción, considerando económicamente viable el cultivo de microalgas.

2.1.2. Nacional

Escriba, C. & Huamaní A. (2018) En su trabajo de investigación “Estudio comparativo de biomasa de *Arthrospira Platensis* de las cepas *Orovilca* y *Paracas* en biorreactores”; el objetivo fue determinar la curva de crecimiento, la pigmentación y la productividad superficial como también la volumétrica del cultivo, para este trabajo de investigación utilizó las variedades *Orovilca* y *Paracas* para determinar la productividad en el fotobiorreactor. Las cepas se cultivaron en 2 sistemas, uno con sistema cerrado con aireación e iluminación LED, por otro lado con un sistema abierto y agitación constante, donde se encontró una curva de crecimiento, en la pre cosecha mostrando que la cepa *Orovilca* tuvo una μ_x de $0,0035 \text{ (g/L)h}^{-1}$ ha comparación de la cepa *Paracas* $0,0015 \text{ (g/L)h}^{-1}$. La productividad superficial y volumétrica durante 30 días con *Orovilca* fue $3,6711 \text{ g/m}^2 / \text{día}$ y $0,0374 \text{ g/L/día}$ y de $1,9972 \text{ g/m}^2 / \text{día}$ y $0,0100 \text{ g/L/día}$ con *Paracas*, concluyendo que “no hay diferencia significativa en la

producción superficial y volumétrica de biomasa seca entre las cepas *A. Platensis Orovilca* y *A. Platensis Paracas*". También menciona que actualmente en el Perú las industrias dedicadas al cultivo de las microalgas son escasas y se debe dar mayor importancia en desarrollar mayor investigación en estos organismos.

Velásquez (2012) En su trabajo de investigación "Escalamiento de fotobiorreactor solar secuestrante de CO_2 de gases de combustión optimizando producción de espirulina"; tuvo como objetivo diseñar un fotobiorreactor solar aislado de CO_2 evaluando el secuestro de dióxido de carbono o bioinmovilización por microalgas optimizando el proceso de producción de spirulina y determinando la bioconversión a biomasa de microalgas y producción de O_2 . Se inició con la preparación de inóculo, el cual se cultivó en 10 cámaras de crecimiento de 250 ml cada una y el cultivo contenía Vinas al 2% como sustrato. Luego se implementó el sistema de prueba. El sistema fijo de combustión de CO_2 consistió en una caldera acuotubular de 1 HP y el otro sistema consistió en un fotobiorreactor tubular, encontró que la microalga espirulina *Arthrospira Jenneri* presentó 22,6 mg/mL de peso seco en las condiciones de 11,68 v/v% de CO_2 . Concluyendo que "La mayor concentración de O_2 en el gas de salida, fue de 14,5 v/v % mientras que la menor concentración de CO_2 fue de 4,91 v/v %, ambos registrados en un periodo de 96 horas (tiempo de cosecha)" (p.19). De esta investigación se resalta la importancia de la obtención de altas tasas de producción de la biomasa y es necesario hacer una cosecha en un tiempo establecido para el sistema puesto que si pasa el tiempo estimado trae consigo la mortandad de la biomasa.

2.1.3. Local

No se encontraron antecedentes específicos en la literatura local o regional que aborden este tema.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Espirulina

La espirulina es una microalga filamentosa conocida también como alga verde azulada de 0,3 mm de largo, cuyo nombre científico es *Arthrospira*, es uno de los organismos vivos más antiguos que apareció en el planeta hace tres millones de años; son los únicos organismos procariontes capaces de realizar la fotosíntesis, generalmente viven en lagos alcalinos de las regiones cálidas. Falquet (1996), como citó Medina et al., (2003) manifiesta:

La espirulina es extraordinariamente rica en micronutrientes fácilmente asimilables por el organismo humano, ya que carece de pared celular. Es rica en beta-caroteno (a partir del cual se forma la vitamina A), en hierro, en vitamina B12, en ácido gamma-linolénico, en ácidos grasos esenciales y en otros micronutrientes indispensables. (p.403)

El uso de esta microalga es cada vez más sorprendente puesto que no solo se utiliza en la industria alimentaria, varios estudios científicos mencionan su aplicación en diferentes ámbitos:

- Agricultura, como bioestimulante en el crecimiento de planta.
- Alimentos balanceados en animales y peces.
- Tratamientos de agua con presencia de metales pesados.
- Biocombustible.
- Industria médica.
- En la industria cosmética.
- Industria de alimentos.

Según Ramírez (2006) en su trabajo de investigación sobre el consumo de esta cianobacteria por los atributos positivos y sirven para tratamientos sobre las alergias, anemia, enfermedades virales y cardiovasculares, cáncer, entre otros; esto por la presencia de sus pigmentos “ficobiliproteínas y los carotenoides”, mencionando la composición bioquímica de la *Spirulina* (pp.658-659).

Tabla 1

Composición química de la espirulina

Compuesto	Composición
Proteínas	50 – 70 %
Vitaminas	A, B, D, E, K
Minerales	Fe, C, Zn, Mg, Na, K, P, Mn, Cu, Cr
Ácidos grasos	5 %
Carbohidratos	16,5 %
Lípidos	7 %
Pigmentos	Clorofila, carotenoides, ficocianina, mixoxantófila, zaxantina.

Nota: Esta tabla muestra el % en base al peso seco de la biomasa de espirulina. Tomado de “Uso tradicional y actual de *Spirulina sp.* (*Arthrospira sp.*)” (p.659), por Ramírez, 2006, *Interciencia*, 31(9).

Es necesario mencionar el respaldo y el consumo de la espirulina por parte del FDA (Administración de alimentos y medicamentos de los Estados Unidos) como un complemento alimenticio dado que: “la espirulina ha sido categorizada por la FDA

como el alimento reconocido como seguro (GRAS) para consumo humano.” (Bohórquez, 2017, p.16). Siguiendo las recomendaciones de la comunidad científica de la organización mundial de la salud (OMS) y del FDA mencionan que la espirulina ha sido categorizada como el alimento del futuro.

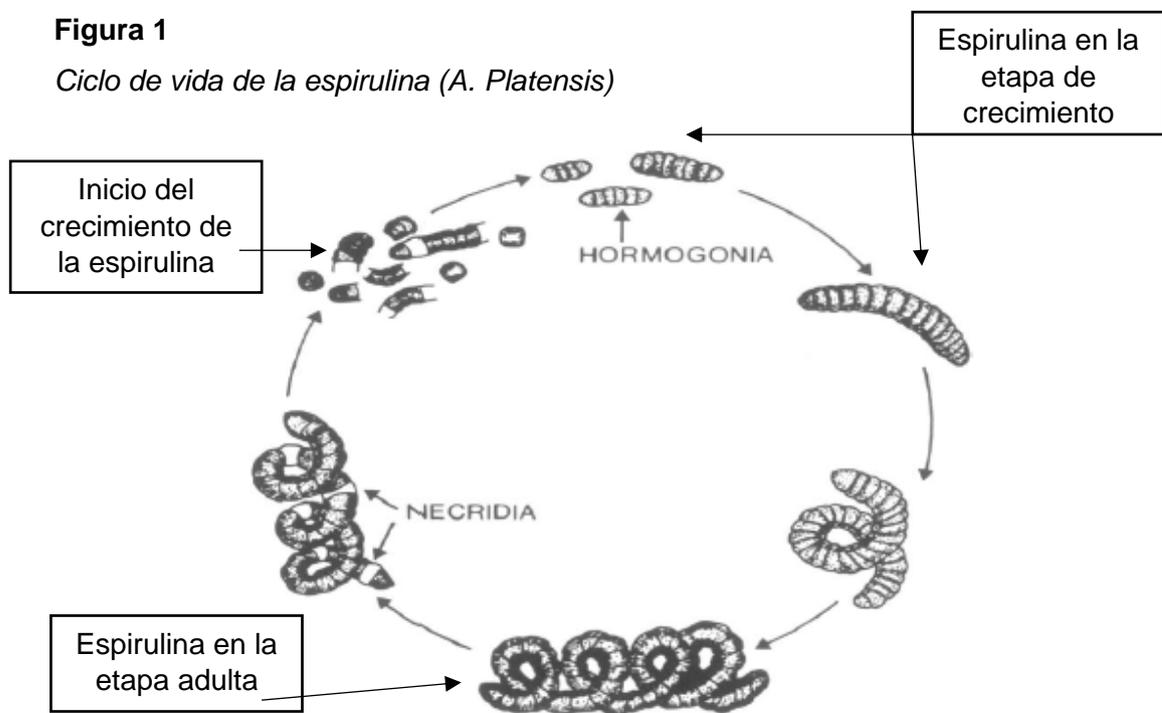
2.2.1.1 Ciclo de vida de la espirulina

El ciclo de vida de la espirulina (*Arthrospira sp*), se da a partir de tricomas maduros, que son apéndices de las células epidérmicas que se presentan en las plantas y vegetales en diferentes formas teniendo diferentes funciones como absorción, protección y secreción. Alberts citado por Bohórquez (2017) menciona; que el ciclo de vida de la espirulina parte del tricoma maduro, para así formar nuevos tricomas en forma espiral.

A partir de la ruptura de un tricoma maduro en varios pedazos debido a la formación de células especializadas llamadas necridias, los fragmentos del tricoma forman cadenas con 2 a 4 células, éstas nuevas cadenas se llaman hormógonas, las cuales se alejan del filamento principal para formar un nuevo tricoma, es aquí en donde las células comienzan a tener un color verde-azulado y el citoplasma se transforma más granuloso, luego aumenta la cantidad de células en los hormógonos, y por ende los tricomas aumentan su longitud, toman forma helicoidal. (p.28)

Figura 1

Ciclo de vida de la espirulina (*A. Platensis*)



Nota: Ciclo de vida de la espirulina (*Arthrospira sp*) por Bohórquez, S. (2017) <https://repositorio.usil.edu.pe/handle/usil/2711>.

Otros autores mencionan que el ciclo de vida de la espirulina empieza con una reproducción por bipartición conocido como fisión binaria donde la célula madre se divide en células hijas de igual tamaño.

Entre las especies más conocidas están:

- *Arthrospira Gomontiana*
- *Arthrospira Fusiformis*
- *Arthrospira Máxima*
- *Arthrospira Platensis*
- *Arthrospira Índica*

Dentro de la especie *Arthrospira Platensis* podemos encontrar dos variedades que son la variedad *Paracas* y la variedad *Orovilca*.

Respecto a la morfología de la espirulina (*Arthrospira Platensis*) se puede apreciar tricomas de espirulina con dos morfologías distintas: lineales y espirales. Este cambio en la forma se atribuye al estrés del cultivo, causado por la exposición excesiva a la luz, altas temperaturas, entre otros factores que podrían tener un impacto en la composición química de la espirulina. Los tricomas de espirulina con estas dos morfologías diferentes, existe una posibilidad que existan diferencias en cuanto a su composición debido a las condiciones de estrés a las que se somete el cultivo.

2.2.2. Parámetros de cultivo de la espirulina

Los parámetros a considerar en un sistema de cultivo son las siguientes:

2.2.2.1 Luz

Uno de los parámetros importantes y principales para el desarrollo del cultivo de microalgas viene a ser la iluminación, por lo general los sistemas abiertos cuentan con gran área de iluminación natural a comparación de los sistemas artificiales que dependen de la luz artificial como: lámparas, fluorescentes, entre otros; “la tasa de crecimiento de microalgas depende de la intensidad de iluminación, cuando la tasa de crecimiento llega a su punto máximo, ésta disminuye con el incremento de la luz debido a la fotoinhibición” (Figuroa citado por Bless, 2016 p.10) con la limitación por nutrientes existe un aumento de intensidad lumínica donde la fotosíntesis incrementa hasta llegar a la tasa máxima de crecimiento.

En la producción de microalgas se tiene en consideración el patrón de crecimiento en relación con la intensidad de luz y el régimen de iluminación que varía según el género de microalga; la luz influye en la composición bioquímica celular de las

microalgas fotosintéticas, buscando incrementar el crecimiento, para que la luz artificial sea de utilidad en el proceso fotosintético del cultivo de microalgas los fotones deben encontrarse en un rango entre los 600 nm y 700 nm de longitud de onda. (Kommareddy, 2003)

Intensidad de luz

Desde el punto de vista de Lips citado por Abalde (2000): “la tasa de fotosíntesis aumenta con la intensidad luminosa siguiendo una cinética de Michaelis-Menten, alcanzándose el nivel de saturación a intensidades variables en función de la especie” (p.22), posterior a ello la intensidad se hace limitante, provocando la disminución de la tasa fotosintética y del crecimiento.

Fotoinhibición

Las intensidades de luz muy elevadas con frecuencia son inhibitorias para el crecimiento microalgal, produciendo fotoinhibición. Powles citado por Abalde (2000) afirma lo siguiente:

La fotoinhibición o fotoinactivación puede definirse como el descenso de la capacidad fotosintética a elevadas intensidades de luz, muy por encima de los valores de saturación, es decir, muy superiores a las requeridas para obtener la tasa máxima de fotosíntesis, la fotoinhibición depende de la intensidad y calidad (longitud de onda) de la luz, así como del tiempo de exposición, siendo más pronunciada con exposiciones prolongadas a intensidades altas de luz. (p.23)

Los efectos adversos de la luz pueden verse potenciados por otros factores estresantes, como las deficiencias de nutrientes o las temperaturas extremas.

Fotoperiodo

Las microalgas en condiciones normales están sometidas a periodos de luz y oscuridad, esta alternancia generalmente se utiliza también en su cultivo. “Los periodos de luz y oscuridad se ajustan para el cultivo de cada especie en particular” Abalde (2000). La introducción de un ciclo celular es un importante adelanto ya que el ciclo día-noche es quizá el factor cíclico ambiental más importante en la mayoría de los sistemas.

Fuentes de luz

A pesar de que otros parámetros están dentro de límites establecidos se debe tener en cuenta también la fuente de luz. Abalde (2000) afirma que “la disponibilidad de luz es el principal factor influyente en la productividad de los cultivos microalgales masivos, de ahí la importancia de la fuente de luz para el cultivo” (p.29), para una adecuada producción de las microalgas en los diferentes sistemas se debe hacer uso de la luz artificial o luz natural.

- Artificial

La luz artificial puede controlarse, pero supone un gran gasto energético y, por tanto, un elevado coste, las fuentes de luz artificial tienen espectros de emisión que no son necesariamente idénticos a la luz del sol y la calidad de la luz puede afectar al crecimiento, metabolismo, reproducción y morfología de una clase de microalgas, por lo que habrá que estudiar el espectro más favorable para cada tipo a cultivar.

- Natural

Muchos sistemas de cultivo masivo de microalgas se diseñan para utilizar luz natural. Esto puede reducir significativamente el coste de producción de las algas en el sistema, pero dependiendo de la situación geográfica puede ser menos seguro y las tasas de producción pueden variar considerablemente a lo largo del año.

2.2.2.2. Temperatura

La temperatura es uno de los factores importantes que determinan el crecimiento y desarrollo proporcional de las microalgas, por lo que es necesario establecer la temperatura adecuada para una producción más eficiente dependiendo a la especie cultivada. (Hernández A. & Labbé, 2014)

En el caso de la espirulina no se desarrolla correctamente por debajo de los 20 °C, la temperatura ideal se da entre los 35 °C a 39 °C y por encima de esta temperatura 39 °C a 47 °C existe riesgo de mortandad del cultivo, los cambios bruscos de temperatura (Shock térmico) causan ciertas alteraciones denominados estrés del cultivo. Martínez (2007), como cita por Hernández (2014):

En un sistema de cultivo cerrado, la temperatura se puede controlar por varios mecanismos, tales como rociadores de agua, inmersión del colector solar en piscinas, reactor dentro de un invernadero, etc. Por el contrario, en un sistema de cultivo abierto es muy difícil de controlar, aunque se pueden realizar ciertas acciones simples para disminuir el efecto, como cubrir los estanques con plásticos transparentes. (p.159)

En el cultivo de microalgas la temperatura influye en la respiración y fotorespiración, algunos autores mencionan que por un incremento de temperatura altera la división celular, también se ha demostrado que en algunas algas aumenta la acumulación de los carotenoides.

Un aspecto importante de la interacción entre la luz y la temperatura es que la temperatura óptima para la fotosíntesis aumenta a medida que aumenta la intensidad de la luz.

- Alta Temperatura, Alta iluminación. → adecuada multiplicación
- Alta Temperatura, Baja iluminación → baja multiplicación

- Baja Temperatura, Baja iluminación → nula multiplicación
- Baja Temperatura, Alta iluminación → peligro de muerte

2.2.2.3. Agitación

Para mejorar la producción del cultivo de espirulina, es imperativo contar con un sistema de agitación eficiente. La agitación es crucial porque genera movimiento en todo el sistema de cultivo, lo que tiene una serie de efectos positivos, tales como:

- Asegura una distribución homogénea de nutrientes y células en el cultivo. Abalde (2000) menciona que “una célula que se mantiene estática en el agua agota rápidamente los nutrientes presentes en la microcapa en torno a ella” (p.42), esto hace que disminuyan las tasas de absorción de éstos a medida que la microcapa se reabastece lentamente por difusión de los nutrientes provenientes del agua.
- Mejora la distribución de la luz a las células asegurando que permanezcan fotosintéticamente activas. “La agitación evita el efecto de ensombrecimiento, debido a que causa un continuo cambio de posición relativa de las células con respecto a la zona fótica” (Abalde, 2000, p.44). Por otra parte, la agitación rápida evita los efectos fotoinhibitorios que se producirían en un cultivo no agitado sobre aquella parte de la población que estuviera continuamente expuesta a la intensidad incidente completa.
- Al agitar el cultivo, se evita que las espirulinas y otros componentes se sedimenten en el fondo del contenedor. La sedimentación puede limitar la exposición al agua y a la luz solar, afectando negativamente el crecimiento de las espirulinas.
- Control de la temperatura: La agitación contribuye a mantener una temperatura uniforme en todo el sistema de cultivo. Esto es fundamental, ya que las espirulinas son sensibles a las fluctuaciones de temperatura y mantener condiciones estables favorecen su desarrollo óptimo.

Se debe tener en cuenta que una agitación muy brusca puede estropear el cultivo (fragmentos visibles al microscopio) lo que provoca la aparición de espuma.

Para asegurar la agitación continua en pequeñas escalas menores a 100 L es recomendable hacer uso de bombas eléctricas de inyección de aire con un compresor de acuario. Y para grandes balsas industriales de una capacidad de 5000 L se hace uso de ruedas o paletas de agitación. (Jorquera, 2010)

2.2.2.4. pH

Las microalgas muestran una clara dependencia respecto al pH del medio de cultivo y diferentes especies varían ampliamente en su respuesta al mismo. “Cada microalga

presenta un pH óptimo para su cultivo. Un descenso de pH suele ser letal, en cambio suelen soportar mejor los incrementos del pH, hasta un cierto límite”. (Vásquez, 2013). El pH del medio de cultivo determina la solubilidad del CO_2 y de los minerales, así como la distribución relativa de las formas inorgánicas de carbono (CO_2 , H_2CO_3 , $H_2CO_3^{-}$, CO_3^{-2}), e influye directa e indirectamente en el metabolismo de las microalgas.

Para el crecimiento de las microalgas el rango de pH óptimo oscila entre 8-10 (alcalino) y estos valores son mantenidos con la aireación enriquecida con dióxido de carbono.

El pH del cultivo incrementa conforme a la edad del cultivo, esto es debido a la acumulación de minerales, en algunas microalgas como el *Chlorella Vulgaris* con un pH extremo incrementa la tasa de respiración y producción de calor y es todo lo contrario en *Dunaliella maritima*. (Muñoz, 2021)

2.2.2.5. Nutrientes

Para que el cultivo crezca de manera óptima, es necesario proporcionarle los nutrientes en cantidades adecuadas. Existen diferencias significativas en los requisitos nutricionales en cuanto a la cantidad entre las diferentes especies.

En el caso del cultivo de espirulina, la espirulina obtiene sus nutrientes de dos categorías principales: los macronutrientes, que incluyen carbono, potasio, calcio, magnesio, fósforo, sodio y azufre, y los micronutrientes, como hierro, zinc, cobre, níquel, cobalto, entre otros. Los nutrientes tienen un impacto tanto en la tasa de crecimiento como en la composición bioquímica de las células en cultivo. (Abalde, 2000)

2.2.2.6. CO_2

“El CO_2 es la fuente de carbono más utilizada en cultivos de microalgas, al consumirse el carbono, el oxígeno es producido por fotólisis del agua y este es diluido en el medio de cultivo” (Hernández, 2014, p.160). Algunas microalgas se producen en bajas concentraciones de CO_2 , otras como *Chlamydomonas* y *Nannochloris* necesitan cantidades menores de CO_2 para su crecimiento.

Becker enfatiza que el componente crucial para el crecimiento celular de microalgas es el dióxido de carbono y forma casi el 50 % de biomasa, en el cultivo se usan

fuentes inorgánicas de carbono para sintetizar los compuestos y son capaces de usar carbono en diferentes formas como: CO_2 , H_2CO_3 , H_2CO^{-3} .

Interpretando los resultados, Hernández (2014) hace referencia que “la influencia de la fuente de carbono en la productividad de microalgas indica que a pesar de que el H_2CO_3 es fácilmente absorbido por las células, ésta es una fuente de carbono pobre en comparación con el CO_2 ” (p.160), de esta forma se resalta la importancia del dióxido de carbono en el cultivo de microalgas para un mejor desarrollo y crecimiento del cultivo.

(Bless, 2016) Menciona que las microalgas requieren de nutrientes de disolución como los nitratos, fosfatos, sodio y silicatos.

Existen varios medios de cultivo formulados disponibles pero los requerimientos son distintos para cada variedad de microalga. Por otra parte, se debe tomar en cuenta el objetivo del experimento para definir la composición del medio de cultivo. Por ejemplo, si la finalidad es una alta productividad de biomasa (g/L), altas concentraciones de nitratos y fosfatos son esenciales para el crecimiento. (p. 21)

La manipulación de la concentración de nitratos es una técnica común para simular el entorno estresante de las microalgas induciendo la producción de metabolitos y compuestos de interés comercial.

2.2.3. Calidad morfológica

La morfología de la espirulina, especialmente su estructura en tricomas lineales o espirales, puede ser un indicador de la salud y el estado de las algas, pero no necesariamente define por completo su calidad.

Los tricomas espirales suelen considerarse una forma más deseable debido a que, en condiciones óptimas de crecimiento, reflejan un estado saludable y un desarrollo normal. Esto no significa automáticamente que la espirulina con tricomas lineales sea de "mala calidad". En cambio, puede indicar que ha experimentado algún tipo de estrés o condiciones subóptimas durante su crecimiento.

Factores como la temperatura, los nutrientes, la iluminación y otros parámetros ambientales pueden influir en la morfología de la espirulina. Un estrés prolongado o condiciones no ideales pueden llevar a la formación de tricomas lineales en lugar de espirales. Sin embargo, este aspecto morfológico no necesariamente determina la calidad nutricional o el valor biológico de la espirulina. (Zabala, 2020)

Es esencial considerar otros factores más allá de la morfología, como la composición nutricional, la presencia de toxinas, la pureza y la actividad biológica para evaluar la calidad de la espirulina de manera más completa. (Escriba, 2018)

2.2.4. Factores que influyen en el rendimiento y la calidad morfológica

Se pueden identificar y analizar los factores clave que deterioran el rendimiento y la calidad morfológica del cultivo de espirulina en un estanque tipo canal. Estos factores pueden incluir la temperatura, la luz, agitación o aireación, la concentración de nutrientes, el pH y la densidad de siembra. En los cultivos al aire libre, es inevitable la presencia de ciertos tipos de contaminantes debido a las condiciones no estériles del medio y el entorno. En la práctica, se requiere monitorear y controlar dichos contaminantes para obtener una biomasa de algas sin impurezas dañinas y mantener los contaminantes dentro de límites aceptables. Además de las bacterias, los contaminantes más comunes en los cultivos limpios incluyen otras formas de algas, zooplancton, virus, hongos e insectos, los cuales dependen de las condiciones locales, la especie cultivada y el sistema de cultivo específico. (Abalde, 2000)

2.2.5. Sistemas de cultivo

Los sistemas de cultivo de microalgas se clasifican según el tipo de funcionamiento. Los principales sistemas para la producción de microalgas son dos: sistemas abiertos donde la biomasa está expuesta a las condiciones medioambientales y los sistemas cerrados con parámetros más controlados.

Asimismo, (Hernández A. & Labbé, 2014) manifiesta que:

Un sistema de cultivo es diseñado en base a diversos criterios: la biología de la especie a cultivar; forma del cultivo; requerimientos nutricionales, lumínicos y resistencia al estrés; relación de la superficie iluminada, volumen del reactor que determina la velocidad de crecimiento; capacidad de escalado. Por último, son también importantes los bajos costos de construcción y operación para fines comerciales. (p.160)

Se debe tener en cuenta la elección de los sistemas de cultivo, donde es importante saber el valor y tipo de producto final, además de la disponibilidad de los recursos hídricos que se cuenta.

2.2.4.1 Sistema abierto

Los sistemas abiertos son los más comunes para el cultivo de microalgas.

Borowitska citado por Hernández (2014) menciona que dentro de los sistemas abiertos se pueden clasificar en: sistemas superficiales naturales y sistemas artificiales, los sistemas superficiales naturales como los lagos, estanques artificiales, lagunas; estos sistemas tienen ciertas ventajas como facilidad en la construcción, escalado, mantenimiento, durabilidad y no necesitan grandes inversiones, así también presenta desventajas como el control limitado de algunos parámetros la baja accesibilidad de las células a la luz, grandes extensiones de terreno y por lo general son susceptibles a la contaminación como los organismos heterótrofos por estar expuestos al ambiente teniendo baja productividad. Los sistemas artificiales se presentan en diferentes formas ya sean circulares, inclinados, estanques carrusel entre otros, el manejo de estos sistemas suele ser más sencillo y es posible controlar ciertos parámetros a comparación del sistema superficial natural. (p.161)

Los sistemas abiertos son muy susceptibles a las condiciones climáticas porque dependen mucho de ellas, puesto que se hace difícil el control de la temperatura, iluminación y CO_2 . Y concluyen que la mayor producción se da en las temporadas cálidas y en temporadas donde la temperatura es mínima la producción disminuye. (Hernández, 2014)

Tipos de sistemas abiertos

- ***Balsas***

Las balsas son lagos artificiales con cierta profundidad adecuada, los costos de su construcción son muy económicos, pero a su vez tiene un escaso control para el crecimiento de las microalgas y la productividad mayormente es bajo. (Bless, 2016)

Figura 2

Sistema de producción de Dunaliella salina en balsas artificiales



Nota: Tomado de “*Simulación computacional del crecimiento de microalgas en un fotobiorreactor*” (p.17) Bless, M. Conteri, G. (2016).

- **Canales**

Los canales conocidos también como receways son más sofisticados y generalmente son ovalados de poca profundidad, tienen una forma de circuito donde el cultivo circula homogenizando el crecimiento y estabiliza la productividad, los canales suelen contener inyección de aire o están contenidos con un sistema de agitación lo que consigue mantener el cultivo en suspensión para el mejoramiento del cultivo de microalgas. Jorquera (2010) menciona lo siguiente:

En los canales, la difusión desde la atmósfera permite a las microalgas obtener el CO_2 necesario para su crecimiento desde la atmósfera, la agitación es un actor muy importante para evitar la adhesión celular y permitir la homogenización del cultivo y no dañar las células. (p.3)

La productividad en los canales es mayor a las balsas, aunque una de las desventajas es el control de la presencia de contaminantes, hasta la actualidad casi el 95 % de la producción de microalgas se realiza en estos canales.

- **Piscinas inclinadas**

La producción de microalgas en las piscinas inclinadas es complicada, por la presencia de ciertos inconvenientes, como la superficie inclinada donde se genera

sedimentación por la caída de su propia gravedad, además de un coste energético para bombear a la parte superior.

- **Tanques circulares**

Este sistema presenta algunas desventajas como el costo de construcción y el lugar que ocupa, estos sistemas presentan una pala de agitación el cual genera un alto consumo de energía pese a ello es uno de los más usados en Taiwán, Japón e Indonesia para la producción de *Chlorella*. Lee citado por Fernández (2013)

Figura 3

Sistema de producción de Chlorella en estanques circulares



Nota:. Tomado de “Photobioreactors for the production of microalgae” (p.144) Fernández, A. Sevilla, M. & Molina, E. (2013).

2.2.4.2 Sistema cerrado

Debido a los problemas de cultivo en los sistemas abiertos, se desarrolla el sistema cerrado con ellos es posible reducir y controlar la contaminación y producir una cepa más pura lo que genera una mayor rentabilidad.

Estos sistemas gracias a su diseño presentan una serie de ventajas respecto de los sistemas abiertos, por ejemplo, se reduce al mínimo la contaminación biológica garantizando monocultivos, permiten un mejor control sobre los parámetros físicos químicos, reducción de pérdidas de CO_2 , presentan mayores productividades y además permiten producción de metabolitos complejos. Como ejemplos de sistemas de cultivos cerrados tenemos: fotobiorreactor tubular vertical, fotobiorreactor tubular horizontal y fotobiorreactor de columna vertical. (Oscanoa, 2020, pp.9)

Dependiendo del diseño o de la forma ofrece un mayor control de parámetros de crecimiento como el pH y la temperatura, reduciendo la pérdida del CO_2 obteniendo altas densidades de microalgas y mayor productividad.

- **Los fotobiorreactores**

Es un sistema cerrado forzado para una mayor obtención del crecimiento en el cultivo de microalgas estos se caracterizan por el mejor control y la regulación de sus parámetros.

Tipos de fotobiorreactores cerrados

Los fotobiorreactores se pueden clasificar según su diseño y el modo de operación, y la elección debe realizarse haciendo un estudio previo a la especie a cultivar teniendo en cuenta la disponibilidad de los recursos, las condiciones ambientales entre otras.

- **Columnas de burbujeo**

Consiste en una columna vertical de una altura de 1 a 4 m aproximadamente y un radio que oscila entre 5 y 50 cm, en estas columnas se realiza un intercambio de gases por inyección de aire enriquecido en CO_2 . La ventaja que presenta este sistema es que el oxígeno no se acumula en el centro esto debido a la aireación. Y la desventaja que presenta es que genera zonas oscuras en la parte inferior por la misma posición y forma del sistema y es donde los rayos de la luz no inciden correctamente. (Bless, 2016)

Figura 4

Sistema de producción de microalgas en columna de burbujeo



Nota: Tomado de “*Simulación computacional del crecimiento de microalgas en un fotobiorreactor*” (p.19) Bless, M. Conteri, G. (2016).

- **Fotobiorreactores planos inclinados**

Estos reactores en su mayoría son de material transparente y son retenidos entre laminas, por lo general tienen mezcla de aireación, por lo que genera una gran captación de luz, el espacio entre laminas es de 1 y 20 cm, con una altura máxima de 2 m. estos reactores son adaptables, tienden a variar de orientación y es muy favorable la incidencia de la luz solar. Aunque tienen ciertas desventajas al ser muy delgadas genera complicaciones en su limpieza y problemas en el escalado. (Sierra citado por Bless, 2016)

Figura 5

Sistema de producción de microalgas en fotobiorreactores planos inclinados



Nota: Tomado de “*Simulación computacional del crecimiento de microalgas en un fotobiorreactor*” (p.20) Bless, M. Conteri, G. (2016).

- **Fotobiorreactores tubulares**

Este tipo de fotobiorreactores son los más sofisticados y especializados, pero también son muy caros de construir, el sistema consiste de tubos transparentes de diferentes formas serpentin, vertical, horizontal entre otros, el diseño en lo particular se distingue por dos partes que son el lazo y el desgasificador. Bless (2016) afirma lo siguiente:

El lazo es la parte en la que se lleva a cabo la captación de la energía solar; y está específicamente diseñado para la captación de la luz, sin tener que preocuparnos por los intercambios de calor o materia, lo que permite optimizar la productividad maximizando la eficiencia fotosintética. El desgasificador es la parte en la que se lleva a cabo el intercambio de materia, especialmente la desorción de O_2 y los

intercambios térmicos a través de cambiadores de calor que se pueden instalar al efecto. (p. 51)

Los fotobiorreactores tubulares, aunque permiten alcanzar mayores producciones en el cultivo de microalgas resultan costosos y muy complejos.

Figura 6

Sistema de producción de microalga espirulina en fotobiorreactores tubulares



Nota: Tomado de “Photobioreactors for the production of microalgae” (p.144), por Fernández, A. Sevilla, M. & Molina, E. 2013, Environ Sci Biotechnol, 12(1).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

- **Microalgas:** Las microalgas son microorganismos unicelulares que tienen la capacidad de realizar la fotosíntesis.
- **Mixotróficos:** Esos organismos pueden utilizar la luz como una fuente de energía, o tomarla de compuestos orgánicos o inorgánicos.
- **FDA:** La Administración de Alimentos y Medicamentos es la agencia del Gobierno de los Estados Unidos responsable de la regulación de alimentos, medicamentos, cosméticos, aparatos médicos, productos biológicos y derivados sanguíneos.
- **GRAS:** Es un acrónimo utilizado por agencias regulatorias federales para referirse a sustancias que son usadas como aditivos para alimentos, pero que son generalmente reconocidas como seguras cuando son utilizadas de acuerdo a buenas prácticas de manufacturación.

- Tricoma: Son apéndices de las células epidérmicas que se presentan en las plantas y vegetales en diferentes formas teniendo diferentes funciones como absorción, protección y secreción.
- Fotoinhibición: La fotoinhibición, definida como la inhibición de la fotosíntesis causada por el exceso de radiación, afecta la producción.
- Fotobiorreactor: Un fotobiorreactor es un sistema de cultivo controlado que utiliza la luz solar como fuente de energía para cultivar microorganismos fotosintéticos y producir biomasa o compuestos de interés.
- Estrés del cultivo de la espirulina: El estrés del cultivo de espirulina se refiere a las condiciones adversas o desafiantes a las que se somete a la espirulina durante su cultivo, que pueden afectar su crecimiento, metabolismo y calidad
- Cuello de botella: Se refiere a una limitación o restricción que afecta negativamente la eficiencia, capacidad o rendimiento de un proceso.
- Parámetros de operación: Se refieren a las variables o valores específicos que se utilizan para controlar o regular el funcionamiento de un sistema, dispositivo, proceso o cualquier entidad que requiera ajustes o configuraciones. Estos parámetros definen las condiciones en las que opera el sistema y pueden afectar su rendimiento, eficiencia, calidad o comportamiento.
- Componente mecánico: Un componente mecánico es una parte física o elemento individual que forma parte de un sistema o dispositivo mecánico. Estos componentes están diseñados y construidos para desempeñar una función específica dentro de un conjunto más grande y pueden ser fabricados a partir de una variedad de materiales, como metales, plásticos, cerámicas, entre otros.
- Flujo turbulento: En un flujo turbulento, las partículas del fluido se mezclan y se entremezclan de manera aleatoria, lo que resulta en una mayor agitación y una transferencia de energía más intensa en comparación con el flujo laminar.
- PAR (Radiación Fotosintéticamente Activa): Se refiere a la radiación electromagnética en el rango de longitudes de onda que es capturada y utilizada por las plantas para llevar a cabo la fotosíntesis. Específicamente, el PAR abarca el rango de longitudes de onda de luz entre aproximadamente 400 y 700 nanómetros.
- CFD (Dinámica Computacional de Fluidos): La dinámica computacional de fluidos proporciona una herramienta poderosa para analizar y comprender el

comportamiento de los fluidos en diferentes condiciones y escenarios, lo que permite la predicción y optimización de fenómenos fluidodinámicos complejos en una amplia variedad de aplicaciones prácticas.

- **NER (relación de energía neta):** es una medida que se utiliza para evaluar la eficiencia energética de un proceso o sistema. Es una relación que compara la energía útil o aprovechable obtenida de un recurso o sistema en relación con la cantidad total de energía invertida o consumida en dicho proceso.
- **Estratificación termal:** Es un fenómeno en el que se forma una capa o estrato de agua con una temperatura diferente en un cuerpo de agua, como un océano, un lago o un río. Esta estratificación se produce debido a las diferencias en la densidad del agua causadas por variaciones en la temperatura.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación de este trabajo es aplicada, donde se evaluará los parámetros de operación en un estanque tipo canal para mejorar el rendimiento y calidad morfológica del cultivo espirulina (*A. Platensis*) en la empresa Musuq Kawsay.

El trabajo de investigación es de nivel explicativo debido a que busca encontrar las causas que provocan fenómenos que se estudian (Hernández & Baptista, 2014).

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Hernández, Fernández & Baptista, (2014, p.130) adopta los siguientes diseños: diseño experimental y diseño no experimental y manifiestan que el diseño de investigación experimental “es donde se manipulan, de manera intencional, una o más variables independientes para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre una o más variables dependientes”.

El diseño de esta investigación fue experimental, debido a que se manipulará las variables independientes que vienen a ser: la agitación, el tiempo de agitación y la altura de flujo de agua, con la finalidad de determinar los parámetros adecuados de operación que permita mejorar el rendimiento del cultivo espirulina (*A. Platensis*) de un estanque tipo canales construido en la empresa Musuq Kawsay.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población “es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” (Lepkowski, 2006, como cita Hernández, Fernández & Baptista, 2014, p.174). Una vez que se haya definido la población se procede a delimitar la muestra que será estudiada.

En el presente trabajo, la población de estudio viene a ser los diferentes tipos de estanque para el cultivo de la espirulina (*Arthrospira Platensis*).

La muestra, “es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población” (Hernández, 2014). Quiere decir que se trata de un pequeño grupo extraído de la población que estará sujeto a la investigación.

De tal manera, para la investigación realizada, la muestra viene a ser el estanque tipo canal para el cultivo de espirulina de la empresa Musuq Kawsay ubicado en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Huamanga.

3.4. VARIABLES E INDICADORES

3.4.1. Variable independiente

Parámetros de operación:

- Velocidad de agitación [RPM]
- Tiempo de agitación [h]
- Profundidad de flujo de agua [m]

3.4.2. Variable dependiente

Rendimiento:

- Concentración. [g/L]

Calidad morfológica:

- Forma del cultivo (lineal/espiral)

3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La operacionalización de las variables tanto dependiente e independiente se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 2*Operacionalización de variables de investigación*

Variables	Dimensiones	Concepto Operacional	Indicadores		
X Parámetros de operación (VARIABLES INDEPENDIENTES)	X1	Velocidad de agitación	Son las diferentes revoluciones que se dará a la paleta mecánica.	X1.1	RPM: (7 RPM, 9 RPM, 12 RPM)
	X2	Tiempo de agitación	Vienen a ser los diferentes periodos de agitación.	X2.1	Horas (12 h; 24 h)
	X3	Profundidad de flujo de agua	Son las diferentes alturas del flujo del agua.	X3.1	Metros (0,15 m; 0,23 m; 0,30 m)
Y (VARIABLES DEPENDIENTES)	Y1	Rendimiento	Obtención de concentración del cultivo espirulina	Y1.1	Concentración [g/L]
	Y2	Calidad morfológica del cultivo	Característica morfológica del cultivo.	Y2.1	% Espiral/ lineal

3.6. VARIABLES FIJAS DE INVESTIGACIÓN**a) Elección del sistema del cultivo:**

La elección del sistema (sistema abierto) se da por las siguientes consideraciones:

- No necesitan grandes inversiones.
- Facilidad de construcción y operación.

- Mayor durabilidad.
- Producción a mayores escalas.

b) Elección del tipo de diseño:

Las razones por las cuales se optó por utilizar el estanque tipo canal, en lugar de otras opciones como balsas, piscinas inclinadas o tanques circulares, son las siguientes:

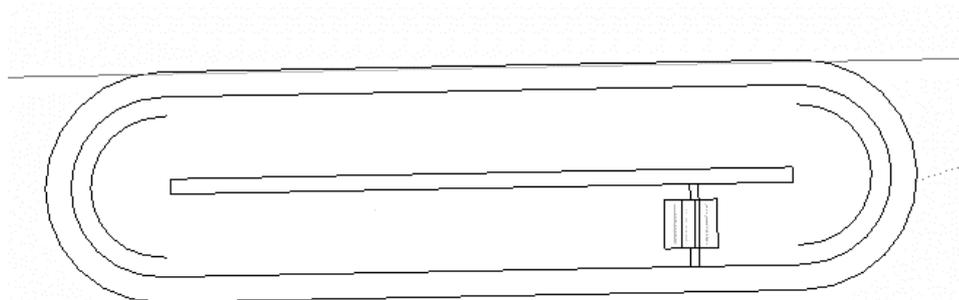
- El diseño que presenta (rectangular con los extremos semicirculares con una división central) evita las zonas muertas, teniendo una buena circulación constante de biomasa.
- Las paletas de agitación que presenta, brindan una buena oxigenación, evita la sedimentación de nutrientes, genera mayor homogeneidad a la biomasa.
- El espacio que requiere a comparación de otros tipos de estanques es el más adecuado, donde se optimiza el terreno de cultivo.
- Tiene la posibilidad de manipular parámetros como la agitación, iluminación y más aún adecuando un invernadero evitando la contaminación en un gran porcentaje.
- Presenta una producción más eficiente a comparación de los demás tipos de estanque de producción en sistema abierto.

c) Consideraciones adicionales del estanque

Becker (2001), como se cita en Yusuf (2007), afirma que “un estanque de canalización está hecho de un canal de recirculación de circuito cerrado que normalmente es 0,30 m de profundidad” (p.114)

Figura 7

Diseño de un estanque de tipo canales

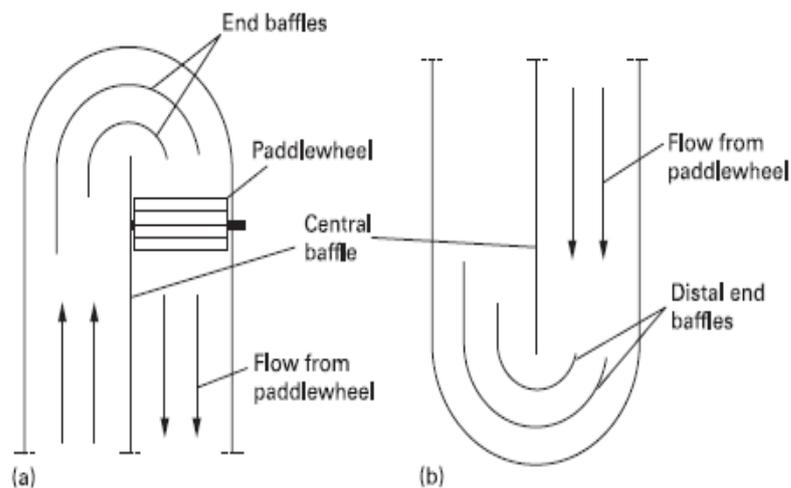


Nota: El gráfico representa el diseño de un estanque tipo canal. Tomado de “*Raceways-based production of algal crude oil*” (p.114) Yusuf, C. Green, (2013).

El estanque tipo canal requiere la instalación de deflectores o baffles de flujo, generalmente ubicados en los extremos del estanque, con el propósito de reducir la formación de zonas inactivas que podrían afectar negativamente al cultivo y asegurar una circulación uniforme del flujo.

Figura 8

Deflectores de un estanque de tipo canales

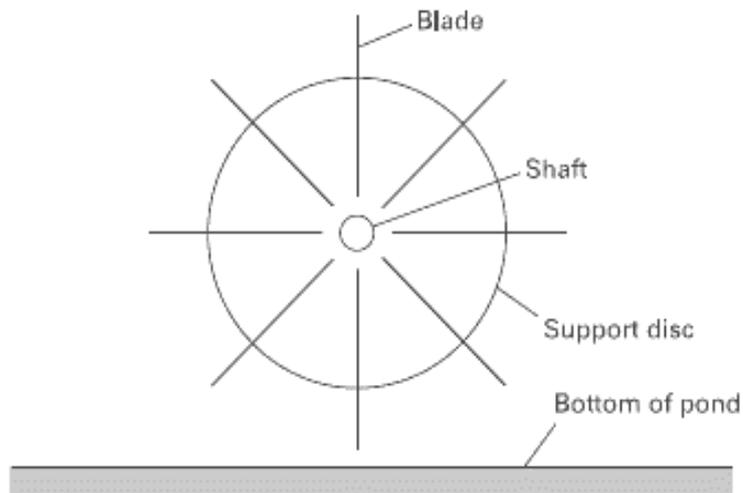


Nota: El gráfico representa los deflectores de un estanque tipo canal. Tomado de “*Raceways-based production of algal crude oil*” (p.117) Yusuf, C. Green, (2013).

En un estanque de canalización generalmente se usan una rueda de paletas, Dodd (1994), como se citó en Yusuf (2013), menciona que la rueda de paleta es el que brinda una adecuada agitación al cultivo (pp.120-121). Las paletas permiten mezclar y oxigenar el agua dentro del estanque.

Figura 9

Paletas de agitación



Nota: El gráfico representa las paletas de agitación para un estanque tipo canal. Tomado de "Raceways-based production of algal crude oil" (p.120) Yusuf, C. Green, (2013).

d) Materiales de construcción

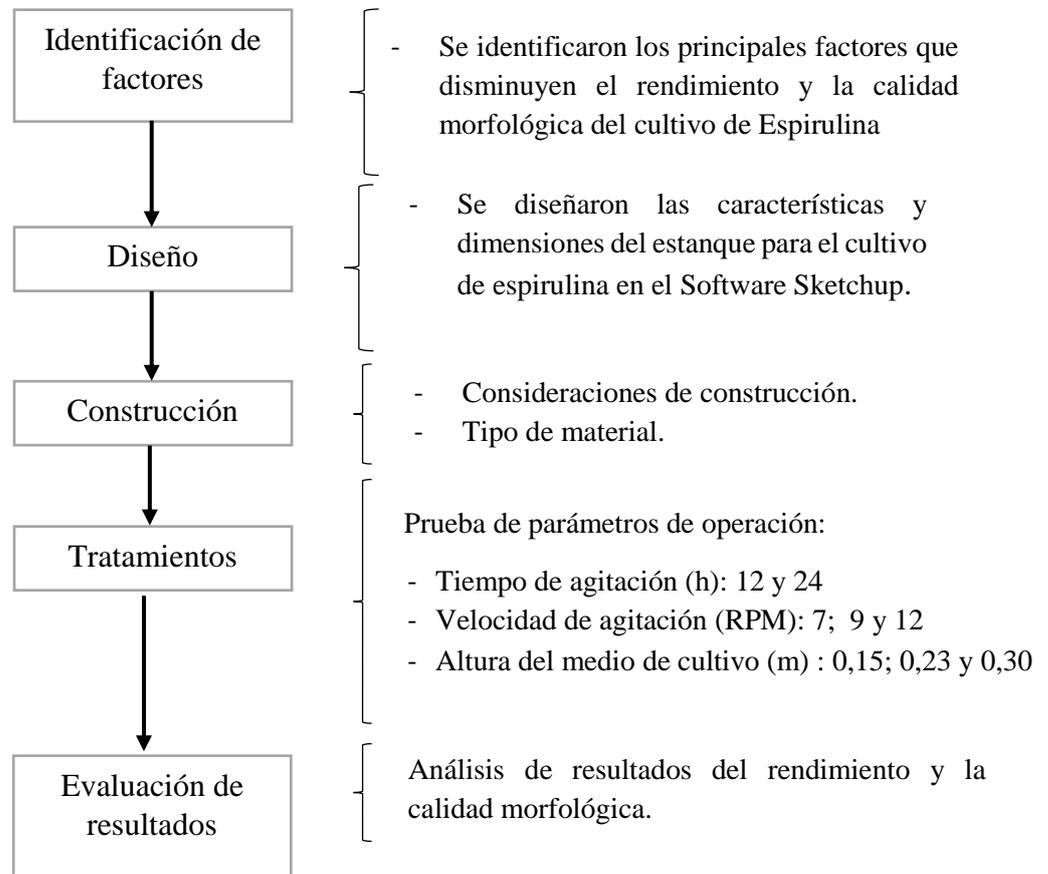
La construcción del estanque se realizó con los siguientes materiales: la base fue de tierra compacta, las paredes se construyeron con concreto y ladrillos, el revestimiento o del estanque fue de geomembrana HDPE calibre n°1 y las paletas de agitación se hicieron con acero inoxidable AISI N° 304. La infraestructura del invernadero se construyó con acero galvanizado con un recubrimiento de policarbonato.

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

El desarrollo experimental para la recolección de datos se desarrolló de acuerdo al diagrama mostrado:

Figura 10

Diagrama de flujo del desarrollo experimental



3.7.1. Identificación de factores

Es fundamental comprender las condiciones y factores que influyen en el desarrollo óptimo de un cultivo. A continuación, se enumeran los principales elementos a considerar para el crecimiento adecuado: iluminación, temperatura, agitación, fuente de carbono, disponibilidad de nutrientes, pH, contaminación, salinidad, inóculo, sombreado y calidad de agua (Abalde, 2000). En el desarrollo de este trabajo, se han tenido en cuenta ciertos factores fundamentales como el tiempo de agitación, la velocidad de agitación y la altura del flujo de agua en relación con la temperatura. Esta consideración se basó en la recopilación de datos e información proveniente de los estanques de producción, las fichas de control y la experiencia acumulada en el campo. De acuerdo a (Vonshak, 1997) menciona que la disminución de producción es por la muerte de la espirulina, causado por la alteración en la temperatura, agitación y falta de nutrientes. Asimismo se identificaron los factores que generan bajo rendimiento en la producción y una deficiente calidad morfológica de la espirulina. Se observó el comportamiento del sistema de cultivo, en el diseño y las características del estanque de producción, la

forma y dimensión del estanque, lo cual hacen que exista zonas muertas provocando el incorrecto flujo en el cultivo, segundo: presenta una inadecuada agitación lo que ocasiona desbalance en la distribución y homogenización de nutrientes, mala distribución de iluminación en la biomasa y sedimentación del cultivo. Asimismo se revisó los datos registrados en sus fichas de control de producción y parámetros (anexo 2).

La velocidad de agitación, el tiempo de agitación y la altura del flujo agua son factores críticos en el diseño del estanque debido a su impacto directo en el cultivo de la espirulina. Estos factores fueron considerados debido a su papel esencial en el crecimiento, desarrollo y calidad del cultivo de espirulina. La optimización de estos parámetros contribuye significativamente a mejorar el rendimiento y la calidad morfológica de la microalga, lo que resulta en una producción más eficiente y de mejor calidad.

Luego de identificar ciertos factores, se procedió a llevar a cabo el diseño del estanque.

3.7.2. Diseño del estanque

El diseño preliminar del estanque se desarrolló en el Software Sketchup teniendo en cuenta lo siguiente:

a) Volumen de producción requerido:

En la etapa del diseño, se tomó en cuenta el volumen de producción requerido que fue de 1 kg en peso seco de espirulina a la semana por un estanque, para lograr este objetivo, es necesario tener una capacidad de 5 m^3 de cultivo. Este cálculo se basó en la relación de que, a partir de 1 litro de cultivo, se obtienen 0,25 g de espirulina en peso seco (Hongyan, 2005). Por lo tanto, para alcanzar 1 kg de peso seco de espirulina, se necesitarían 4 000 litros = 4 m^3 de capacidad de cultivo. Para asegurar un margen ante posibles variaciones, se ha considerado un aumento adicional de 1 m^3 en la capacidad de cultivo.

b) Diseño y características del estanque:

Se tomó en cuenta evitar la formación de zonas muertas en el estanque. Las zonas muertas son áreas del cultivo donde el movimiento del agua es limitado, lo que afecta negativamente el crecimiento y la calidad morfológica de la espirulina; en este contexto se consideró las siguientes características.

La geometría de los estanques tipo canal presenta curvaturas en forma de media luna

en los extremos del estanque, esta geometría evita zonas muertas debido a que “mejoran la mezcla de la alcantarilla del estanque eliminando las regiones de baja velocidad y estancamiento dentro el flujo”. (Liffman et al., 2013)

Una de las formas eficientes para evitar zonas muertas e incrementar la productividad de biomasa es colocar los deflectores a cada uno de los extremos del estanque. (Srinophakun, 2012)

Con base a esta premisa se diseñó un estanque de la forma rectangular con los extremos en forma de media luna y en cada extremo la presencia de los deflectores incluyendo una paleta de agitación tal como se ilustra en la figura 38 (anexo 7).

Consideraciones previas para las dimensiones:

Para poder realizar el cálculo de las dimensiones y obtener una adecuada distribución se tomó en cuenta el área disponible del terreno: 11 m de ancho y 15 m de largo teniendo un total de 165 m² para el área de trabajo. En base al área del terreno y el volumen de espirulina requerido, se establece la dimensión y la cantidad de estanques.

Se consideró la relación $\frac{p}{q} = 5$, (q : Ancho del estanque p : Largo del estanque) cuando la relación p/q es inferior a 5, las perturbaciones del flujo comienzan a afectar el flujo en las secciones rectas del canal, lo que lleva a una disminución en la uniformidad del flujo. (Yusuf, C. 2013).

Respecto a la altura del cultivo se prefieren profundidades inferiores para mejorar la penetración de la luz, la profundidad no puede ser mucho mayor a 0,5 m, esto debido a que incrementa el estrés o muerte del cultivo, por falta de iluminación. La altura del cultivo en un estanque tipo canal están en relación a la temperatura ya que es un parámetro que no se puede controlar en este tipo de estanque, pero se puede regular con el nivel del agua. (Yusuf, C. 2013)

c) Dimensionamiento del estanque:

Cálculo de área del estanque:

Para el cálculo del área del estanque se tuvo en cuenta el largo (p), ancho (q), la geometría del estanque, la disponibilidad del terreno (165 m²) y la capacidad de producción (5 m³) para un estanque.

Se estableció una longitud (largo) de $p = 13$ m, considerando espacios necesarios para el desplazamiento alrededor del estanque.

Teniendo un largo de 13 m, se definió un ancho de $q = 2$ m, considerando la relación p/q .

Con las premisas mencionadas, se calculó el área del estanque.

$$A = \frac{\pi x q^2}{4} + p x q$$

$$A = \frac{\pi x 2^2}{4} + 11 x 2$$

$$A = 25,14 m^2$$

Cálculo de volumen:

Los datos necesarios para el cálculo del volumen de acuerdo a la fórmula son: área del estanque (A) calculado anteriormente y altura del agua (h).

Para el valor de la altura del agua (h) se consideró (0,15 m; 0,23 m; y 0,30 m) que vienen a ser las variables de estudio.

$$V = A x h$$

$$V = 25,14m x 0,23 m$$

$$V = 5,78 m^3$$

Donde:

A: Área del estanque

q: Ancho del estanque

p: Largo del estanque

V: Volumen del cultivo

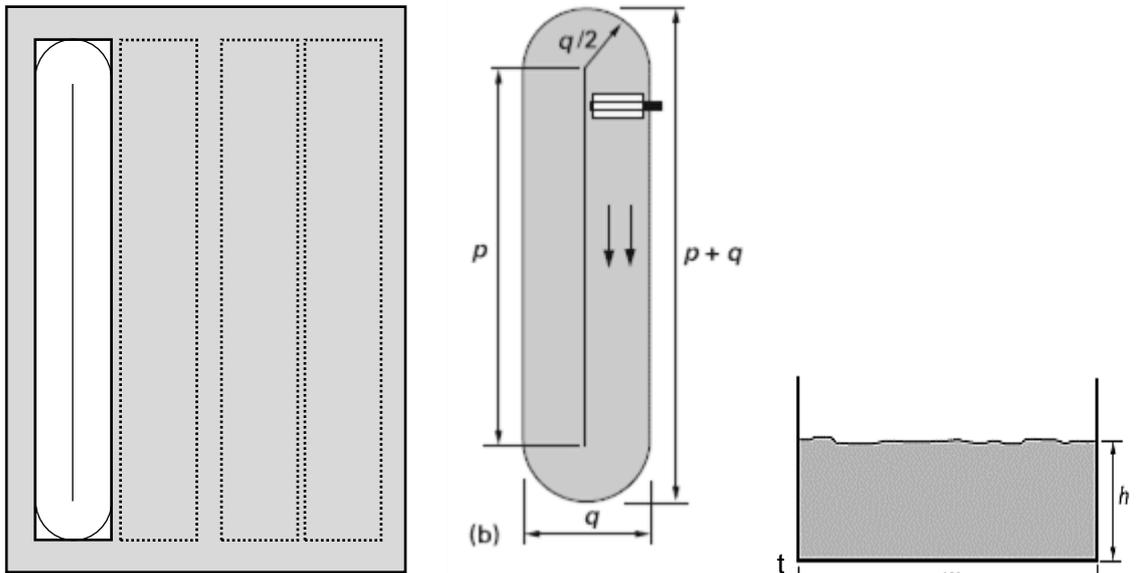
h: Altura del cultivo

De acuerdo a los cálculos realizados, para alcanzar un volumen de producción de $5 m^3$, las dimensiones requeridas para el estanque serán:

- Ancho del estanque (q): 2 m
- Largo del estanque (p): 11 m
- Altura del estanque (a): 0,4 m

Figura 11

Dimensiones del estanque



Para determinar la cantidad de estanques necesarios, se empleó como punto de referencia el área del terreno disponible y la producción deseada. En un espacio de 165 m², se podrían acomodar 4 estanques en total (3 estanques destinados a la producción, cada uno con una capacidad de 5 m³ de cultivo y 1 estanque para reserva y recambio), todos los estanques con las mismas dimensiones. Cada uno de estos estanques podría generar una producción semanal de 1 kg de espirulina, lo que resulta un promedio de 10 kg de espirulina al mes.

d) Consideraciones constructivas para el estanque

Material de construcción: Se definió ladrillo y concreto como materiales para construir el estanque. Estos materiales son duraderos y adecuados para contener el agua y soportar la estructura.

Sistema de agitación: el sistema de agitación está compuesta de 6 paletas o planchas untadas al eje el cual está unido a un motorreductor trifásico de 2HP que es responsable del movimiento. Estas paletas se encuentran unidas mediante pernos y tuercas para facilitar su montaje y mantenimiento. Las dimensiones de las paletas se ajustan al tamaño final del estanque una vez terminado, garantizando así un ajuste preciso. Se ha optado por utilizar acero inoxidable como material para las paletas debido a su durabilidad y, lo que es aún más relevante, porque el producto final está destinado al consumo humano. Como se aprecia en las figura 42 y 49 que corresponde a los anexos.

Infraestructura externa: La infraestructura externa que recubre al estanque fue de acero galvanizado, debido a sus propiedades como la resistencia a la corrosión y la durabilidad a comparación de un metal que tiende a oxidarse en corto tiempo o la madera.

El resultado final del diseño preliminar de construcción se muestra en el anexo 8, incluyendo las descripciones mencionadas.

3.7.3. Construcción del estanque tipo canal

Luego de establecer características adecuadas del estanque en el diseño, se realizó la construcción, que se desarrolló de la siguiente manera:

- Nivelado y compactado del área, para una adecuada circulación del flujo de agua.
- Excavación para el cimiento. Se colocó cimiento en la base para poder reforzar las paredes del estanque que se realizaron con vaciado a concreto y piedra chancada.
- Construcción de los muros del estanque, se realizó a base de ladrillo y concreto, la altura fue de 0,4 m. Se colocaron baffles en cada uno de los extremos del estanque para evitar zonas muertas en la circulación del flujo de agua.
- Forrado de geomembrana, este material fue optado por la gran resistencia que presenta a comparación de la lona de PVC y su uso es garantizado en el rubro de acuicultura, cultivo de camarones, entre otras.
- Armado de las paletas de agitación: El material usado para la elaboración de las paletas fueron de acero inoxidable N° 304, acopladas a un motorreductor trifásico de 2 HP el cual se fue graduando.
- Instalación de la infraestructura externa: Para la infraestructura externa utilizó acero galvanizado y planchas de policarbonato para darle una iluminación adecuada de luz natural, de esta manera también minimizar la contaminación del cultivo.

El resultado de la construcción se muestra en el anexo 8.

3.7.4. Tratamiento experimental

Los tratamientos se realizaron en 3 estanques, los parámetros de operación evaluados fueron: RPM, tiempo de agitación y altura de cultivo:

- La primera prueba se desarrolló a una velocidad de agitación de 7 RPM, 12 h de agitación y con las siguientes alturas de cultivo 0,15; 0,23 y 0,30 m.

- La segunda prueba se desarrolló con 7 RPM, 24 h de agitación y con las siguientes alturas 0,15; 0,23 y 0,30 m.
- La tercera prueba se desarrolló con 9 RPM, 12 h de agitación y con las siguientes alturas 0,15; 0,23 y 0,30 m.
- La cuarta prueba se desarrolló con 9 RPM, 24 h de agitación y con las siguientes alturas 0,15; 0,23 y 0,30 m.
- La quinta prueba se desarrolló con 12 RPM, 12 h de agitación y con las siguientes alturas 0,15; 0,23 y 0,30 m.
- La sexta prueba se desarrolló con 12 RPM, 24 h de agitación y con las siguientes alturas 0,15; 0,23 y 0,30 m.

3.7.5. Obtención de la concentración de espirulina

A continuación se describe la obtención de la concentración del cultivo de espirulina en peso seco g/L.

- **Cosecha:**

En el proceso de cosecha de biomasa de la espirulina se realizó utilizando los siguientes materiales:

- Telas filtro de 50 micras.
- Bomba de Agua Sumergible 0,67 HP 167 L/min
- Cosechadores de madera.
- Coladores.
- Filtro de agua azul AGL 2" M-NPT, 130 micrones 120 anillos ranurado.

En el proceso de la cosecha en primer lugar se acomoda el cosechador, sobre ello se coloca las telas filtro con una porosidad de 50 micras para retener la biomasa de espirulina mientras el medio líquido pasa a través de los poros de la tela, asimismo los filtros agrícolas para retener cuerpos extraños. Luego de ello se procede a extraer un volumen de 1000 L con la bomba sumergible del estanque de cultivo.

Figura 12

Espirulina cosechada



- **Filtrado y lavado:**

La etapa de filtrado se realizó por gravedad, con la finalidad de reducir la masa de agua de la biomasa cosechada.

Figura 13

Lavado y filtrado de la espirulina

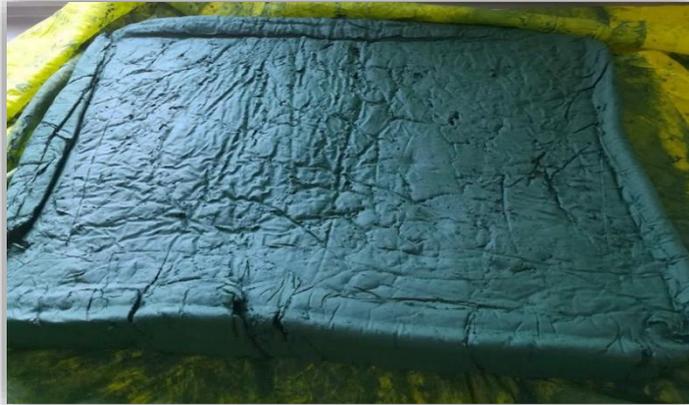


- **Prensado:**

En esta etapa se efectuó manualmente con el objetivo de eliminar el líquido presente en la biomasa hasta obtener una biomasa denominada “torta” factible para la etapa del prensado.

Figura 14

Prensado de la espirulina



- **Extrusión:**

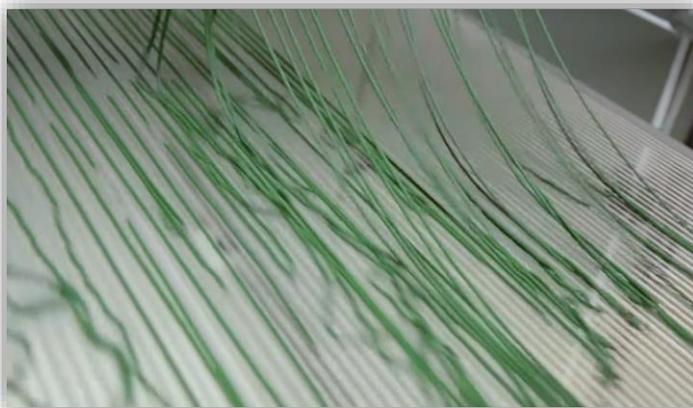
Para la etapa de extrusión se utilizó los siguientes materiales:

- Bolsas de polietileno 2 mm Ø
- Bandejas de secado.

En este proceso se coloca la torta obtenida de la extrusión dentro de la bolsa y se aplica una fuerza manual obteniendo una biomasa en forma de espagueti esparciendo en bandejas listos para la etapa del secado.

Figura 15

Extruido de la espirulina



- **Secado:**

En esta etapa se utilizaron los siguientes equipos:

- Secador de bandejas
- Se obtiene una biomasa libre de agua. Para esta etapa se utilizó el secador de bandejas a una temperatura de 45 °C por un periodo de 8 horas.

Concluyendo las etapas se pasó a realizar el peso de la biomasa seca g/L de espirulina.

Figura 16

Secado en bandejas



3.7.6. Calidad morfológica de la espirulina

La obtención de los datos de la calidad morfológica, se empleó la cámara de conteo Sedgewick Rafter, con el propósito de evaluar el conteo de tricomas lineales y espirales, en los estanques experimentales. El conteo se llevó a cabo en la etapa de adaptación inicial y en la fase de crecimiento exponencial final de los cultivos, siguiendo el siguiente protocolo:

- Se tomó una muestra de 1 mL de las pruebas experimentales y se observó en la cámara Sedgewick Rafter.
- La muestra se observó haciendo uso de un microscopio binocular a una amplitud de 100X.
- Se realizó el conteo representativo de 4 filas y 4 columnas, obteniendo un promedio.
- El número de tricomas lineales y espirales se determinó haciendo uso de la siguiente ecuación:

- El porcentaje de tricomas espirales y lineales se determinó de la siguiente manera:

$$\% \text{ tricomas espirales} = \frac{N^{\circ} \text{ de tricomas espirales}}{N^{\circ} \text{ de tricomas tates}} \times 100$$

$$\% \text{ tricomas lineales} = \frac{N^{\circ} \text{ de tricomas lineales}}{N^{\circ} \text{ de tricomas tates}} \times 100$$

Figura 17

Conteo de la morfología de la espirulina



3.8. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para el procesamiento y análisis de datos del presente trabajo se detalla los siguientes pasos:

- Recolección de datos:** Se recopiló los datos necesarios para el estudio, considerando los factores y niveles:
 - RPM (3 niveles)
 - Tiempo de agitación (2 niveles)
 - Profundidad del flujo del flujo de agua (3 niveles)
- Selección de programa:** Para el procesamiento de los datos, se utilizó programas como Minitab y Microsoft Excel.

- c) **Procesamiento de datos:** Los datos recolectados se procesaron utilizando el método de diseño de experimentos, en este caso, experimento factorial de la serie 3k.
- d) **Presentación de resultados:** Los resultados procesados se presentan de forma clara y organizada en tablas, figuras y otros formatos pertinentes mostrados en el siguiente capítulo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DISEÑO PRELIMINAR

Figura 18

Diseño preliminar del estanque tipo canal 2D

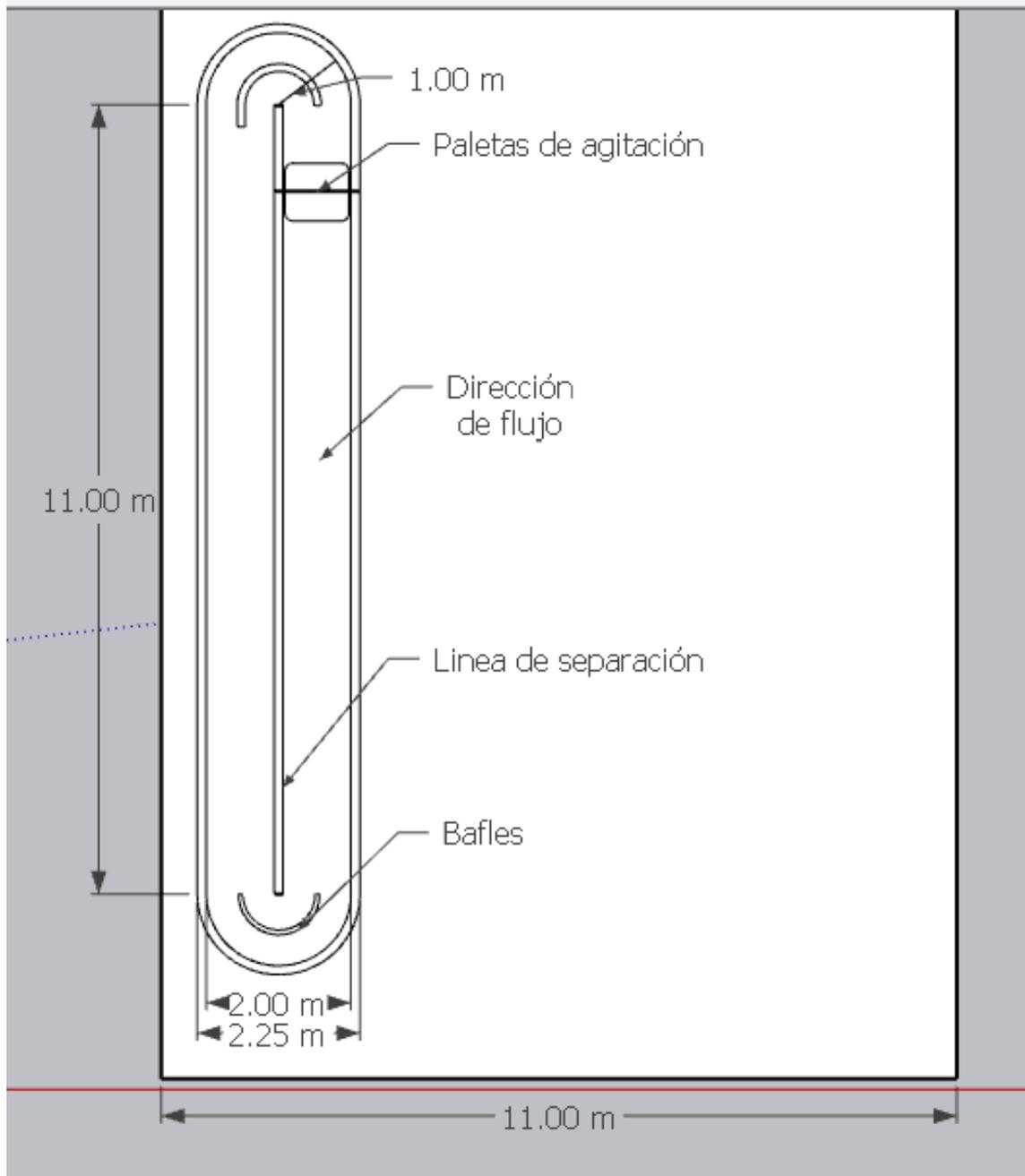


Figura 19

Diseño preliminar del estanque tipo canal 3D

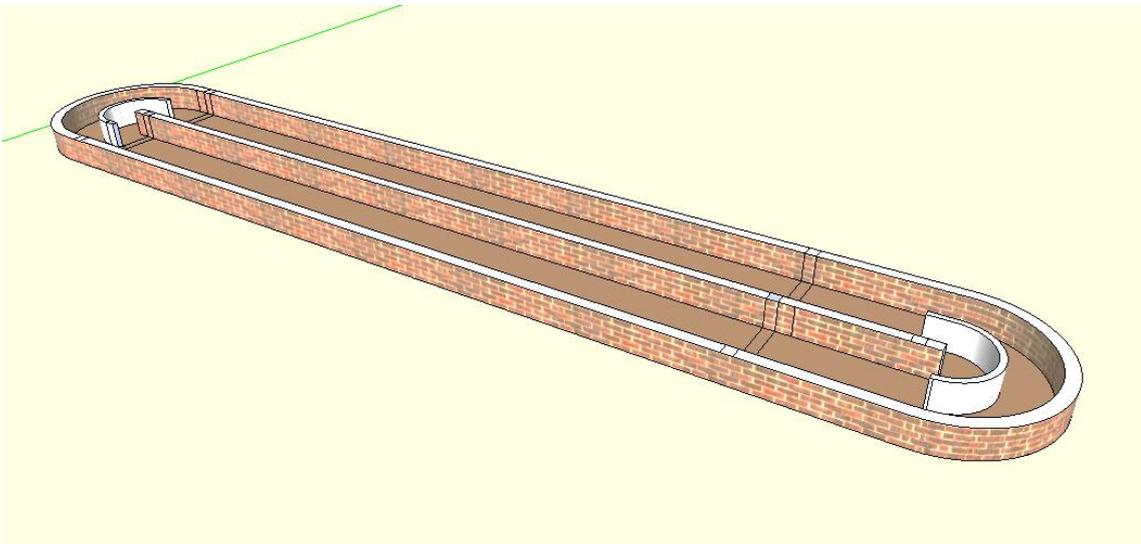


Figura 20

Diseño preliminar 2D de los estanques en el área disponible

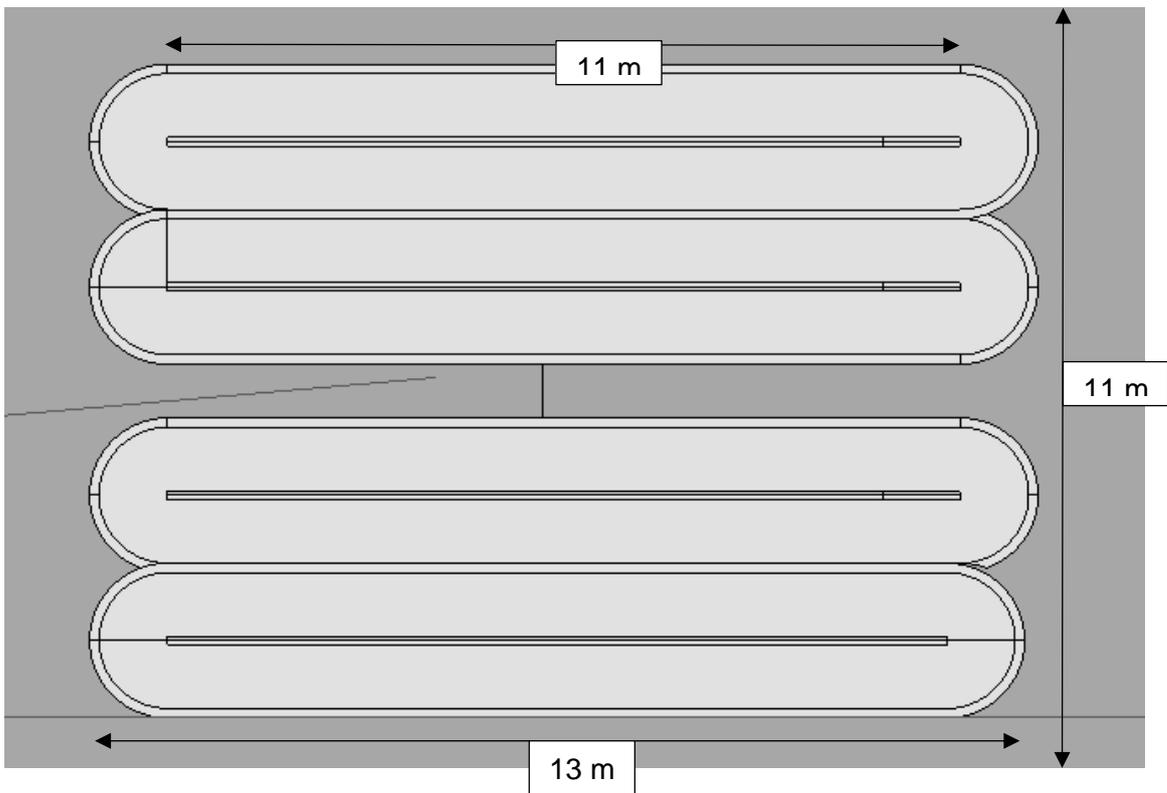
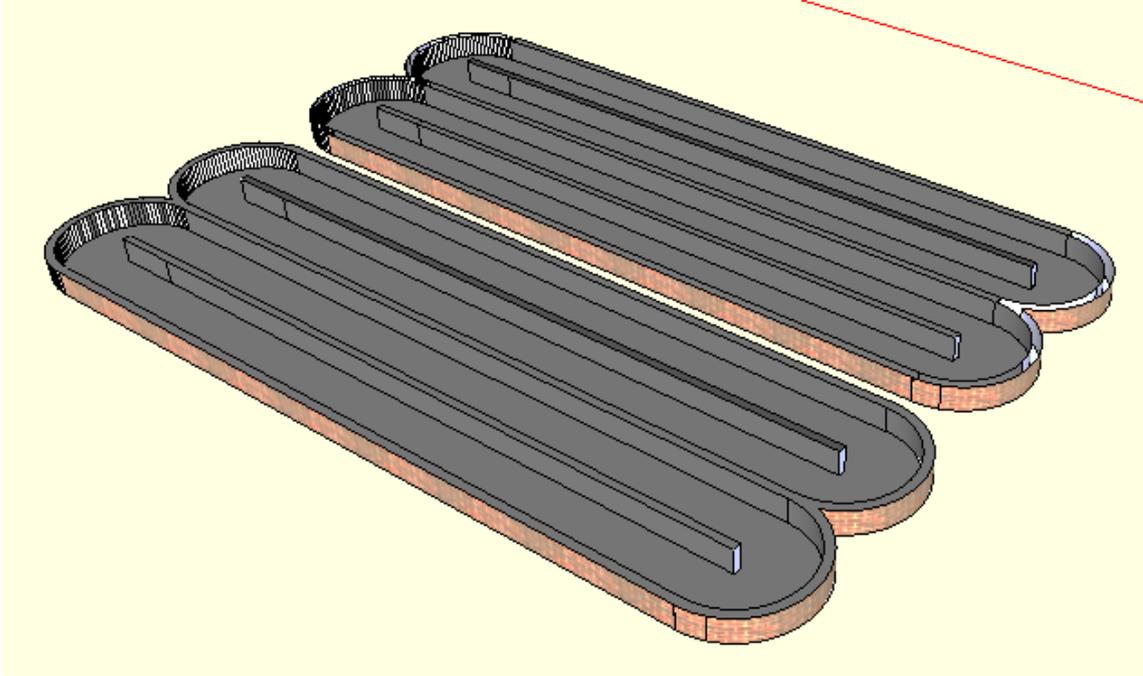


Figura 21

Diseño preliminar 3D de los estanques en el área disponible



El diseño del estanque tipo canal fue desarrollado acorde a las consideraciones mencionadas. Estas características geométricas de este estanque, como las curvas en los extremos y la presencia de los deflectores (baffles), han sido diseñadas con el objetivo de evitar zonas muertas y la sedimentación del cultivo, asegurando un flujo adecuado en la circulación del agua. Las dimensiones del estanque se han determinado teniendo en cuenta la relación entre el área disponible en el terreno y la capacidad de producción deseada. Además, las consideraciones sobre la longitud y el ancho se han contrastado con la relación p/q , mientras que la altura ha sido definida para no obstaculizar la iluminación necesaria para el cultivo y producir el estrés. Este enfoque de diseño se basa en las sugerencias propuestas por varios autores y se ha validado mediante la experiencia práctica en el lugar de cultivo. Los resultados obtenidos demuestran la eficacia de estas consideraciones en la forma, características y dimensiones del estanque, confirmando así la validez del enfoque adoptado.

4.2. CONSTRUCCIÓN DE ESTANQUES

Figura 22

Proceso de construcción de los estanques



Figura 23

Finalización de la construcción de los estanques



La figura ilustra el progreso constructivo y la conclusión de los estanques en concordancia con el diseño preestablecido. La elección de los materiales se realizó teniendo en cuenta su función y desempeño de cada uno, así como su calidad y durabilidad. Se priorizó la utilización de acero galvanizado en las estructuras externas

para prevenir la oxidación, las paletas de agitación, fueron fabricadas en acero inoxidable, desmontables para facilitar su mantenimiento y ensamblaje estos estanques construidos adoptan un ambiente adecuado para el mejor desarrollo del cultivo de microalga espirulina.

4.3. CONCENTRACIÓN DEL CULTIVO DE ESPIRULINA

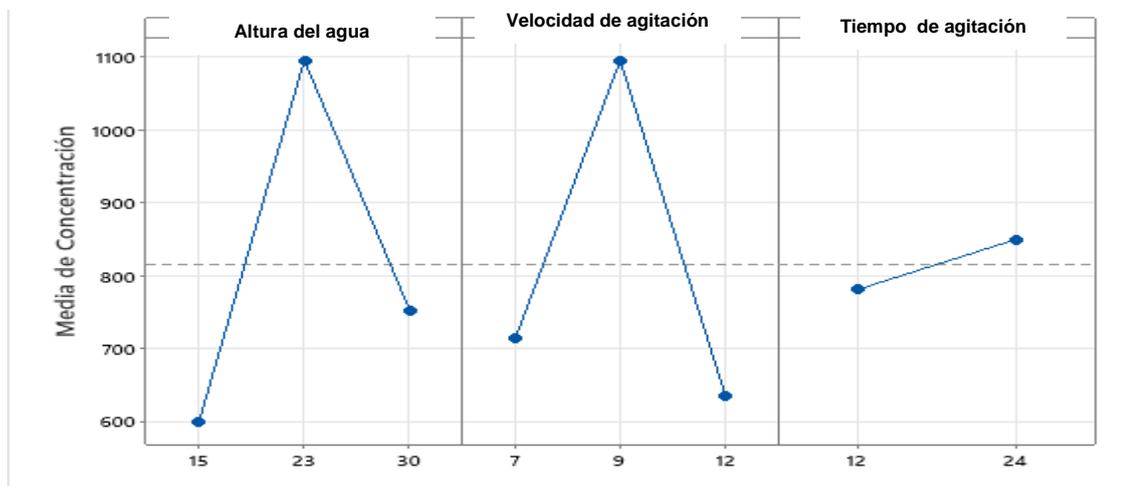
Las figuras 24, 26 y 27 fueron obtenidas utilizando el método de diseño de experimentos en este caso el diseño factorial completo, el modelo usado fue el experimento factorial de la serie 3k, los datos fueron procesados con el software estadístico Minitab.

- Factor 1: Velocidad de agitación RPM (3 niveles) 7 RPM, 9 RPM Y 12 RPM
- Factor 2: Tiempo de agitación (2 niveles) 12 h, 24 h
- Factor 3: Profundidad del flujo de agua (3 niveles) 0, 15 m; 0,23 m; 0,30 m

La siguiente figura muestra los resultados de la concentración del cultivo de espirulina en peso seco g/L.

Figura 24

Resultado de la gráfica de efectos principales



Nota. El modelo usado fue el experimento factorial de la serie 3k, los datos fueron procesados con el software estadístico Minitab.

4.3.1. Efecto de la altura de agua

La relación entre la altura del agua y la temperatura del agua es inversamente proporcional: a mayor altura, menor temperatura; a menor altura, mayor temperatura.

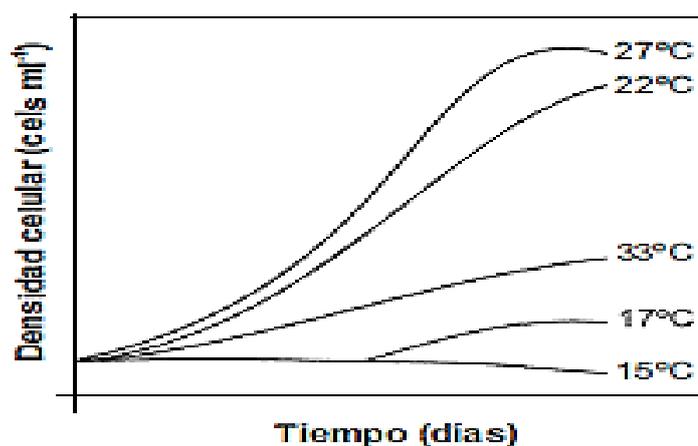
Esta relación de temperatura se puede corroborar de acuerdo a los tratamientos realizados así como los diferentes estudios mencionados.

En la gráfica de efectos se observa que en el factor (altura del agua) respecto a la concentración se destacan las concentraciones óptimas en el nivel de 0,23 m obteniendo una temperatura de 25 ± 4 °C en comparación con las alturas de 0,15 m y 0,30 m. Cuando la altura del agua fue de 0,15 m, se identificó que la temperatura del flujo de agua en el estanque aumentó considerablemente sobre los 40 ± 4 °C, este incremento de temperatura resultó desfavorable para el cultivo de espirulina, llevando a la muerte del cultivo y como consecuencia, una disminución en la concentración. Por otro lado, con una altura del medio de 0,30 m, se evidenció una temperatura $17^\circ\text{C} \pm 4$. Además, la iluminación insuficiente en la base del estanque, contribuyó a que las condiciones para el crecimiento de la espirulina no sean favorables, estos factores condujeron a una concentración inferior de espirulina en el cultivo.

De acuerdo con la investigación de (Mostafa M, 2016), las microalgas como la espirulina demuestran capacidad para soportar un rango de temperaturas que va desde 15 °C hasta 30 °C. Por debajo de los 15 °C, se observa una desaceleración en el ritmo de crecimiento, mientras que las temperaturas que exceden los 35 °C resultan letales para las células. Además, se ha señalado que las temperaturas por debajo de 10 °C disminuyen la tasa fotosintética, lo cual puede incidir en la productividad de la biomasa, como menciona (Torzillo, 1991).

Figura 25

Efecto de la temperatura sobre el crecimiento de microalgas



Nota: Tomado de: Kaplan et al. (1986)

Kaplan et al. (1986) indica que una temperatura de 27 °C resulta óptima para el crecimiento de las microalgas, y sugiere tener en cuenta que tanto un aumento excesivo

como una disminución en la temperatura pueden afectar adversamente la densidad del cultivo como se menciona en la figura 25.

En contraste, al emplear una altura del flujo de agua de 0,23 m, fue posible mantener la temperatura en proximidad al nivel óptimo de 25 °C. Esto condujo a condiciones favorables para el desarrollo de la espirulina. Asimismo, en esta altura, la distribución de la iluminación fue más uniforme, lo que propició una mayor concentración del cultivo.

4.3.2. Efecto de la velocidad de agitación

En la gráfica de efectos, figura 24, el factor de velocidad de agitación (RPM) se aprecia que con 9 RPM se obtiene mejores concentraciones a comparación de 7 y 12 RPM.

En concordancia con (Vonshak, 1997), refiere que es fundamental mantener una agitación adecuada durante el cultivo. Una agitación adecuada se traduce en un incremento en la productividad. Por el contrario, si se emplea una agitación de baja intensidad, existe el riesgo de que se acumulen sedimentos de nutrientes y de espirulina. (Richmond, 1988) Subraya la importancia de regular la velocidad del flujo con el fin de alcanzar concentraciones óptimas y propone que una velocidad de flujo que se sitúa entre 10 y 20 cm/s en tanques de sistema abierto se presenta como ideal para la producción de espirulina. No obstante, es relevante tener en cuenta que esta cifra puede experimentar variaciones según la profundidad del medio de cultivo. Por otro lado (Pulz, 2001) se señala que una concentración adecuada de espirulina se alcanza a una velocidad de 25 cm/s. Asimismo, destaca que la velocidad depende del tipo de agitación y tipo de paleta utilizado en el estanque.

En síntesis, la velocidad de agitación (RPM) desempeña un papel fundamental para alcanzar concentraciones apropiadas de espirulina. Los estudios científicos coinciden en que una agitación de baja velocidad (7 RPM) conduce a la sedimentación y una distribución inadecuada de nutrientes, provocando concentraciones bajas de espirulina. En cambio, al emplear una agitación de 12 RPM, la concentración disminuye debido a los daños causados por la agitación intensa donde los tricomas revelan daños en la morfología originada por las paletas de agitación.

Efecto del tiempo de agitación

Al analizar la figura 24, la relación entre el tiempo de agitación y la concentración, se evidencia una diferencia mínima en los resultados. Se observa que una agitación

durante 24 horas produce una concentración ligeramente mayor en comparación con una agitación de 12 horas. No obstante, es importante tener en cuenta la recomendación de (Oliveira, 1999) que no es recomendable la agitación durante las noches o en condiciones climáticas frías, con temperaturas inferiores a 15 °C. Es fundamental considerar que la espirulina al ser un microorganismo fotosintético, requiere aprovechar la energía lumínica capturada durante el día para generar energía química y utilizarla durante la fase oscura. Por tanto, es aconsejable llevar a cabo la agitación durante el día, específicamente durante un período de 12 horas. Esta elección no solo se alinea con las necesidades de la espirulina, sino que también contribuye a la eficiencia energética, haciendo que una agitación de 12 horas sea más favorable que una durante la noche.

Figura 26

Análisis de varianza

Análisis de Varianza

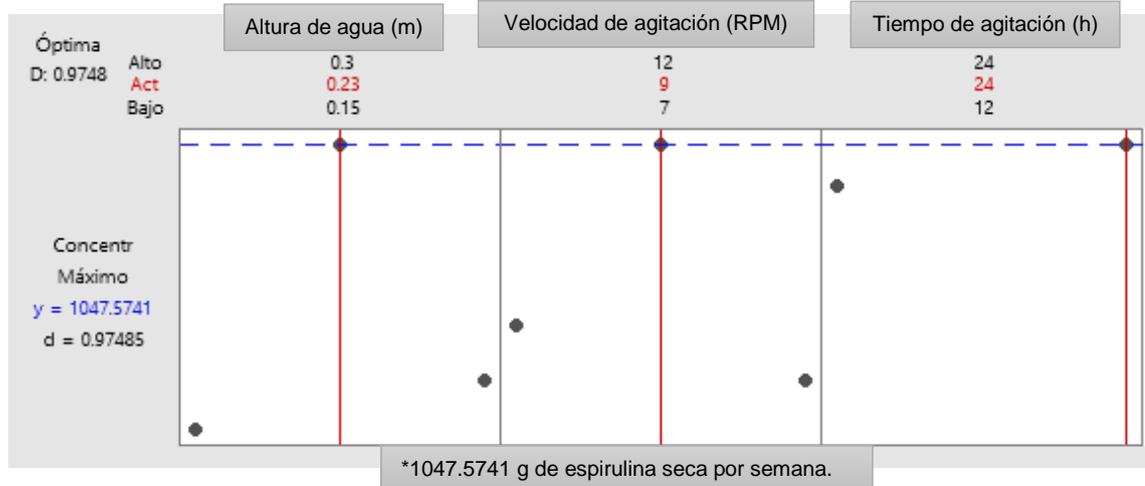
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	17	741913	43642	2.59	0.008
Lineal	5	715747	143149	8.51	0.000
Altura de agua	2	426177	213089	12.67	0.000
Velocidad de agitación RPM	2	277747	138874	8.26	0.001
Tiempo de agitación	1	11822	11822	0.70	0.407
Interacciones de 2 términos	8	22601	2825	0.17	0.994
Altura de agua*RPM	4	1054	263	0.02	0.999
Altura de agua*Tiempo de agitación	2	6295	3148	0.19	0.830
RPM*Tiempo de agitación	2	15252	7626	0.45	0.639
Interacciones de 3 términos	4	3565	891	0.05	0.995
Altura de agua*RPM*Tiempo de agitación	4	3565	891	0.05	0.995
Error	36	605581	16822		
Total	53	1347494			

El análisis de varianza revela que los factores de altura de agua y la velocidad de agitación arrojan resultados significativos, mientras que el factor de tiempo de agitación no muestra significancia, con un nivel de confianza del 95 %.

Para que sea significativo el factor (tiempo de agitación) se tiene que considerar constante la iluminación. Como menciona (Mota, 2001) para obtener concentraciones considerables el sistema de cultivo tiene que mantener constante iluminación durante el periodo de 24 horas y en constante agitación.

Figura 27

Optimización de respuesta: Concentración g/L



El gráfico de optimización revela que el rendimiento máximo se logra al emplear una altura de 0,23 m, una velocidad de agitación de 9 RPM y un tiempo de agitación de 24 h con una deseabilidad de 0,97 donde se obtuvo una concentración máxima de 1047,571. El modelo usado fue el experimento factorial de la serie 3k, los datos resultantes fueron procesados con el software estadístico Minitab.

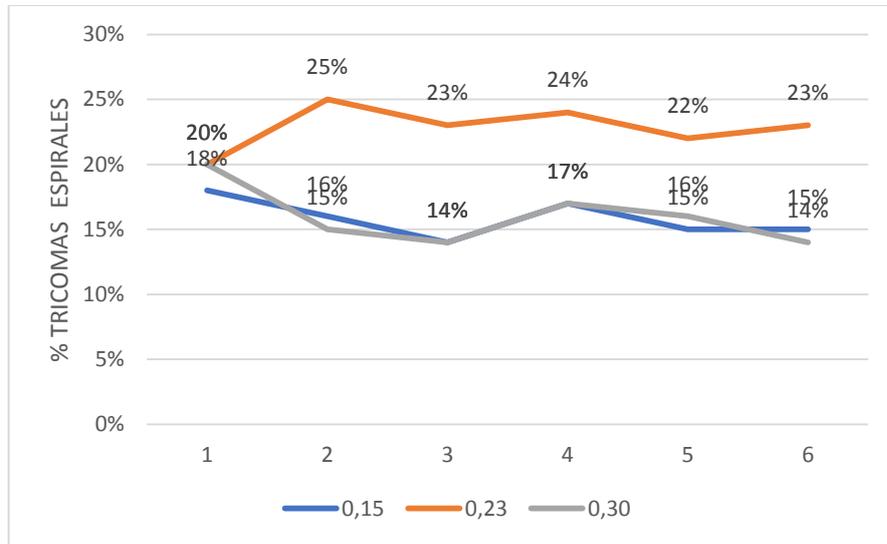
La figura 27 muestra que los parámetros óptimos para lograr una concentración requerida son: una altura de 0,23 m, una velocidad de 9 RPM y un tiempo de agitación de 24 horas. Sin embargo, después de comparar las concentraciones obtenidas con 12 horas y 24 horas de agitación, se encontró que la diferencia es mínima. Dado que hay que considerar los costos asociados con el funcionamiento del motor durante ambos períodos, lo cual se decidió utilizar un tiempo de agitación de 12 horas, ya que proporciona resultados casi idénticos y es más económico en términos de consumo de energía, según (Jiangyu, 2020) menciona que se obtiene considerables concentraciones de biomasa si el cultivo cuenta con una iluminación durante las noches, como lo menciona en su trabajo de investigación donde empleó sistemas de luz LED de diferentes tonalidades (blanca, roja y azul) durante la noche. En ese contexto se tomaría en consideración evaluar el costo de producción con un sistema de iluminación y agitación durante 24 horas.

4.4. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MORFOLÓGICA DEL CULTIVO

La evaluación se realizó cuantificando los tricomas lineales y espirales a través de la cámara Sedgewick Rafter donde se obtuvo los siguientes resultados:

Figura 28

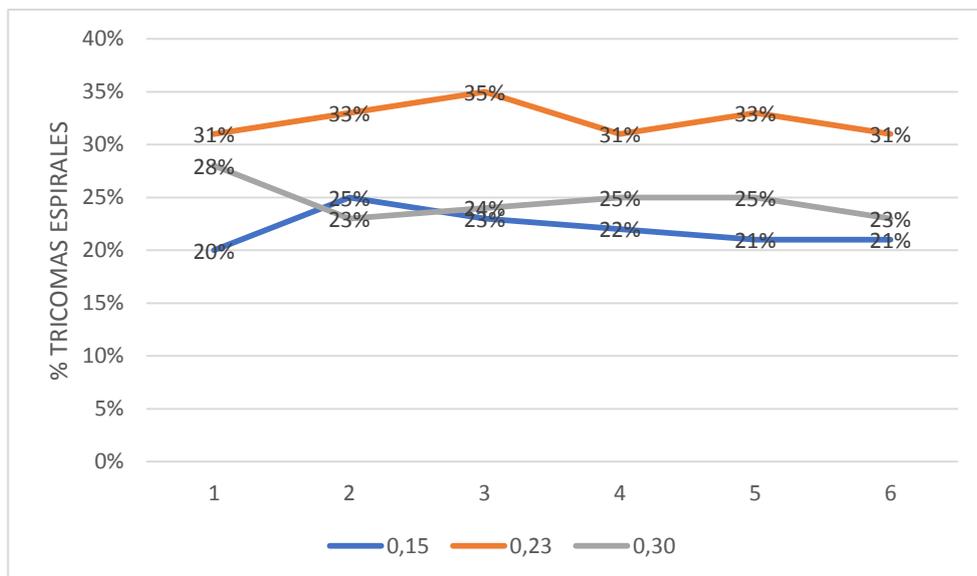
Conteo de la morfología espiral con 7 RPM y 12 horas de agitación



La representación gráfica en la Figura 28 resalta que al establecer el nivel de agua a una altura de 0,23 m, se alcanza un porcentaje más elevado de tricomas en forma espiral en comparación con los niveles de 0,15 m y 0,30 m. Este experimento se llevó a cabo con una velocidad de 7 revoluciones por minuto y 12 horas de agitación.

Figura 29

Conteo de la morfología espiral con 9 RPM y 12 horas de agitación

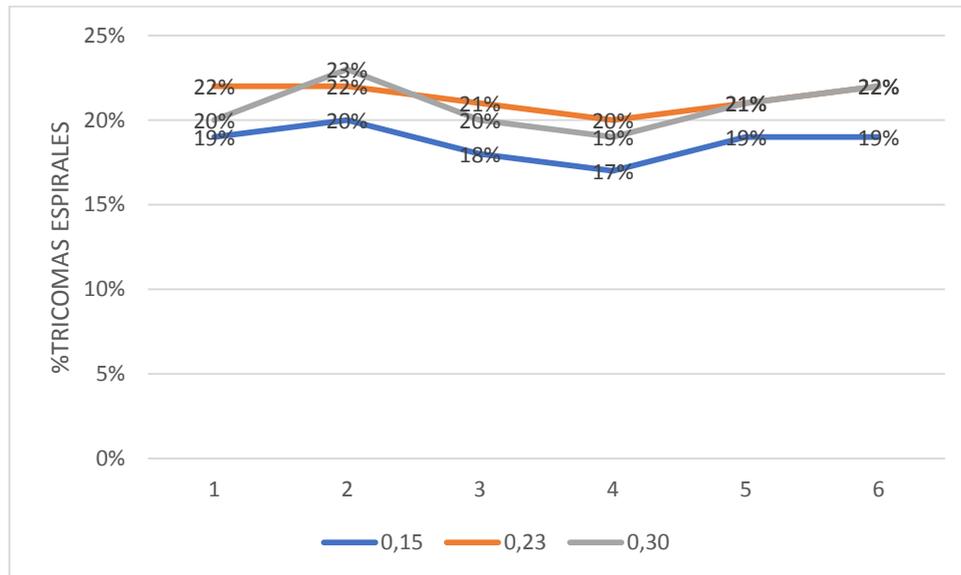


La Figura 29 exhibe que al mantener el nivel del agua a una altura de 0,23 m, se alcanza un porcentaje más elevado de tricomas en forma espiral en comparación con los niveles de 0,15 m y 0,3 m. Es importante destacar que este experimento se llevó a cabo con

una velocidad de agitación constante de 9 revoluciones por minuto y un período de agitación de 12 horas.

Figura 30

Conteo de la morfología espiral con 12 RPM y 12 horas de agitación

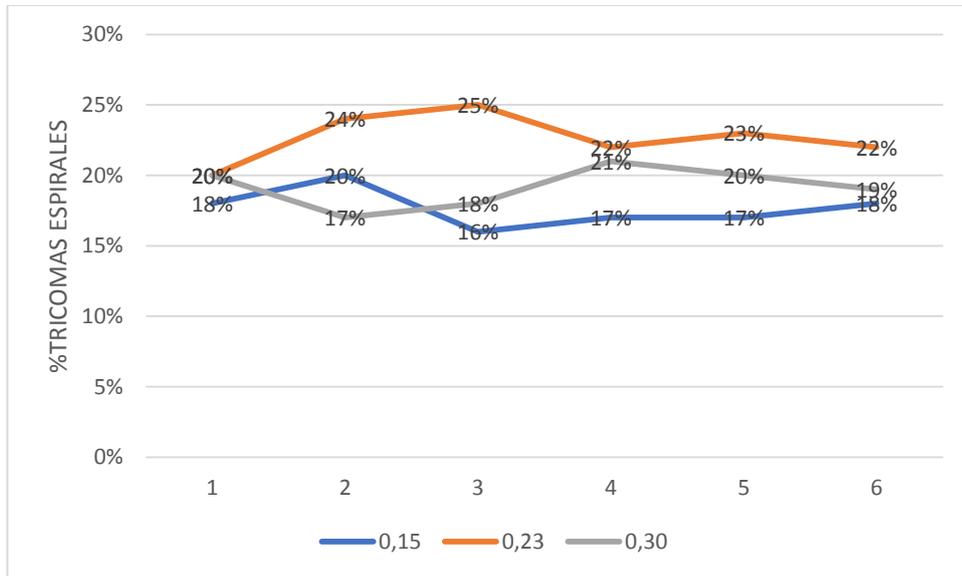


La Figura 30 revela que los tres niveles de altura (0,15 m; 0,23 m; 0,30 m) exhiben porcentajes similares de tricomas en forma espiral. Este experimento fue conducido a una velocidad constante de agitación de 12 revoluciones por minuto durante un período de agitación de 12 horas.

De acuerdo a las figuras 28, 29, 30 con 12 horas de agitación, con 9 RPM fue el que tuvo un porcentaje mayor de tricomas espirales obteniendo un $30 \pm 5\%$. En contraste, las velocidades de agitación de 7 y 12 RPM resultaron en porcentajes más bajos, en el rango de 18% a 20%. Sin embargo, estos resultados no se consideran plenamente satisfactorios, ya que la morfología espiral de la espirulina debería estar en el rango del 90% al 100% para indicar un estado óptimo de calidad morfológica, este resultado se corrobora de acuerdo a (zhou, 2012) quien señala que una vez que la morfología de los tricomas espirales de la espirulina se altera hacia una forma lineal, no es posible que recuperen su forma espiral original. Además, se subraya que los tricomas descendientes de un tricoma alterado mantendrán la misma morfología que la madre (lineal). De esta manera a pesar de los tratamientos realizados no tiene un efecto directo en relación al cambio morfológico.

Figura 31

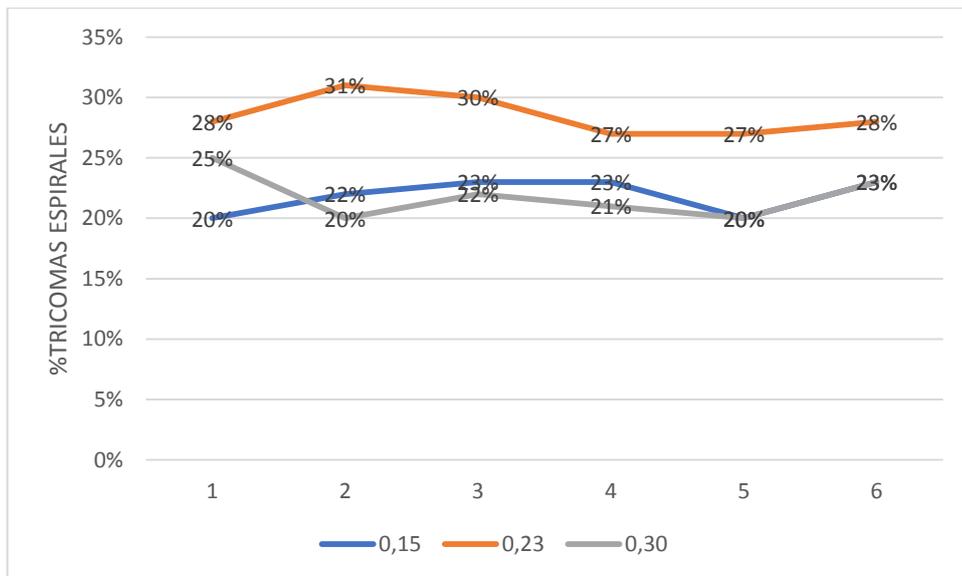
Conteo de la morfología espiral con 7 RPM con 24 h de agitación



La representación gráfica en la Figura 31 resalta que al establecer el nivel de agua a una altura de 0,23 m, se alcanza un porcentaje más elevado de tricomas en forma espiral en comparación con los niveles de 0,15 m y 0,30 m. Este experimento se llevó a cabo con una velocidad de 7 RPM y 24 horas de agitación.

Figura 32

Conteo de la morfología espiral con 9 RPM con 24 h de agitación

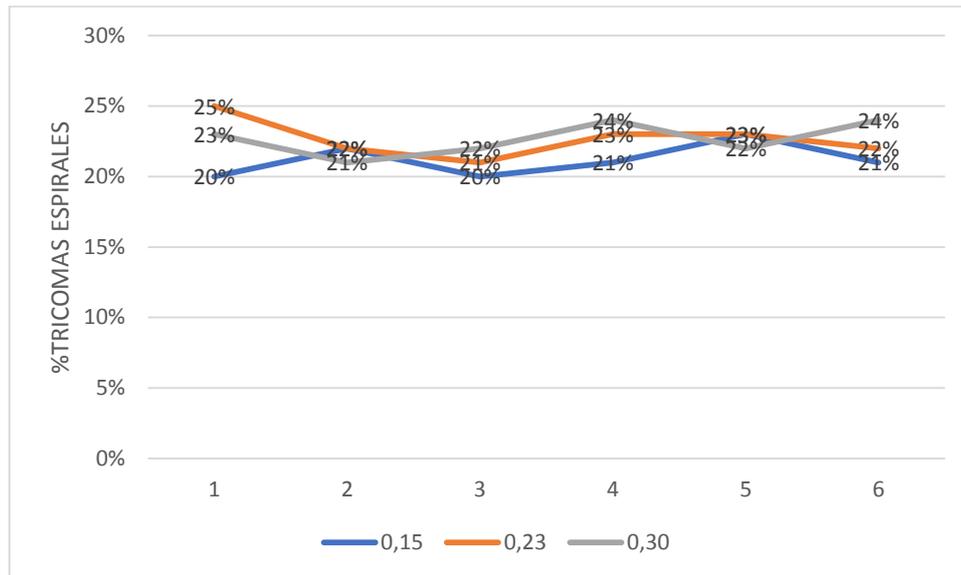


La representación gráfica en la Figura 32 resalta que al establecer el nivel de agua a una altura de 0,23 m, se alcanza un porcentaje más elevado de tricomas en forma espiral

en comparación con los niveles de 0,15 m y 0,3 m. Este experimento se llevó a cabo con una velocidad de 9 RPM y 24 horas de agitación.

Figura 33

Conteo de la morfología espiral con 12 RPM con 24 h de agitación



La Figura 33 revela que los tres niveles de altura (0,15 m; 0,23 m; 0,30 m) exhiben porcentajes similares de tricomas en forma espiral. Este experimento fue conducido a una velocidad de agitación de 12 revoluciones por minuto durante un período de agitación de 24 horas.

De acuerdo con los datos presentados en las figuras 31, 32 y 33, se observa que con un tiempo de agitación de 24 horas y una velocidad de 9 RPM se obtiene el porcentaje más alto de tricomas espirales, alcanzando un $30 \pm 5\%$. En contraste, las velocidades de agitación de 7 y 12 RPM arrojaron porcentajes más bajos, en el rango de 18 % a 20 %. Estos resultados son coherentes con los datos obtenidos con un tiempo de agitación de 12 horas. Esto sugiere que el tiempo de agitación no parece tener un impacto significativo en la calidad morfológica. Esta conclusión se refuerza al considerar que la morfología predominante en el cultivo es la de tricomas lineales. Como se mencionó anteriormente, una vez que la espirulina ha experimentado el cambio morfológico de tricomas espirales a lineales, no es posible revertirlo. Este fenómeno puede deberse a varios factores, incluida la sensibilidad interna de la espirulina a las condiciones estresantes. Aunque su morfología distintiva es en forma de espiral, esta forma puede alterarse en respuesta a estrés, como las fluctuaciones de temperatura. (Arora Soni, 2019) Señala que temperaturas entre 25 y 30 °C favorecen el rendimiento óptimo de

Arthrospira Platensis. Sin embargo, los cambios abruptos en la temperatura pueden conducir a la transformación de la forma espiral a una forma lineal. Además de la temperatura, es importante reconocer que este fenómeno está influenciado por diversos factores adicionales.

Dada la naturaleza de los resultados obtenidos, sería recomendable considerar la realización de un cultivo utilizando una nueva cepa que exhiba una morfología con un 100 % de tricomas espirales. Sin embargo, es fundamental abordar este proceso con una cuidadosa gestión de los diversos factores que pueden influir en la calidad morfológica. Este enfoque plantea una incógnita intrigante para futuros trabajos de investigación, ya que el control efectivo de estos factores puede ser un desafío significativo en la búsqueda de una morfología completamente espiralada.

CONCLUSIONES

- Los parámetros de operación evaluados en el estanque tipo canal para mejorar el rendimiento de producción de espirulina y su calidad morfológica fueron; la altura de flujo de agua, la velocidad y tiempo de agitación.
- El estanque tipo canal diseñado es de flujo continuo de agua, circulando de ida y vuelta por canales separados, con curvatura y baffles (deflectores) para evitar zonas muertas, agitados con paletas de acero inoxidable, un estanque tiene un área de producción de 25,14 m² para un volumen de 5,78 m³ y con capacidad para obtener 1 kg seco de espirulina.
- La construcción del estanque fue de ladrillo y concreto, forrado con geomembrana HDPE, el sistema de agitación fue de acero inoxidable n° 304 y la infraestructura externa con acero galvanizado y planchas de policarbonato.
- Se determinó los parámetros, para velocidad de agitación se evaluaron 3 niveles (7 RPM, 9 RPM, 12 RPM), tiempo de agitación en 2 niveles (12 h, 24 h) y la altura del medio de cultivo con 3 niveles (0,15 m; 0,23 m; 0,30 m), obteniendo como parámetros adecuados los siguientes: velocidad de agitación de 9 RPM, altura del medio de cultivo de 0,23 m y un tiempo de agitación de 12 h.
- Se evaluó el rendimiento y la calidad morfológica del cultivo espirulina observando una producción semanal inicial de 800 g de espirulina en peso seco por semana, correspondiente a 0,2 g/L. Después de realizar los ajustes necesarios en los parámetros, se logró incrementar esta producción a 1064 g de espirulina en peso seco por semana, correspondiente a 0,27 g/L, lo que representó un aumento significativo en el rendimiento del 33 %.
Respecto a la calidad morfológica el porcentaje inicial de tricomas espirales antes de realizar los ajustes fue de 28 ± 5 %, considerando los parámetros de operación, el porcentaje de tricomas espirales fue de 30 ± 5 %.

RECOMENDACIONES

- Para iniciar un cultivo a menor o mayor escala, se debe iniciar a partir de un aislamiento de cepas, seleccionando los tricomas en buen estado (forma espiral).
- Realizar investigaciones y efectuar un análisis químico proximal comparativo entre los tricomas en forma espiral y lineal.
- Efectuar investigaciones orientadas hacia la iluminación óptima durante las horas nocturnas en el escenario de un sistema de operación ininterrumpida durante las 24 horas.
- Tener en consideración las condiciones de la ubicación o región en donde se realizará el cultivo de microalgas y de acuerdo a ello adecuar los parámetros necesarios para obtener un buen rendimiento en el cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abalde, J. C. (2000). Microalgas, Cultivo y Aplicaciones. doi:<https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497695>
- Arora Soni, R. S. (2019). Comparative study on the growth performance of *Spirulina platensis* on modifying culture media. *Energy Reports*, 327-336. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.02.009>
- Bless, M. C. (2016). *Simulación computacional del crecimiento de microalgas en un fotobiorreactor*. Tesis de maestría, Universidad Argentina de la Empresa. Obtenido de <https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/7481>
- Bohórquez, S. (2017). *Efecto de la espirulina en el manejo de las alteraciones metabólicas relacionadas a la obesidad*. Tesis de Maestría, Universidad san Ignacio de Loyola. Obtenido de <https://repositorio.usil.edu.pe/handle/usil/2711>
- Brenan, M. &. (2010). Biofuels from microalgae- A review of technologies for production, processing, and extraction of biofuels and co-products. *Science*, 557-577. Obtenido de <https://www.cajamar.es/es/agroalimentario/innovacion/investigacion/>
- Chiaramonti, D. P. (2013). Review of energy balance in raceway ponds for microalgae cultivation. *Elsevier*, 101-111. Obtenido de www.elsevier.com/locate/apenergy
- Escriba, C. &. (2018). *Estudio comparativo de la biomasa de las souches Arthrospira platensis "espirulina", Orovilca y Paracas en los biorreactores*. Ica.
- Fernández, A. S. (2013). Photobioreactors for the production of microalgae. *Environ Sci Biotechnol*, 131-151. doi:10.1007/s11157-012-9307-6
- Hernández A. & Labbé, I. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 2(49), 157-173. doi:10.4067/S0718-19572014000200001
- Hernández, R. F. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). Santa Fe, México: Mc Graw Hill Education.
- Hongyan, W. K. (setiembre de 2005). Efectos de la radiación UV solar sobre la morfología y la fotosíntesis de la cianobacteria filamentosa *Arthrospira platensis*. 71(9). doi:10.1128/AEM.71.9.5004-5013.2005
- Huarachi, R. Y. (2014). Adaptabilidad de *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis* en fotobiorreactor tubular cónico bajo condiciones ambientales. *IDESIA*, 33(1), 103-112.
- Jiangyu, Z. &. (2020). Harvesting of *Arthrospira platensis* by flocculation with phytic acid from rice bran. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*.
- Jorquera, K. S. (2010). Comparative energy life-cycle analyses of microalgal biomass production in open ponds and photobioreactors. *Elsevier*, 1(10), 1406-1413.
- K. Liffman, D. P. (2013). Comparing the energy efficiency of different high rate algal. *Elsevier*, 221-226. Obtenido de www.elsevier.com/locate/cherd

- Leon, D. (2 de Febrero de 2022). *Las nuevas fuentes de proteínas que revolucionan la alimentación del futuro*. Obtenido de Las nuevas fuentes de proteínas que revolucionan la alimentación del futuro:
https://asebio.com/actualidad/noticias/reportaje-las-nuevas-fuentes-de-proteinas-que-revolucionan-la-alimentacion-del?fbclid=IwAR16YGlaPMNqDP24ytvDNV6JE27qAcB_a4iI8OdvN2SzL64iOpw9HAiCxnc
- Liffman, K. P. (2012). Comparing the energy efficiency of different high rate algal. *El sevier*, 221 - 226. Obtenido de www.elsevier.com/locate/cherd
- Medina, M. G. (2003). Modelización térmica de estanques para producción de la microalga *arthrospira platensis*. *Asades*, 2(7), 329-584.
- Mitma, R. (30 de Octubre de 2021). Actualidad y realidad de las microalgas en la región de Ayacucho. (E. Areli, Entrevistador)
- Mostafa Mahmoud, S. I. (2016). Role of Ph on antioxidants production by *Spirulina(Arthrospira) platensis*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 298-304.
- Mota, M. T. (2001). Influence of cell-shaphe on the cake resistance in dead-end and cross-flow filtrations. *Separation Purification Technology*,, 137-144.
- Muñoz, P. P. (2021). Producción de espiruina (*Arthrospira platensis*). *Biorrefinería*, 4(4), 2606-8530.
- Oliveira, M. D. (1999). Growth and chemical composition of *Spirulina maxima* and *Spirulina platensis* biomass at different temperatures. *Aquaculture International*, 261-275.
- Oscanoa, A. C. (2020). Handbook for the production of microalgal biomass under greenhouse conditions. *Inf instMarP*, 3(47), 0378-7702.
- Pulz, O. (2001). Photobioreactors: Production systems for phototrophic microorganisms. *Applied microbiology and biotechnology*, 287-293.
- Ramírez, L. &. (2006). Uso tradicional y actual de *Spirulina sp.* (*Arthrospira sp.*). *redalyc.org*, 9(31), 657-663. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33912009>
- Richmond, A. (1988). *Spirulina*. *Micro-algal Biotechnology*, 85-121.
- Slegers. P, L. M. (2013). Scenario evaluation of open pond microalgae production. *El Sevier*, 29-30. Obtenido de www.elsevier.com/locate/algal
- Srinophakun, K. S. (2012). Design of raceway ponds for producing microalgae. *Research Article*, 3(4), 387-397.
- Torzillo, G. S. (1991). Temperature as an Important Factor Affecting Productivity and Night Biomass Loss in *Spirulina platensis* Grown outdoors in Tubular Photobioreactors. *Bioresource Technology*, 95-100.
 doi:doi:[https://doi.org/10.1016/0960-8524\(91\)90137-9](https://doi.org/10.1016/0960-8524(91)90137-9)
- Vásquez, V. G. (2013). *Modelamiento matemático y por redes neuronales artificiales del crecimiento de Spirulina sp. en fotobiorreactor con fuente de luz*

fluorescente e iluminación en estado sólido. Obtenido de <http://www.sci-agropecu.unitru.edu.pe>.

- Velásquez, A. (2012). Escaling of solar photobioreactor sequestrating of CO₂ of combustion gases optimizing spirulina production. *Sciendo*, 1(15), 7-21.
- Vonshak, A. (1997). Spirulina platensis (Arthrospira) physiology. *cell-biology and biotechnology*.
- Yusuf, C. (2013). aceways-based production of algal crude oil. *Green*, 3(4), 113-142. doi:10.1515/green2013-0018
- Zabala, A. (3 de Agosto de 2020). Cultivo, propiedades, beneficios y procesamiento artesanal de la espirulina. (L. Palacios, Entrevistador)
- zhou, x. &. (2012). Nutrient-dependent Structural Changes in S.aureus Peptidoglycan Revealed by Solid-State NMR Spectroscopy. *biochesmistry*, 51(41), 8134-8153. doi:doi:<https://doi.org/10.1021/bi3012115>

ANEXOS

Anexo 1 Datos de la concentración del cultivo de espirulina

Tabla 3

Cantidad de masa seca (g) cosechada / semana por estanque

RPM	Semana	Tiempo de agitación					
		12 h			24 h		
		Altura del flujo de agua (m)			Altura del flujo de agua (m)		
		0,15	0,23	0,30	0,15	0,23	0,30
7	1	885	909	878	918	926	911
	2	630	906	683	677	917	720
	3	435	883	506	669	892	689
9	4 (1)	992	1051	920	923	1023	940
	5 (2)	828	1034	946	833	980	902
	6 (3)	669	1064	740	751	999	763
12	7 (1)	763	907	774	908	967	861
	8 (2)	693	849	679	697	883	705
	9 (3)	464	805	573	411	814	586

Nota: En la tabla se muestran los resultados de la masa cosechada realizadas por 3 semanas (1; 2; 3) teniendo en cuenta 3 factores: Altura del flujo de agua, RPM, Tiempo de agitación. Donde la altura presenta 3 niveles (0,15 m; 0,23 m; 0,30 m), RPM presenta 3 niveles (7 RPM; 9 RPM; 12 RPM), y el tiempo de agitación presenta 2 niveles (12 h; 24 h)

La lectura de los datos de la tabla es la siguiente: En la semana 1 se cosechó 885 g de espirulina seca con 7 RPM, 12 h de agitación y una altura del medio de 0,15 m.

Anexo 2 Ficha de control de la concentración del cultivo de espirulina

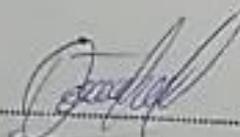
C. ... (P.O.)

MUSUQ KAWSAY SAC	FORMATO			ESPIRULINA AYACUCHO	
	REGISTRO DE TEMPERATURA - pH - CONCENTRACIÓN			%E	%L
FECHA	T °C	concentración (g)	pH		
08/05/21	36°	750	10	20	
15/05/21	37	800	10,4	22	
22/05/21	37	723	10,2	25	
29/05/21	35	740	10	20	
06/06/21	35	760	10	23	
13/06/21	37	780	10,3	21	
20/06/21	32	808	10,4	20	
27/06/21	31	755	10,1	25	
04/07/21	35	749	10	20	
11/07/21	34	800	10	18	
18/07/21	37	790	10	17	
25/07/21	35	781	10	20	
01/08/21	33	803	10,3	24	
08/08/21	34	780	10,1	18	
15/08/21	35	754	10	29	
22/08/21	35	809	10	28	

100%

Temperatura: mayor a 18°C, (óptima: 37°C)

pH: mayor a 9.5 / menor a 10.4


 Jefe de Aseguramiento de Calidad

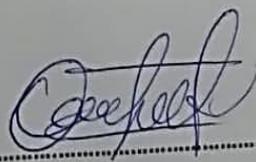

 Responsable de Poza

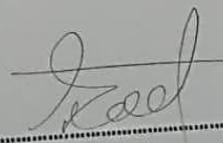
Cosecha Semanal (P.S)

MUSUQ KAWSAY SAC	FORMATO			ESPIRULINA AYACUCHO	
	REGISTRO DE TEMPERATURA - pH - CONCENTRACIÓN				
FECHA	T °C	concentración (g)	pH	%E	%L
05-09-21	35	802	10	31	-
12-09-21	34	808	10	32	-
19-09-21	34	755	10,2	27	-
26-09-21	36	780	10,2	25	-
03-10-21	35	760	9,8	24	-
10-10-21	37	774	9,9	26	-
17-10-21	36	770	10	29	-
24-10-21	34	800	10	32	-
31-10-21	35	749	10	20	-
07-11-21	35	760	10,3	17	-
14-11-21	34	776	10,3	17	-
21-11-21	36	808	10,3	27	-
28-11-21	35	800	10,2	25	-
05-12-21	34	759	10	25	-
12-12-21	36	777	10	24	-
19-12-21	33	810	10,1	20	-

Temperatura: mayor a 18°C, (óptima: 37°C)

PH: mayor a 9.5 / menor a 10.4


 Jefe de Aseguramiento de Calidad


 Responsable de Poza

Anexo 3 Datos de la evaluación de la calidad morfológica del cultivo con 12 h de agitación

Tabla 4

Conteo de morfología de los tricomas lineales y espirales con un tiempo de agitación de 12 h

7 RPM	Altura (m)					
	0,15		0,23		0,30	
muestra	%E	%L	%E	%L	%E	%L
1	18	82	20	80	20	80
2	16	84	25	75	15	85
3	14	86	23	77	14	86
4	17	83	24	76	17	83
5	15	85	22	78	16	84
6	15	85	23	77	14	86
9 RPM	Altura (m)					
	0,15		0,23		0,30	
muestra	%E	%L	%E	%L	%E	%L
1	20	80	31	69	28	72
2	25	75	33	67	23	77
3	23	77	35	65	24	76
4	22	78	31	69	25	75
5	21	79	33	67	25	75
6	21	79	31	69	23	77
12 RPM	Altura (m)					
	0,15		0,23		0,30	
muestra	%E	%L	%E	%L	%E	%L
1	19	81	22	78	20	80
2	20	80	22	78	23	77
3	18	82	21	79	20	80
4	17	83	20	80	19	81
5	19	81	21	79	21	79
6	19	81	22	78	22	78

Nota: En la tabla 5 se muestran los resultados de la morfología espiral (E) y lineal (L), teniendo en cuenta 12 horas de agitación, con un tiempo de agitación de: 7; 9 y 12 RPM y con altura del flujo de agua de: 0,15 m; 0,23 m y 0,30 m.

Anexo 4 Morfología de la espirulina con 12 h de agitación

Figura 34

Observación de la morfología de la espirulina *Arthrospira platensis* con objetivo 100X



Resultados de la morfología con 12 horas de agitación, 7 RPM y una altura de flujo de (0,15 m 0,23 m y 0,30 m)



Resultados de la morfología con 12 horas de agitación, 9 RPM y una altura de flujo de (0,15 m 0,23 m y 0,30 m)



Resultados de la morfología con 12 horas de agitación, 12 RPM y una altura de flujo de (0,15 m; 0,23 m y 0,30 m)

Anexo 5 Datos de la evaluación de la calidad morfológica del cultivo con 24 h de agitación

Tabla 5

Conteo de morfología de los tricomas lineales y espirales con un tiempo de agitación de 24 h

t: 24 h, 7 RPM	Altura (m)					
	0,15		0,23		0,30	
muestra	%E	%L	%E	%L	%E	%L
1	18	82	20	80	20	80
2	20	80	24	76	17	83
3	16	84	25	75	18	82
4	17	83	22	78	21	79
5	17	83	23	77	20	80
6	18	82	22	78	19	81

t: 24 h, 9 RPM	Altura (m)					
	0,15		0,23		0,30	
muestra	%E	%L	%E	%L	%E	%L
1	20	80	28	72	25	75
2	22	78	31	69	20	80
3	23	77	30	70	22	78
4	23	77	27	73	21	79
5	20	80	27	73	20	80
6	23	77	28	72	23	77

t: 24 h, 12 RPM	Altura (m)					
	0,15		0,23		0,30	
muestra	%E	%L	%E	%L	%E	%L
1	20	80	25	75	23	77
2	22	78	22	78	21	79
3	20	80	21	79	22	78
4	21	79	23	77	24	76
5	23	77	23	77	22	78
6	21	79	22	78	24	76

Nota: En la tabla 6 se muestran los resultados de la morfología espiral (E) y lineal (L), teniendo en cuenta 24 horas de agitación, con un tiempo de agitación de: 7; 9 y 12 RPM y con altura del flujo de agua de: 0,15 m; 0,23 m y 0,30 m.

Anexo 6 Morfología de la espirulina con 24 h de agitación

Figura 35

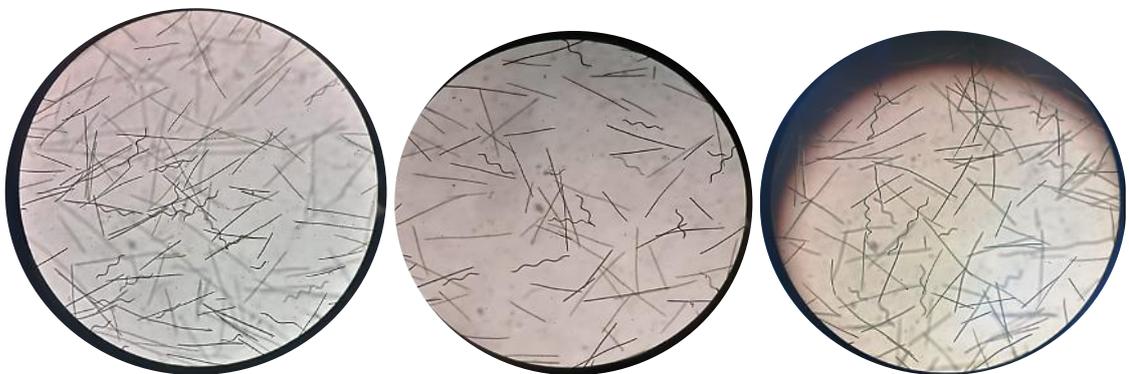
*Observación de la morfología de la espirulina *Arthrospira platensis* con objetivo 100X*



Resultados de la morfología con 24 horas de agitación, 7 RPM y una altura de flujo de (0,15 m 0,23 m y 0,30 m)



Resultados de la morfología con 24 horas de agitación, 9 RPM y una altura de flujo de (0,15 m 0,23 m y 0,30 m)



Resultados de la morfología con 24 horas de agitación, 12 RPM y una altura de flujo de (0,15 m, 0,23 m y 0,30 m).

Anexo 7 Diseño del estanque tipo canal

Figura 36

Dimensionamiento de largo y ancho del estanque

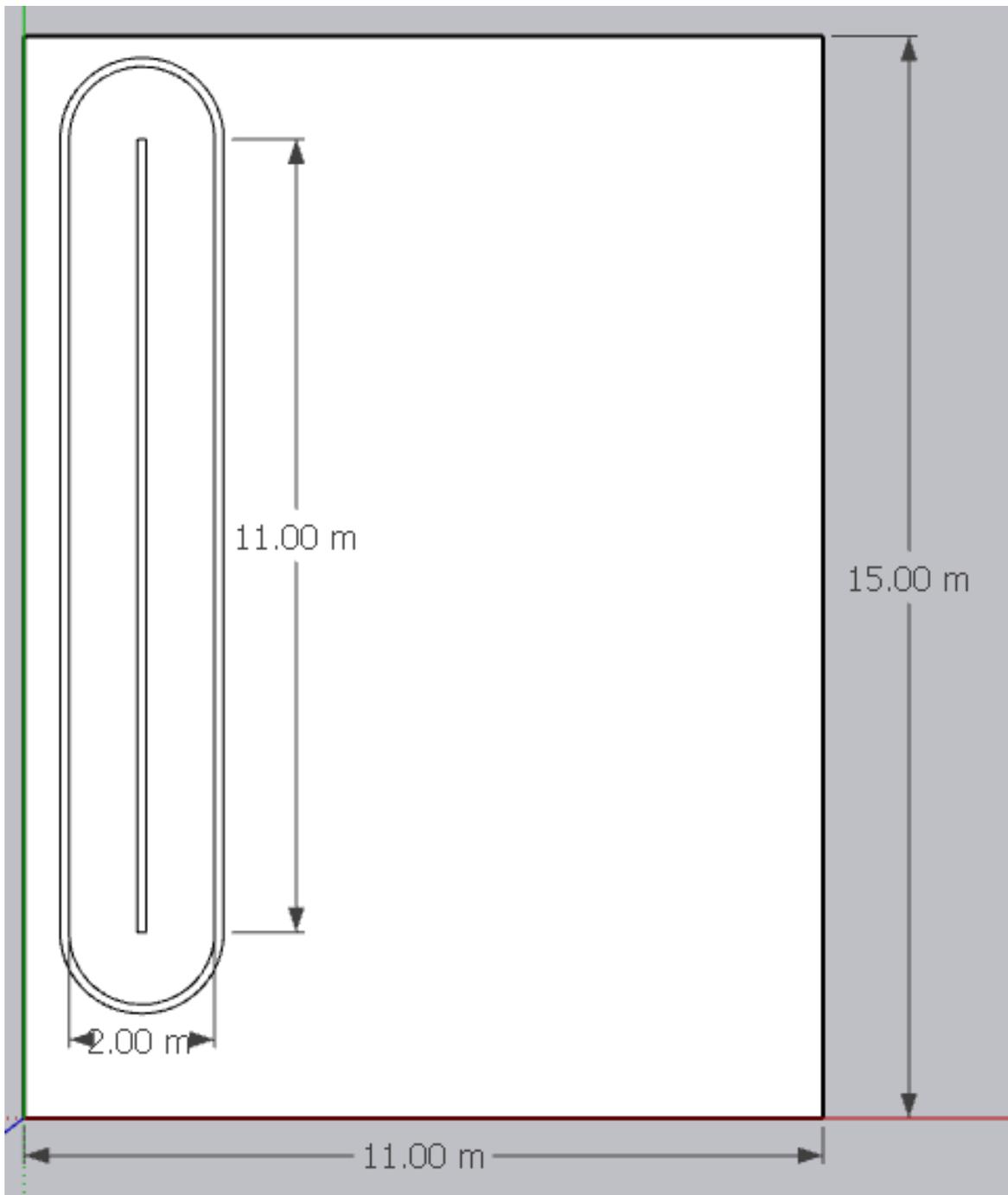


Figura 37

Incorporación de bafles en los extremos del estanque

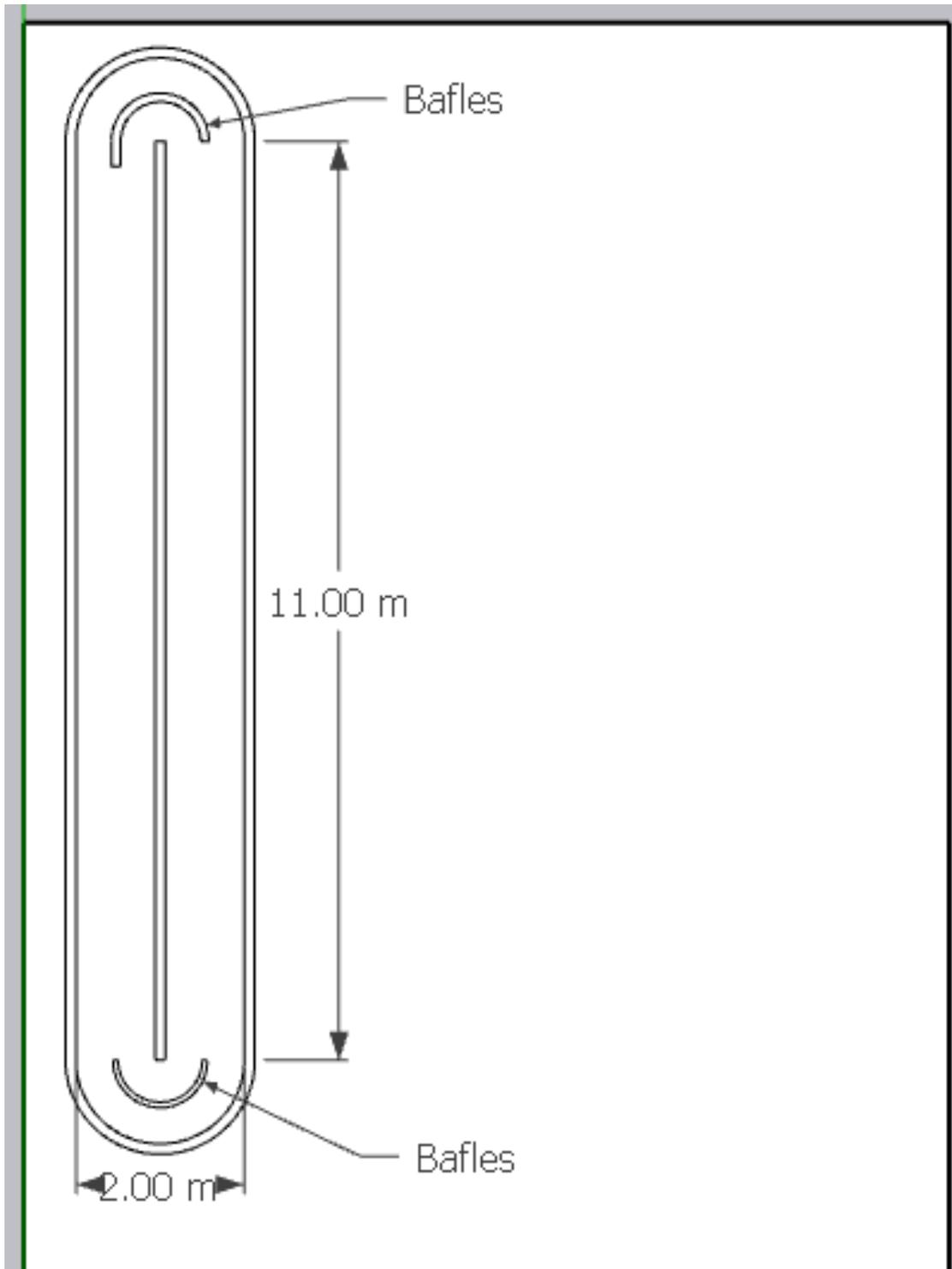


Figura 38

Diseño del estanque con las respectivas características

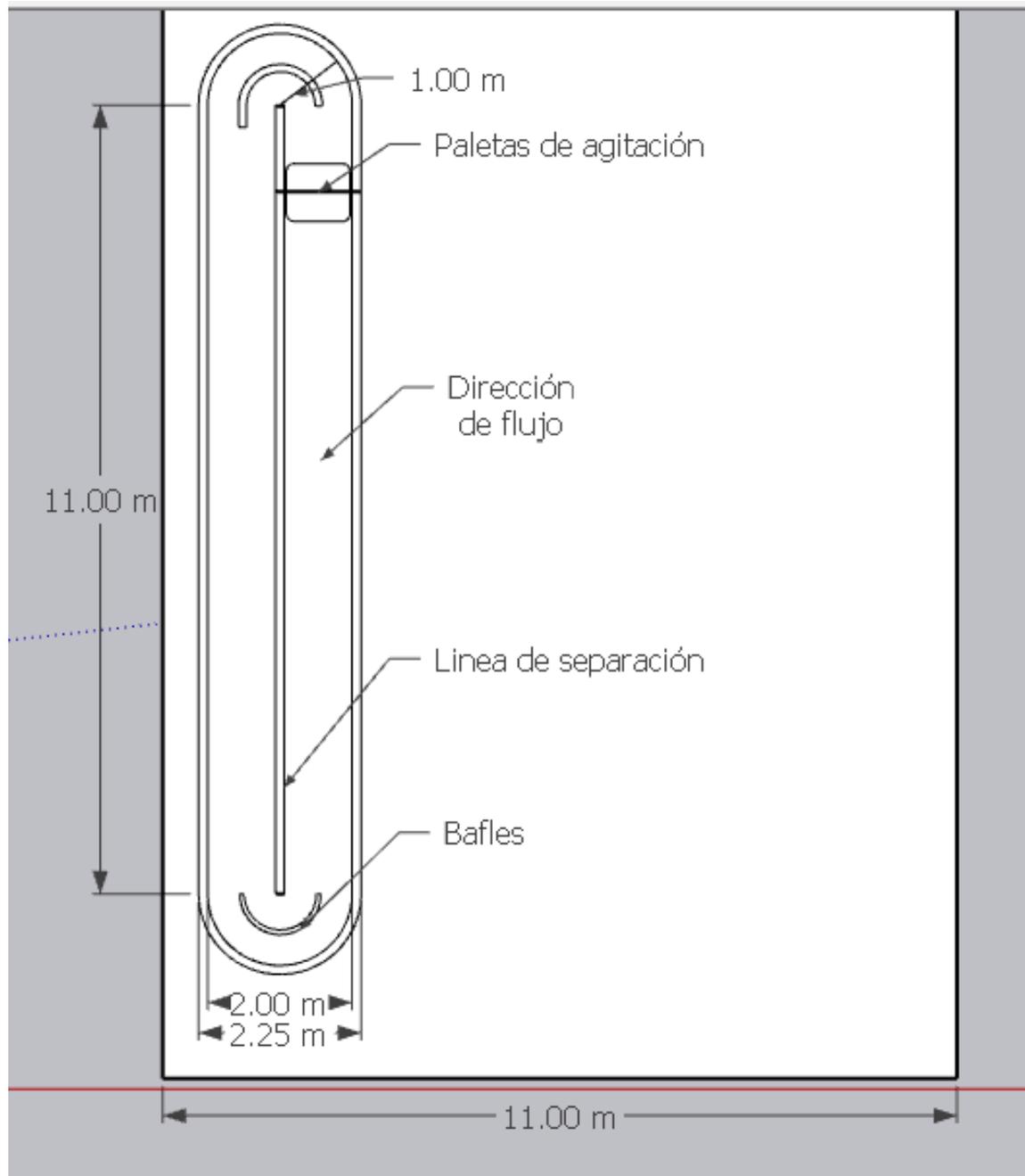


Figura 39

Altura del estanque

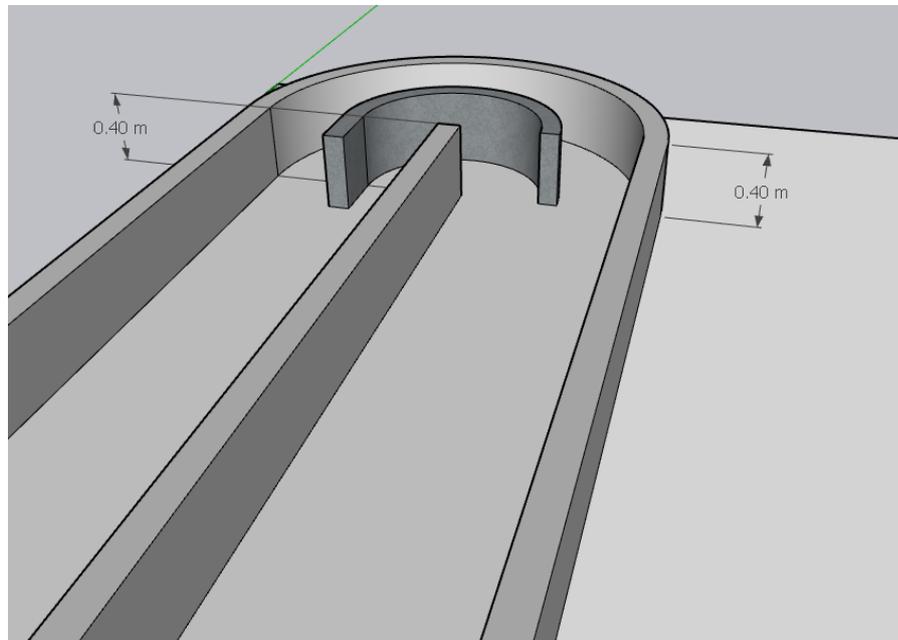


Figura 40

Elección del material para el estanque

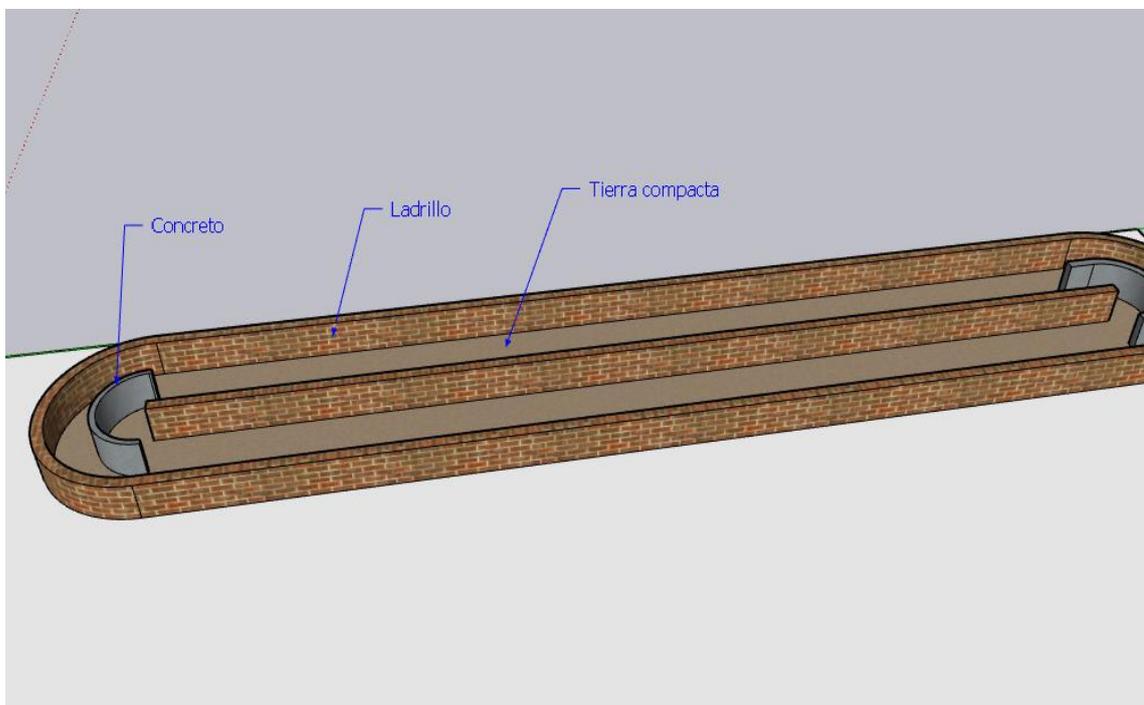


Figura 41

Forrado del estanque con geomembrana

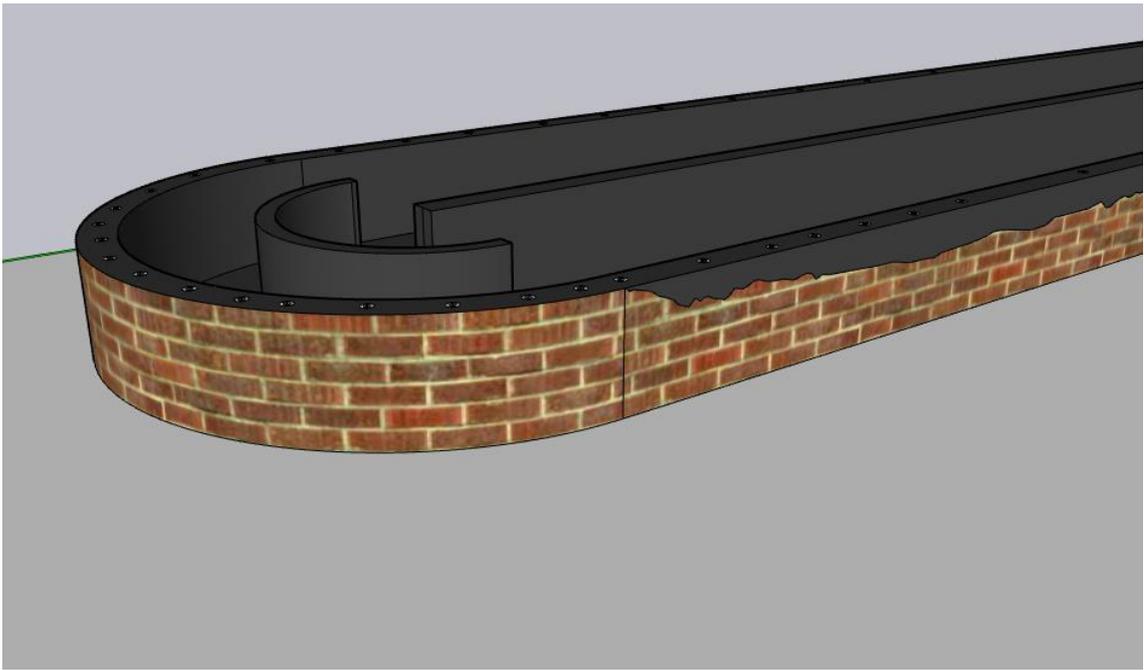
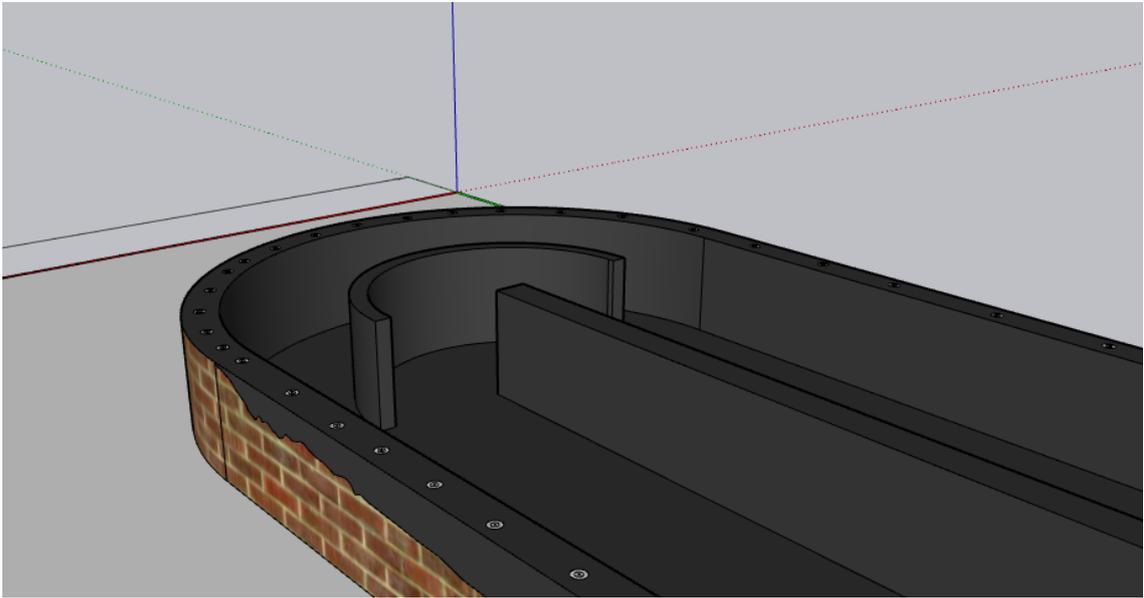


Figura 42

Diseño de las paletas de agitación

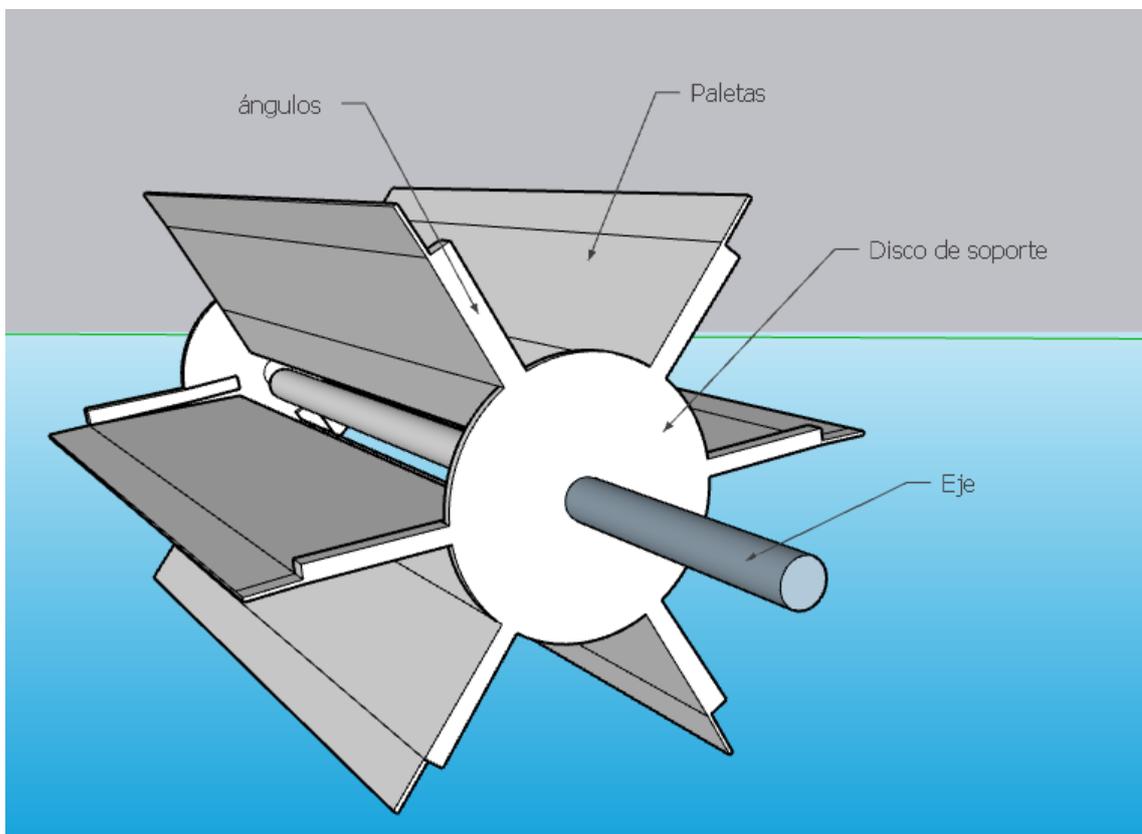
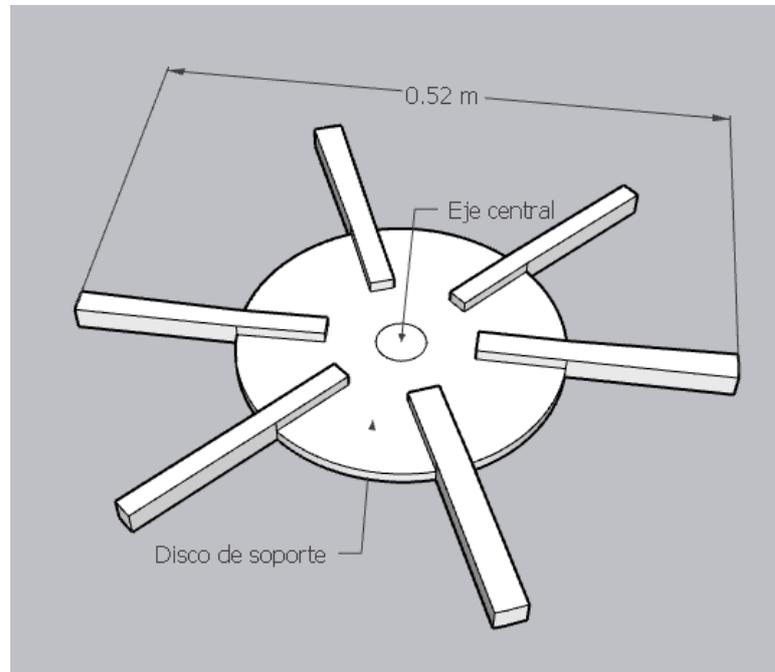


Figura 43

Diseño de la estructura externa

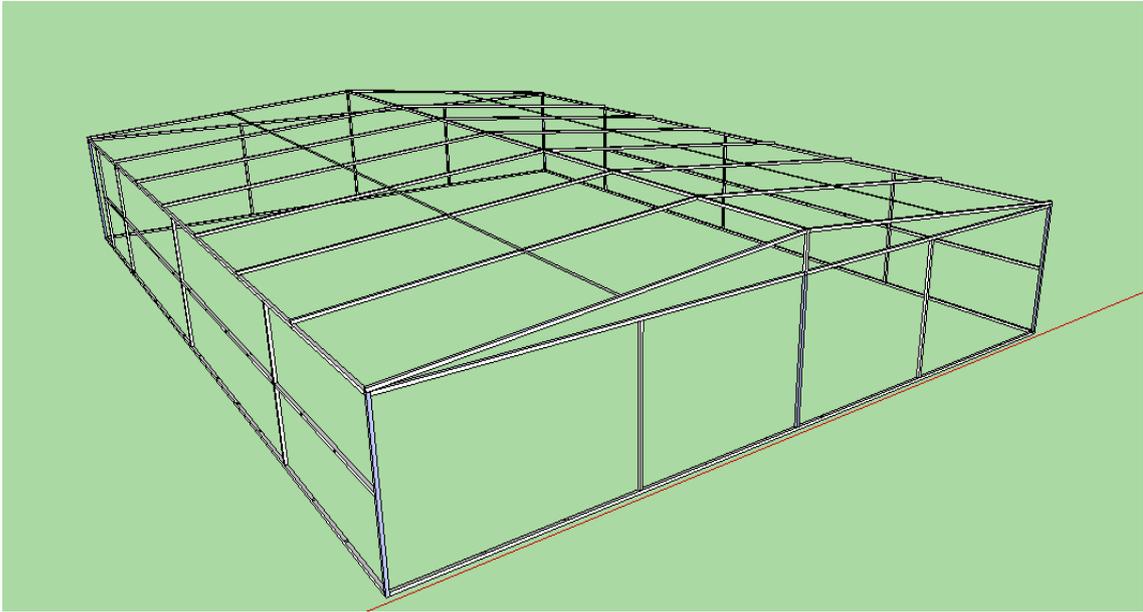


Figura 44

Recubrimiento de la estructura externa

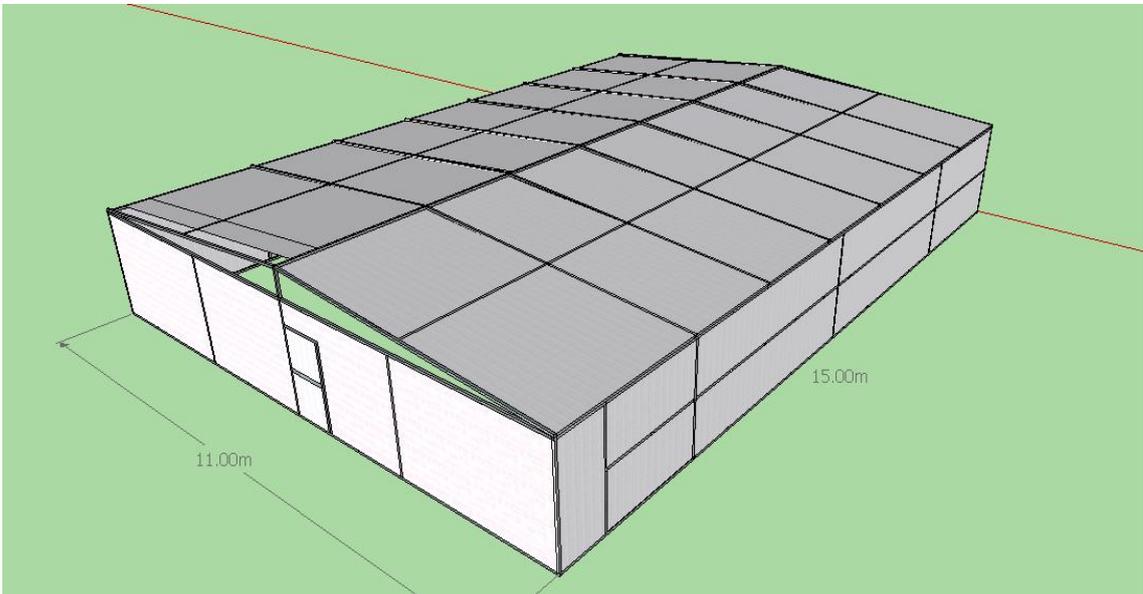


Figura 45

Vista de los estanques tipo canal



Anexo 8 Construcción del estanque tipo canal

Figura 46

Construcción de los estanques y armado de estructura



Figura 47

Recubrimiento de la estructura externa con policarbonato



Figura 48

Forrado del estanque con geomembrana HDPE



Figura 49

Armado de las paletas de agitación

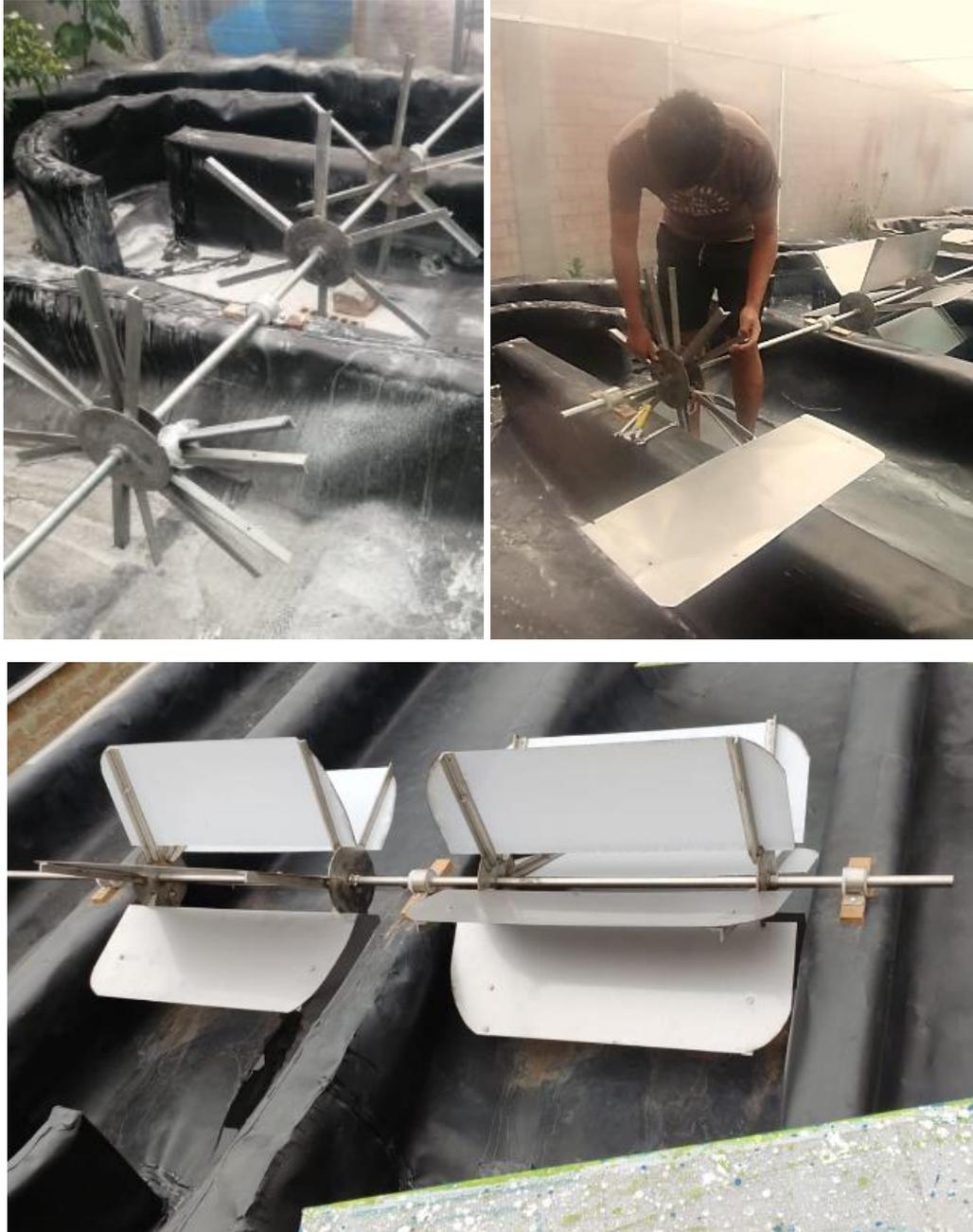


Figura 50

Finalización de la construcción del estanque y estructura externa



Figura 51

Inicio del cultivo de espirulina para la evaluación





UNSCH

FACULTAD DE INGENIERIA
**QUIMICA Y
METALURGIA**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS:

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 314-2021-UNSCH-CU)

“EVALUACION DE UN ESTANQUE TIPO CANAL PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD MORFOLOGICA DEL CULTIVO DE ESPIRULINA (*Astrospira platensis*) EN LA EMPRESA MUSUQ KAWSAY”

Expositor: Jaime Omar MALLQUI PABLO
Bachiller en Ingeniería Agroindustrial

Expediente N° 2379267.

Resolución Decanal N° 033-2024-UNSCH-FIQM/D.

Fecha: 12-01-2024.

- 01 -

En la Sala de Conferencias “Pedro VILLENA HIDALGO” de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las once de la mañana con cinco minutos del día lunes quince de enero del año dos mil veinticuatro, se reunieron el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **Jaime Omar MALLQUI PABLO**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Mg. Percy Fermín VELASQUEZ CCOSI, Mg. Jack Edson HERNANDEZ MAVILA y Mg. José Alberto CUEVA VARGAS, bajo la Presidencia del Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA (Decano de la FIQM), Mg. Jorge Adalberto MALAGA JUAREZ (Docente Asesor de la Tesis) y como Coasesora: Leidy Diana MEDINA QUIQUIN, el Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Secretario-Docente) y el público asistente.

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: “**EVALUACION DE UN ESTANQUE TIPO CANAL PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD MORFOLOGICA DEL CULTIVO DE ESPIRULINA (*Astrospira platensis*) EN LA EMPRESA MUSUQ KAWSAY**”, presentado por el Bachiller **Jaime Omar MALLQUI PABLO**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 033-2024-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó al Bachiller **Jaime Omar MALLQUI PABLO**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de cuarenta y cinco minutos.

Terminada la exposición del Bachiller, el Presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. José Alberto CUEVA VARGAS, Mg. Jack Edson HERNANDEZ MAVILA y Mg. Percy Fermín VELASQUEZ CCOSI. Luego el Presidente invitó al Mg. Jorge Adalberto MALAGA JUAREZ para que, en su condición de Docente Asesor, se sirva levantar las observaciones del Jurado y efectuar las aclaraciones que considere conveniente.

Concluyo con esta etapa el Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA, en su condición de Presidente.

FACULTA DE INGENIERIA
QUIMICA Y METALURGIA
Av. Independencia s/n
Ciudad Universitaria



UNSCH

FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y
METALURGIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS:

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 314-2021-UNSCH-CU)

“EVALUACION DE UN ESTANQUE TIPO CANAL PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD MORFOLOGICA DEL CULTIVO DE ESPIRULINA (Astrospira platensis) EN LA EMPRESA MUSUQ KAWSAY”

Expositor: Jaime Omar MALLQUI PABLO
Bachiller en Ingeniería Agroindustrial

Expediente N° 2379267.

Resolución Decanal N° 033-2024-UNSCH-FIQM/D.

Fecha: 12-01-2024.

- 02 -

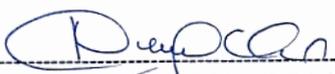
Culminada la etapa de preguntas, el Presidente del Jurado invitó al Sustentante y al público para que se sirvan abandonar la Sala de Conferencias con la finalidad de permitir al Jurado de Sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADO POR UNANIMIDAD PROMEDIO QUINCE (15)**.

Finalmente el Presidente del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la Sala de Conferencias, y anunció que el Bachiller **Jaime Omar MALLQUI PABLO**, ha resultado **APROBADO POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con un flamante **INGENIERO AGROINDUSTRIAL** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo la una de la tarde con cinco minutos se dio por concluido el acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:



Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA
Presidente



Mg. Percy Fermín VELA SQUEZ CCOSI
Miembro



Mg. Jack Edson HERNANDEZ MAVILA
Miembro



Mg. José Alberto CUEVA VARGAS
Miembro



Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE
Secretario – Docente

FACULTA DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y METALURGIA
Av. Independencia s/n
Ciudad Universitaria

**UNSCH**FACULTAD DE
**INGENIERIA QUÍMICA
Y METALURGIA**ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N°04-2024-UNSCH-FIQM/EPIA**

La Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, emite la siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Que, habiendo recibido el requerimiento de **CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD** por parte del Asesor de la Tesis M.Sc. Jorge Adalberto MÁLAGA JUÁREZ, se procedió a la evaluación de originalidad del archivo adjunto con el TURNITIN - UNSCH, **de acuerdo a los criterios establecidos en el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**; cuyos resultados son:

Tesis "Evaluación de un estanque tipo canal para mejorar el rendimiento y la calidad morfológica del cultivo de espirulina (*Arthrospira Platensis*) en la empresa Musuq Kawsay)"

Nombre y Apellido : Bach. Jaime Omar MALLQUI PABLO
Identificador de entrega : 2308957616
Fecha : 01-mar-2024 11:42a.m. (UTC-0500)
Archivo : Tesis_Omar_-_corregido.pdf (3.29M)

Se expide la presente constancia de originalidad, con reporte del 13% de ÍNDICE DE SIMILITUD realizado con Depósito de trabajos estándar, a fin de proseguir con los trámites pertinentes; cabe señalar que los documentos del procedimiento se archivan en el repositorio documental de la Escuela.

Ayacucho, 1 de marzo del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA
F. P. INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL


Dr. Ing. Saúl R. Chuqui Diestra
DIRECTOR

C.c.
Archivo

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
Av. Independencia S/N - Ayacucho
Telf. 066-303496
Correo: ep.agroindustrial@unsch.edu.pe

Evaluación de un estanque tipo canal para mejorar el rendimiento y la calidad morfológica del cultivo de espirulina (*Arthrospira Platensis*) en la empresa Musuq Kawsay
por Omar Mallqui

Fecha de entrega: 01-mar-2024 11:42a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2308957616

Nombre del archivo: Tesis_Omar_-_corregido.pdf (3.29M)

Total de palabras: 19335

Total de caracteres: 103452

Evaluación de un estanque tipo canal para mejorar el rendimiento y la calidad morfológica del cultivo de espirulina (*Arthrospira Platensis*) en la empresa Musuq Kawsay

INFORME DE ORIGINALIDAD

13% INDICE DE SIMILITUD	12% FUENTES DE INTERNET	2% PUBLICACIONES	6% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------	--------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	ruc.udc.es Fuente de Internet	2%
2	repositorio.uade.edu.ar Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unica.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
5	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unicach.mx Fuente de Internet	1%
7	scielo.conicyt.cl Fuente de Internet	1%
8	www.revistas.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%

9	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
13	pubs.acs.org Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1 %
16	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
17	www.greenenergyrefractarios.com Fuente de Internet	<1 %
18	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to ITESM: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Trabajo del estudiante	<1 %
20	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %

		<1 %
21	repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx Fuente de Internet	<1 %
22	upcommons.upc.edu Fuente de Internet	<1 %
23	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo