

Identificación de fotoperiodo más eficiente para incrementar el crecimiento de la microalga (*Spirulina Platensis*) a partir de un sistema cerrado a escala de laboratorio en la universidad industrial de Santander.

Carlos Ernesto Zabala Blanco, Odeth Lorena Suarez Hurtado.

Profesional en producción Agroindustrial.

Directora II proyecto

Doris Eugenia Suárez Monsalve

Ingeniera de Alimentos

Esp. Pedagogía Para el Desarrollo del Aprendizaje Autónomo

Mg. Ingeniería con Especialidad en Calidad y Productividad

Universidad Industrial de Santander

Instituto de proyección regional y educación a distancia

Bucaramanga 22 de marzo 2023

Dedicatoria

Este proyecto de grado está dedicado a nuestros familiares que promovieron con esfuerzo la continuidad de esta investigación y nos impulsaron a finalizar con entusiasmo cada aspecto del trabajo, quienes nos inculcaron valores como la perseverancia que fueron fundamentales en este proceso.

También a nuestros compañeros de estudio quienes fortalecieron nuestra idea con una actitud motivadora que nos entusiasmó para iniciar y finalizar esta investigación con pensamiento y energía positiva.

Por último y no menos importante dedicamos este proyecto a nuestro mentor don William Rangel quien nos aconsejó y nos sembró la idea de este cultivo incursionándonos en un propósito social y ambiental.

Agradecimientos

Nuestro más profundo agradecimiento a la Universidad industrial de Santander que en conjunto con el instituto de proyección regional y educación a distancia promovieron esta clase de profesiones y proyectos productivos enfocados en el agro , adema de brindarnos los espacios como bibliotecas y laboratorios para culminar la investigación , a nuestros profesores quienes en el transcurso de la carrera fueron guías para el aprendizaje y la estructura de este documento y a nuestros directores de proyecto quienes con esfuerzo nos enfocaron nuestro proyecto .

Tabla de Contenido

Contenido

CONTENIDO.....	4
INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS	15
1.1 Objetivo General.....	15
1.2 Objetivos Específicos	15
2. CUERPO DEL TRABAJO.....	16
2.1 Marco Referencial	16
2.2 Estado del arte.	16
2.3 Marco Teórico.	19
2.4 Marco Conceptual.....	24
2.5 Marco legal.....	27
2.6 Método.....	28
2.7 Desarrollo de la investigación	32
3. RESULTADOS	81
4. CONCLUSIONES.....	82
5. RECOMENDACIONES.....	84
BIBLIOGRAFÍA	85

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Condiciones iniciales de los prototipos para cultivar	31
Tabla 2 Materiales utilizados para elaboración de prototipos	33
Tabla 3 Dosificación de minerales medio de cultivo Zarrouk.....	35
Tabla 4 Observación en microscopio cepa inicial	40
Tabla 5 Condiciones iniciales establecidas	42
Tabla 6 Imágenes recolectadas observación de microscopio toma 1	44
Tabla 7 Imágenes recolectadas observación de microscopio toma 3	64
Tabla 8 Muestra PH final.....	74
Tabla 9 Resultados peso Biomasa primera centrifugación.....	78
Tabla 10 Resultados peso Biomasa segunda centrifugación	78
Tabla 11 Resultados peso Biomasa tercera centrifugación	79
Tabla 12 peso final sin centrifugar	80

Lista de Figuras

Ilustración 1 Prototipos de Biorreactores Establecidos	32
Ilustración 2 Cepa de Microalgas Spirulina	36
Ilustración 3 Medio de cultivo Zarrouk	36
Ilustración 4 Vista microscopio lente 40	37
Ilustración 5 vista inicial microscopio lente 4	37
Ilustración 6 Inoculación de cepa en medio de cultivo	37
Ilustración 7 inoculo inicial 200 ml	38
Ilustración 8 temperatura inicial	38
Ilustración 9 prototipos biorreactores escala laboratorio	38
Ilustración 10 aireación	38
Ilustración 11 Toma de temperatura	38
Ilustración 12 caja con iluminación led	38
Ilustración 13 inoculación de cepa de microalga spirulina en medio de cultivo Zarrouk 1000 ml	39
Ilustración 14 cepa inicial 100 ml de medio 1 gr de spirulina NUTRE	39
Ilustración 15 Erlenmeyer con 200 ml de medio de cultivo y 13 ml de cepa microalga spirulina	39
Ilustración 16 Muestra inicial con sistema de aireacion	40
Ilustración 17 Erlenmeyer 200 ml muestra inicial	40
Ilustración 18 Micro gota en porta objetos para observación de microscopio	40
Ilustración 19 Prototipo de Biorreactor fotoperiodo muestra 2	40
Ilustración 20 Prototipo de biorreactor fotoperiodo muestra 1	40
Ilustración 21 Prototipo de Biorreactor Fotoperiodo muestra 3	40

Ilustración 22 crecimiento d microalga prototipo de biorreactor 43

Ilustración 23 Gotero con Muestra número uno para análisis en microscopio 43

Ilustración 24 Crecimiento exponencial de biomasa inicial 43

Ilustración 25Primera observación de prototipo muestras fotoperiodo 3..... 44

Ilustración 26Primera observación de prototipo muestras fotoperiodo 2..... 44

Ilustración 27 Primera observación de prototipo muestras fotoperiodo 1 44

Ilustración 28tubos de ensayoo 10 ml 52

Ilustración 29 Tubos de ensayo de plástico centrifuga..... 52

Ilustración 30Centrifuga Therna Scientific 53

Ilustración 31 Muestra prototipo1 línea A Y B 53

Ilustración 32Muestra prototipo 2 línea A y B 53

Ilustración 33Muestra prototipo 3 línea A y B 53

Ilustración 34 Muestra segunda recolección 54

Ilustración 35 Imágenes recolectadas observación de microscopio toma 2 54

Ilustración 36Peso de Biomasa cultico fotoperiodo 1a 1en gramera analítica 62

Ilustración 37Peso de Biomasa prototipo 1b en gramera analítica..... 62

Ilustración 38Peso de Biomasa prototipo 2a en gramera analítica 62

Ilustración 39Peso de Biomasa prototipo 2b en gramera analítica..... 62

Ilustración 40Peso de Biomasa prototipo 3a en gramera analítica 63

Ilustración 41Peso de Biomasa prototipo 3b en gramera analítica..... 63

Ilustración 42Recolección de Biomasa numero 3 63

Ilustración 43Recolección de Biomasa número 3 en tubos para centrifuga..... 63

Ilustración 44Recolección de Biomasa numero 3 fotoperiodo 1a y1 b pesaje en gramera analítica..... 72

Ilustración 4544Recolección de Biomasa numero 3 fotoperiodo 2a y 2b pesaje en gramera analítica.....	72
Ilustración 46 Recolección de Biomasa numero 3 fotoperiodo 3a y3 b pesaje en gramera analítica.....	73
Ilustración 47 Peso cultivo final prototipo 1	73
Ilustración 48 Peso cultivo final prototipo 2	73
Ilustración 49Peso del cultivo final prototipo 3.....	73
Ilustración 50 Toma final de muestra de PH	74

Resumen

Título: Identificación de fotoperiodos para incrementar el crecimiento de la microalga (*Spirulina Platensis*) a partir de un sistema cerrado a escala de laboratorio en la universidad industrial de Santander.

Autor: Carlos Ernesto Zabala blanco, Odeth Lorena Suarez Hurtado

Palabras Clave: microalgas, luz, oscuridad, fotoperiodo, crecimiento

Descripción:

Según (Alina Villa, 2014) Las microalgas requieren diferentes factores para su crecimiento, dentro de estos se encuentran los parámetros físico-químicos tales como luz, temperatura salinidad, pH, CO₂ y fotoperiodo y nutritivos como macro nutrientes, que son utilizados para sintetizar compuestos orgánicos y los micronutrientes usados como catalizadores . El fotoperiodo (tiempo de exposición a la luz y oscuridad) tiene efecto sobre los ciclos de vida y actividades metabólicas de las microalgas tanto en cultivo como en la naturaleza. En condiciones naturales, la mayoría de las algas se establecen en periodos alternos de luz: oscuridad, sin embargo, en la mayoría de los laboratorios de microalgas se mantiene constante la iluminación en los cultivos al interior, debido a que se favorece la división celular en ciertas microalgas

En el presente trabajo de investigación se muestra el aislamiento , multiplicación y caracterización de esta variedad ofreciéndole un medio de luz variado conocido como fotoperiodos , que permite el análisis de su crecimiento y comportamiento , Se realizará un diseño experimental por medio de iluminación led 12 / 12 , 14/ 10 24/ 0 con dos factores (fotoperiodo y aireación) y cada uno con 2 niveles, las variables respuesta serán producción de biomasa, .La finalidad del estudio es lograr identificar la adaptación de la cepa de micro algas diferentes intensidades de luz y oscuridad donde se pueda evidenciar la multiplicación de la cepa más rápida y con mejores características

*Trabajo de Grado

* Universidad Industrial de Santander. Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia (IPRED) Producción Agroindustrial.

Abstract

Title: Production of biomass from a closed system of micro algae (*Spirulina Platensis*) as a food supplement in the southern commune region in the Department of Santander

Author: Carlos Ernesto Zabala blanco, Odeth Lorena Suarez Hurtado

Key Words: microalgae, light, dark, photoperiod, growth

Descripción:

According to (Alina Villa, 2014) Microalgae require different factors for their growth, within these are the physical-chemical parameters such as light, temperature, salinity, pH, CO₂ and photoperiod and nutrients such as macro nutrients, which are used to synthesize compounds organic and micronutrients used as catalysts. The photoperiod (time of exposure to light and dark) has an effect on the life cycles and metabolic activities of microalgae both in culture and in nature. Under natural conditions, most algae establish themselves in alternating periods of light: However, in most microalgae laboratories the lighting is kept constant in the indoor cultures, due to the fact that cell division is favored in certain microalgae

In this research work, the isolation, multiplication and characterization of this variety is shown, offering it a varied light medium known as photoperiods, which allows the analysis of its growth and behavior. An experimental design will be carried out 2 x 2 with two factors (photoperiod and aeration) and each one with 3 levels, the response variables will be biomass production. The purpose of the study is to identify the adaptation of the microalgae strain with different intensities of light and darkness where the multiplication of the strain can be evidenced more fast and with better features

*Degree work

* Industrial University of Santander. Institute for Regional Projection and Distance Education (IPRED) Agroindustrial Production. Engineering.

Introducción

La producción de microalgas para finalidades de consumo nutricional humano se han ido implementando desde el tiempo de los aztecas. Estas eran usadas para la elaboración de panecillos que luego utilizaba como alimento. (Garcia, 2018). En los años sesenta, Europa comenzó a usar este tipo de organismo en la alimentación humana principalmente como suplementos dietéticos (proteicos y vitamínicos), en forma de polvo, capsulas, pastillas y fueron incorporadas en alimentos tales como pasta, galletas, pan, caramelos, yogures (BBC, 2021). (*Spirulina Platensis*) es una microalga con unas características nutricionales muy importantes que la convierte en un superalimento resaltado por la ONU lo cual la pondera de ser una cianobacterias con una completa estructura alimenticia que brinda, carbohidratos, proteínas, vitaminas, grasas que estabiliza y rehabilita la salud y permite la calidad de vida en la salud nutricional de niños y adultos fortaleciendo la disminución de enfermedades como la diabetes y la emaciación

En Colombia la producción de microalgas se ha venido desarrollando lentamente, generando un impacto sobresaliente como alternativa a la alimentación animal. (Colorado Gomez, 2013), pero que, aún falta aprovechar de la mejor para la producción de nuevos subproductos. Esto es debido a la falta de investigaciones que ayuden a estandarizar las condiciones operativas y generar opciones de nuevos emprendimiento y productos innovadores que faciliten mejorar la economía de una región (Ortíz, Romero, & Meza, 2018).

Las Micro algas: Según (franco Argento, 2016) son micro organismos fotosintéticos (que viven por la luz) capaces de producir alimento a partir de sustancias inorgánicas, siendo de vital importancia en el mantenimiento de la vida de la tierra. proporcionan compuestos orgánicos d alto valor nutricional y oxígeno para soportar el resto de la vida en el planeta,

son el primer eslabón de la cadena trófica marina, encargadas de proporcionar el 70 % del oxígeno que respiramos. además, pueden extraerse aceites esenciales, ácidos grasos omega, proteínas, antioxidantes, aminoácidos.

Existen más de 30.000 especies de microalgas. de las cuales apenas unas 100 han sido estudiadas y sólo unas 20 se explotan comercialmente con regularidad. (Urbano, 2015) En los últimos años a nivel biotecnológico se han estudiado las propiedades de las microalgas con el propósito de introducirlas como materia prima en la elaboración de productos alimenticios (Rubio Aguiar, 2018) .Todos estos avances indican claramente una gran expansión del cultivo de microalgas en un corto tiempo y otorga a esta industria un futuro cada vez más prometedor como fuente nutricional y energética.

De acuerdo con la problemática anteriormente planteada, se desarrollará esta investigación con el fin de identificar el fotoperiodo más eficiente para incrementar el crecimiento a partir de un sistema cerrado de la microalga (*Spirulina Platensis*) como suplemento alimenticio en la región comunera sur en el Departamento de Santander, generando nuevo conocimiento en lo referentes a los procesos reproductivos en cuanto a temperatura, intensidad de luz, aireación, entre otros. Según (Trujillo, 2017) La intensidad de luz y la longitud de onda juegan un rol crítico en la actividad fotosintética, lo cual es consecuentemente reflejada en su crecimiento, debido a que los fotosistemas catalizan la reacción de conversión de energía lumínica, capturada por las moléculas excitadas de la clorofila en forma de energía utilizable (Cheirsilp y Torpee, 2012). En este sentido, varios estudios se han desarrollado para mejorar la eficiencia de utilización de la luz y reducir los costos de sistemas de iluminación artificial. Cultivos de laboratorio utilizan tubos fluorescentes, los que consumen alta energía comparada con los diodos emisores de luz LED's (Light Emitting Diodes), cuyo tiempo de vida e intensidad (W/m²) son 941% y 500%

más respectivamente Muchos cultivos utilizan solamente energía solar como fuente de luz. Sin embargo, el rendimiento de los sistemas al aire libre, es más bajo que los realizados en recintos cerrados (Chen et al., 2011). La irradiación de luz en los sistemas con luz artificial debe proporcionarse con cuidado, ya que el exceso de esta provoca un fenómeno llamado fotooxidación o foto inhibición donde se produce daños del aparato fotosintético de la célula

Teniendo en cuenta los anterior es importante lograr identificar un estándar de luminosidad que destaque un buen crecimiento e intensificación de división celular que conserve las características de fotosíntesis que contiene las cepas de (*Spirulina Platensis*) incrementando los estándares de multiplicación de la cepa para lograr obtener una inoculación con resultados eficientes , al momento de incrementar la producción de laboratorio a producción de biomasa ya sea por medio de sistema cerrado fotobioreactor o sistema abierto en estanques logrando así un mejor aprovechamiento de los productos que se puedan obtener de este sistema productivo, por lo cual se llevó a determinar la siguiente pregunta de investigación ¿Cuáles son los rendimientos en cuanto a producción y adaptación en la aplicación de luz led en dos intensidades de fotoperiodos día / noche propuestas para la eficacia de la microalga? por tal razón la alternativa para mejorar la estabilidad de crecimiento de la (*SpirulinaPlatensis*) es el uso adecuado de la luz y oscuridad suministrada en su proceso de multiplicación .

(Trujillo, 2017) El fotoperiodo es un factor importante, el cual está constituido por el tiempo de exposición a la luz y oscuridad, lo que tiene efecto sobre los ciclos de vida y actividades metabólicas de las microalgas. han sostenido que la Spirulina no puede soportar una exposición prolongada de iluminación, ya que podría ser destruido por fotólisis, recomendando la necesidad de mantener la iluminación controlada en fotoperiodos regulados de tiempo 12/12 horas (día/noche). Aunque Habib et al. (2008) han reportado que para S.

platensis, se ha encontrado que el fotoperiodo óptimo es 16 horas/día, basado en la evaluación de la densidad óptica y contenido de clorofila.

En este sentido en la presente investigación se trata de dilucidar los rangos de intensidad lumínica de LED's blanco y fotoperiodo (L/O) en la producción de biomasa de Spirulina.

Por lo cual el enfoque de la investigación es de diseño experimental cuantitativo debido a se va a realizar un análisis a un formato de observación participante. En la observación participante el investigador pasa a formar parte de la comunidad o medio donde se desarrolla el estudio.

Además, se realiza un análisis mediante tablas de comparación, en las cuales se lleva un registro descriptivo tomado semanalmente donde se observan parámetros como comportamiento productivo.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Identificar el fotoperiodo para incrementar el crecimiento de la microalga (*Spirulina Platensis*) implementado tres prototipos (12/12, 16/8, 24/0) en un sistema cerrado a escala de laboratorio en la universidad industrial de Santander sede Bucaramanga.

1.2 Objetivos Específicos

- Identificar las condiciones en la fase exponencial de la cepa adquirida de la microalga (*Spirulina Platensis*), para establecer un parámetro de comparación.
- Evaluar los parámetros de densidad de la microalga (*Spirulina Platensis*) bajo los fotoperiodos expuestos., cuantificando el crecimiento adquirido
- Identificar los resultados obtenidos bajo las diferentes condiciones como luz, oscuridad, aireación, pH y nutrientes suministrados. Para definir el fotoperiodo más eficiente.

2. Cuerpo del Trabajo

2.1 Marco Referencial

Según (Arias, 2012) El marco teórico o marco referencial, es el producto de la revisión documental-bibliográfica, y consiste en una recopilación de ideas, posturas de autores, conceptos y definiciones, que sirven de base a la investigación por realizar.

El marco teórico o referencial es importante ya que permite dar valor a la literatura que se está construyendo sobre el problema diseñado. Orientando así al investigador para que se centre y evite desviaciones del planteamiento original.

2.2 Estado del arte.

La investigación titulada DISEÑO CONCEPTUAL DE UN PROCESO DE CULTIVO Y OBTENCIÓN DE *Cyanobacteria Arthrospira Platensis*, realizada por Torres, Bernardo; Correa, Daniel (Torres & Correa, diseño conceptual de un proceso de cultivo y obtención, 2018) se obtiene información precisa que aporta a la investigación las condiciones necesarias para su adecuado crecimiento, en este documento se evaluó el crecimiento del alga *Spirulina Platensis* en la ciudad de Medellín a presión y temperatura promedio de 0.84 atm y 24°C respectivamente, en tres medios de cultivo: Medio Zarrouk, Medio UTEX y Medio Urea (experimental). Las pruebas fueron realizadas a escala de laboratorio en tanques de 2 l, con aireación constante, la agitación fue proporcionada por la aireación, rango de pH entre 9-11; se realizaron mediciones diarias para controlar la variable de crecimiento mediante el cálculo del peso seco y se cuantificó el contenido proteico del alga cultivada en cada uno de los medios. De los resultados obtenidos se definió el medio UTEX como la mejor alternativa, debido a que presentó el mayor crecimiento, 11 g/l partiendo

de una concentración inicial de 1.5 g/l y un contenido proteico de 46.8% en peso seco. Se presenta un diseño conceptual para la producción de Spirulina partiendo de los resultados obtenidos y escalando el proceso para obtener una producción de 11 Kg de Spirulina por semana, la capacidad de producción se definió para un proceso a baja escala, de modo que personas de bajos recursos puedan realizar pequeñas producciones para consumo familiar y local, recibiendo beneficio económico de ventas y beneficio nutricional del consumo del alga. (Torres & Correa, Diseño conceptual de un proceso de cultivo y obtención de Cyanobacteria *Arthrospira Platensis* , 2021)

Otra indagación universitaria encontrada como referencia es la investigación titulada EFECTO DEL FOTOPERIODO SOBRE EL CRECIMIENTO DE LA DIATOMEA CHAETOCEROS CALCITRANS (CLON C-CAL) EN CULTIVOS ESTÁTICOS (Alina Villa, 2014) donde se evalúa el crecimiento de *Chaetoceros calcitrans* en un sistema estático a 35 ppt de salinidad y con los fotoperiodos de 0:24, 6:18, 10:14 y 24:0 horas luz: oscuridad. La información encontrada en este documento nos aporta la forma correcta para iniciar con la reproducción de microalgas a escala laboratorio. Los bioensayos se realizaron en frascos de 200 ml por cuadruplicado bajo condiciones controladas de laboratorio, utilizando el medio de cultivo F/2. Las variables monitoreadas cada 48 horas fueron luz, temperatura, pH y conteos celulares directos. El fotoperiodo afecta de manera directa la concentración celular y la tasa de crecimiento de *C. calcitrans*, siendo mayores con 24 horas luz, con valores de $2.713,333 \text{ cel.ml}^{-1}$ y $0,17 \text{ div.dia}^{-1}$, mientras que la concentración mínima y la tasa de crecimiento con 0 horas luz fue 0 cel.ml^{-1} y $-0,03 \text{ div.dia}^{-1}$, respectivamente. por medio de este contenido se puede analizar el comportamiento de fotoperiodo en otra variedad de microalga

El artículo científico nombrado a continuación identifica directamente la producción de biomasa de (*Spirulina Platensis*) en autoría de la Universidad Privada Antenor Orrego Escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias titulada EFECTO DE LA INTENSIDAD DE DIODOS ELECTROLUMINOSOS Y FOTOPERIODO EN LA OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE SPIRULINA (ARTHROSPIRA) (villalovos, 2017).

Este artículo nos aporta información que permite identificar las condiciones lumínicas necesarias y óptimas para la producción de biomasa de microalga para lograr obtener una multiplicación celular e incrementar el crecimiento de la densidad de la cepa establecida en la fase exponencial. Se optimiza la producción de biomasa (ϕ) de cultivos batch de *Spirulina* sp. en foto biorreactores a escala de laboratorio (FBL) de 0,2 L, por efecto de X1: intensidad de diodos electro luminosos (LED's) entre 1,25 a 41,7 klux y X2: fotoperiodo de 12/12 a 24/0, h de luz/h de oscuridad (L/O) utilizando un diseño compuesto central rotacional (DCCR) y metodología de superficie de respuesta (MSR). Asimismo, se evalúa las características hidráulicas y el valor ϕ de un cultivo batch de *Spirulina* en una foto biorreactor de canal bucle cerrado abierto a la atmósfera (FB-BCAA) por efecto de la iluminación LED de $8,3 \pm 1,9$ klux y fotoperiodos de 12/12 y 24/0 h L/O. En los FBL se encuentra dos zonas óptimas de ϕ , ambas con una intensidad LED de 21,5 klux y fotoperiodos 12/12 y 24/0 h L/O, siendo los valores ϕ de 1,65 y 1,62 respectivamente.

Por último, pero no menos importante se encuentra un artículo donde se analiza en general el cultivo de microalgas en este sitio web se puede evidenciar las condiciones específicas para establecer un cultivo de microalgas bajo diferentes métodos y condiciones.

Este artículo aporta a la investigación porque concluye lo siguiente.

- consideraciones generales de los cultivos de microalgas
- requerimientos principales de los cultivos de microalgas

- medios de cultivo
- técnicas de aislamiento y purificación
- determinación de la densidad de población de las microalgas
- equipo e instalaciones

estos ítem son vitales para el procedimiento en el laboratorio se encuentra titulado como cultivo de microalgas en autoría de la organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (Blanco, s.f.)

2.3 Marco Teórico.

Spirulina (Arthrospira) es una bacteria perteneciente al grupo Cyanobacteria (anteriormente conocido como Cyanophyta o como grupo de las algas verde azules). Se trata de organismos unicelulares y fotoautótrofos, a pesar de ser unicelulares se agrupan formando tricomas o formas filamentosas. La spirulina es un alga fotosintética pluricelular, minúscula, de color verde azulosa, de apenas medio milímetro de longitud. La palabra en latín spirulina significa espiral pequeña, referida a la forma de su estructura. Debe el color verde a la clorofila, y el azul a la ficocianina. El cultivo de micro algas es un sistema biológico eficiente de utilización de la energía solar para la producción de materia orgánica. Por medio de este documento se puede obtener información certera respecto al medio adecuado para lograr una multiplicación celular más eficiente. Teniendo en cuenta que Las micro algas crecen y se reproducen más rápido que las plantas terrestres por lo tanto es posible obtener mayores rendimiento de biomasa .Bajo ciertas condiciones , muchas especies de micro algas pueden acumular en altas concentraciones compuestos de interés comercial , tales como proteínas lípidos almidón glicerol y pigmentos naturales o biopolímeros (hernandes, 2014)

(machado) Según la información obtenida en la cita relacionada esta aporta información donde se logra identificar las propiedades nutricionales que contiene a microalga. Las proteínas vegetales pueden aportar los aminoácidos esenciales en la

proporción adecuada para el organismo. Y además carecen del colesterol o los contaminantes que suelen concentrarse en los tejidos animales. Es cierto que las plantas aportan menos proteínas que los productos animales y que estas son menos completas. Pero con ello se ignoran las formas de mejorar la calidad de las proteínas vegetales que se han demostrado eficaces en los cinco continentes, o la realidad de quienes prefieren seguir una dieta vegetal pura o vegana. Sus proteínas sí son de muy fácil absorción y conforman entre el 65 y 71 por ciento de su composición nutricional. Además, como tienen todos los aminoácidos esenciales, se está hablando de una proteína completa.

Según la investigación de (ramirez, 2013) se logra establecer el método de cultivo más eficiente de esta manera permite identificar para la investigación las pertinentes condiciones de luz ya que , Para que el cultivo de cianobacterias sea eficiente es necesario diseñar foto biorreactores que transmitan la mayor cantidad posible de luz, esto implica alta relación superficie/volumen (S/V) del reactor. De esta forma, la eficiencia de un foto biorreactor es determinada en base a la captación, transporte, distribución y uso de la luz . Foto biorreactores cerrados (fernandez, 2014)se denominan así porque mantienen al cultivo totalmente aislado del medio ambiente exterior. Típicamente están equipados con sistemas de agitación, aireación, control del pH, intercambio del calor, adición de medio y CO₂. Los fotobiorreactores cerrados son dispositivos muy especializados, a menudo diseñados específicamente para una especie concreta. Los foto biorreactores tubulares, además, tienen partes separadas para la captación de la luz y para la desgasificación, por lo que permiten optimizar ambas funciones a cambio de un coste mayor que puede ser compensado por una mayor productividad.

Los raceways son dispositivos más sofisticados en el sentido de que proveen agitación y mezcla. También pueden suministrar CO₂ al cultivo de forma relativamente eficiente y con

pocas pérdidas, lo que permite también un cierto control del pH. El dispositivo de impulsión más común es la rueda de paletas o "paddle wheel" y consigue mantener el cultivo en suspensión y mezclado con un gasto de potencia de unos pocos vatios por metro cúbico.

En la Acuicultura, uno de los factores limitantes es la obtención y producción de alimentos que cubran todos los requerimientos para las especies de cultivo y que resulten costeables. El alimento vivo (fitoplancton y zooplancton) es esencial durante el desarrollo larvario de peces, crustáceos y moluscos. En la actualidad la investigación orientada hacia los microorganismos como fuente de alimentación está en pleno desarrollo. En países como Japón, donde se practica con éxito la Maricultura, los cultivos masivos de microalgas, rotíferos, copépodos y cladóceros son la base de la producción comercial.

Dado el interés que existe por la Acuicultura en Latinoamérica y el Caribe, dirigido principalmente a las especies de importancia comercial de peces, moluscos y crustáceos en condiciones controladas para la producción y alta supervivencia de semillas en sistemas de cultivo semi-intensivo e intensivo, se hace necesario el conocer las diferentes alternativas de producción de alimento vivo a gran escala, ya que es difícil sustituir el alimento natural, pues las dietas artificiales generalmente provocan altas mortalidades por deficiencias nutricionales cuando no están balanceadas.

Por otra parte, en la última década se ha tratado de sustituir los alimentos vivos por dietas microencapsuladas o por técnicas que permitan el almacenamiento por congelado o liofilización por tiempo indefinido de estos alimentos y en términos generales no resuelven el problema real que es la demanda constante de alimento vivo y resultan incosteables.

Una solución a este problema se fundamenta en el conocimiento, optimización y automatización de los sistemas de cultivo de fitoplancton y zooplancton, para llevarlos a

niveles masivos de producción semicontinua o continua. Se logra optimizar un cultivo conociendo la concentración adecuada de nutrientes, buscando una coordinación entre el crecimiento y la utilización de estos nutrientes, estandarizando una tasa de dilución o cosecha óptima a intervalos periódicos para lograr una producción alta y sostenida a largo plazo.

El conocimiento y control de los parámetros ambientales óptimos en los cultivos de fitoplancton y zooplancton es muy importante, ya que no sólo permiten la supervivencia y desarrollo de los organismos en cultivo, sino además factores como la temperatura y la salinidad regulan la concentración y calidad de nutrientes esenciales como son las vitaminas, los aminoácidos y los ácidos grasos. (Blanco, s.f.) Esta información logro establecer para el proyecto las condiciones y factores indispensables para el cultivo de microalgas

(hernandez, 2014) Las microalgas poseen una capacidad fitorremediadora que consiste en la eliminación o biotransformación de contaminantes de un medio líquido o gaseoso. Estos compuestos contaminantes son captados por la biomasa algal y pueden ser recuperados mediante su cosecha. Esta capacidad resulta en un sistema de cultivo con 2 propósitos: eliminación de contaminantes y producción de biomasa con fines comerciales. Ambos objetivos dependen del sistema de cultivo, la o las especies cultivadas y los factores ambientales. La utilización de medios contaminados en el cultivo impacta directamente en los costos de producción. Por lo tanto, la investigación anterior citada confirma que la elección del tipo de sistema de cultivo es importante, y debe realizarse en base a factores biológicos, técnicos, ambientales y económicos definidos previamente

(raul rincon, 2011) Este trabajo muestra los aspectos técnicos y económicos del maricultivo de algas productoras de ficocoloides o gomas marinas. Se emplearon dos sistemas de cultivo en cuatro diferentes localidades habitadas por comunidades de pescadores Wayúu de los

corregimientos del Cabo de La Vela y Carrizal, península de La Guajira, Colombia. Se determinó la productividad y tasa de crecimiento de tres especies de macroalgas de interés comercial, así como los costos de producción, inversión y rentabilidad de granjas marinas de 0.5 ha, tomando en cuenta el diseño y construcción de unidades hechas con materiales e insumos de bajo precio y fácil acceso. La implementación de estos sistemas y métodos de cultivo podría servir de base para la transferencia tecnológica a las comunidades locales. Los ingresos que se generen por medio de la maricultura de algas podrían beneficiar a una buena parte de los pobladores debido a que serían recursos adicionales y complementarios a sus actividades tradicionales como la pesca artesanal y cría de caprinos, en vista de que la gran mayoría vive en condiciones de extrema pobreza y presenta uno de los índices de necesidades básicas insatisfechas más altos de país.

Producción de biomasa y proteínas de *Chlorella vulgaris* Beyerinck (Chlorellales: Chlorellaceae) a través del diseño de medios de cultivo selectivos (Ángel Darío González-Delgado, 2017) Desde hace años, el cultivo de microalgas se ha llevado a cabo de forma natural o artificial en lagos, estanques abiertos o foto biorreactores altamente complejos y controlados. Este documento nos muestra el recorrido y el avance respecto a la forma de cultivo de las microalgas. En estos últimos, la energía de la luz es utilizada para generar reacciones metabólicas y así obtener productos como carbohidratos, proteínas, lípidos y pigmentos, los cuales son útiles en el sector agrícola, la química verde y la bioenergía (Veronesi, Ida, D'Imporzano, & Adani, 2015).

(francisco machado, 2012) Este país ofrece un sin número de ventajas desde el punto de vista medioambiental; la posición geográfica, la estabilidad y el crecimiento económico hacen que se tenga condiciones ideales para la creación de este tipo de proyectos, por eso es importante

analizar la pre factibilidad para la implementación de una planta de producción de biomasa a partir de microalgas en Colombia estudiando aspectos técnicos, legales, financieros, condiciones de mercado e infraestructura que permitan dar a conocer este tipo de iniciativas de forma sencilla a las personas rompiendo un poco los esquemas de confidencialidad con que se manejan los proyectos de base tecnológica. Según la información obtenida de la investigación de Francisco machado aporta a nuestro proyecto la certeza de que Colombia cuenta con las condiciones mas importantes para el cultivo y esas son algunas de las apuestas para que este trabajo tenga sentido. El ejercicio investigativo de este trabajo se enfoca en métodos cuantitativos porque se enmarca en aspectos técnicos y científicos analizando diversos conceptos para la construcción de soluciones cuantificables necesarias para alcanzar los objetivos del trabajo.

2.4 Marco Conceptual.

Acuicultura: Bajo el término de “acuicultura” se engloba todo ´ un conjunto de actividades, técnicas y conocimientos ´ del cultivo de especies acuáticas vegetales y animales. ´ No en vano, la FAO y la Comisión Europea la definen ´ como “el cultivo de organismos acuáticos, incluyen- ´ do peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas, lo ´ cual implica la intervención del hombre en el proceso ´ de cría para aumentar la producción, en operaciones ´ como la siembra, la alimentación, la protección frente a depredadores (rueda, 2011)

Alguicultura : el cultivo de algas o alguicultura es una forma de acuicultura que se preocupa del cultivo de especies de algas. La mayoría de las algas cultivadas caen dentro de la categoría de microalgas, entre la que se encuentran el fitoplancton, las micrófitas.

Aireación Método que aporta CO₂ para realización de la fotosíntesis de las microalgas, favorece la eliminación del O₂ producido y ayuda al mezclado.

Biomasa microalgal: Según la Directiva 2009/28/CE relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, se define biomasa como la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal), de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura (isabel, 2012)

Densidad celular : cantidad total de las células existentes en un volumen o gramaje determinado ,incluye tanto las células viables como las no viables que aun tengan integridad celular ,es decir que no estén lisadas o fragmentadas . (htt7)

Fotobioreactor : Los fotobiorreactores (FBRs) son dispositivos destinados al cultivo masivo de microalgas. Para ello, tienen que mantener un medio estable (temperatura, pH, baja concentración de O₂) y proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento incluyendo la luz. Existen dos filosofías de diseño opuestas. los FBR cerrados consiguen unas condiciones estrechamente controladas que permiten a las microalgas crecer a una velocidad óptima a cambio de un mayor coste. (fernandes, 2014)

Fotoperiodo: El fotoperiodo implica la influencia de las variaciones diurnas de luz y los periodos de oscuridad sobre el desarrollo de las plantas (Federov, 1987). En las plantas de día corto, la floración tiene lugar en respuesta a periodos largos de oscuridad y periodos cortos de luz. (rey, s.f.)

Luz : fuente básica de energía para los organismos fotoautotróficos. La intensidad de la luz y el fotoperíodo, son los factores más influyentes en la velocidad de crecimiento y la composición de la biomasa y, por tanto, en la acumulación de productos de alto valor en una amplia gama de especies de Las alteraciones en el fotoperíodo indujeron cambios en el

contenido total de proteínas, pigmentos y ácidos grasos en , y la densidad celular, la tasa de crecimiento celular y contenido total de lípidos (Trujillo, 2017)

Led : El acrónimo inglés LED (Light Emitting Diode) que en castellano significa literalmente “Diodo Emisor de Luz” es un elemento capaz de recibir una corriente eléctrica moderada y emitir una radiación electromagnética transformada en luz. Coloquialmente es conocido como Diodo Luminoso. Los LED de luz «blanca» se basan en el LED azul con una corrección de color mediante una capa de fósforos, de manera análoga a los tubos fluorescentes. La máxima eficacia se obtiene con la mínima capa de fósforos posible, con lo que la luz emitida tiene una temperatura de color superior a los 6.000 K (dorremocha, s.f.)

Lux : El Lux se usa para determinar la cantidad de luz proyectada sobre una superficie (un Lux equivale a un Lumen por metro cuadrado). Nos permite cuantificar la cantidad total de luz visible y la intensidad de la iluminación sobre una superficie. (directas, s.f.)

Microalgas: Son llamadas microalgas a una gran cantidad de especies que constituyen el fitoplancton que abarca desde organismos autótrofos hasta microflagelados y microciliados auxótrofos. Su posición taxonómica ha sido de gran polémica entre botánicos y zoólogos, como ejemplo podemos mencionar el grupo de los dinoflagelados, conocidos por unos como microalgas y por otros como protozoarios. (Blanco, s.f.)

Ph: Medida del grado de acidez o alcalinidad de una sustancia o una solución. El pH se mide en una escala de 0 a 14. En esta escala, un valor pH de 7 es neutro, lo que significa que la sustancia o solución no es ácida ni alcalina. Un valor pH de menos de 7 significa que es más ácida, y un valor pH de más de 7 significa que es más alcalina

***Spirulina arthospira* :** La Spirulina es una microalga filamentosa (Cianobacteria) en forma de espiral que crece en aguas azul verdosas. Las especies consideradas seguras para su consumo son *S. platensis*, *S. maxima* y *S. fusiformis* (Serbana et al., 2016). Pueden ser

fácilmente separadas de su medio, poseen alta digestibilidad y llegar a contener hasta 70% de proteína de excelente calidad. (Trujillo, 2017)

U_{max}: tasa de crecimiento específica máxima de los microorganismos

Zarrouk: método de cultivo de microalgas el cual establece los nutrientes a suministrar (Trujillo, 2017)

2.5 Marco legal

Describe en forma específica el desarrollo de la acuicultura, relacionada con algunas normas emitidas de carácter agropecuario, técnico, tributarias, sanitarias y de responsabilidad civil.

Decreto 2256 de 1991, Artículo 2.16.5.2.10.1.

Permiso para realizar la acuicultura comercial, que habla sobre los permisos para ejercer la acuicultura ejercicio de la acuicultura donde el titular del permiso deberá solicitar a las entidades competentes los derechos de uso de terrenos, aguas, costas, playas o lechos de ríos o fondos marinos que sean necesarios para el desarrollo de la actividad. Para su obtención, el interesado deberá presentar a la AUNAP solicitud con los requisitos que ésta señale. La AUNAP establecerá el procedimiento para autorizar la realización de actividades de acuicultura experimental o científica. (Pesca-AUNAP, s.f.)

Desde el punto de vista ambiental se deben contar con una licencia ambiental otorgada por una Corporación Autónoma Regional (CAR) de acuerdo a la jurisdicción de implementación del proyecto que hace las veces de autoridad ambiental competente.

Decreto 1541 de 1978, del artículo 120

Decreto que habla de los permisos otorgados que deben estar ajustados estrictamente a las necesidades del proyecto. Dentro de la licencia deben estar incluidos un permiso de

concesión de aguas de acuerdo a lo establecido. En caso de que el agua utilizada para el proyecto sea captada de alguna fuente hídrica como río, quebrada o lago, por los altos consumos que requiere la operación es indispensable tener una concesión de aguas

Decreto 3930 de 2010.

Este decreto describe que se debe contar con un permiso de vertimientos si es necesario verter las aguas resultantes del proceso en algún cuerpo de agua. De igual manera se debe tramitar el Permiso de Estudio con Fines de Investigación Científica en Diversidad Biológica (PEFIC) que incluye la recolección de cepas nativas y todo lo relacionado con la investigación propia del proyecto.

Resolución ICA 1277 de 2004

Esta resolución indica en caso de ser requerido, según los alcances del proyecto, que se debe obtenerse permiso de acceso a recursos genéticos que permite la manipulación genéticas de diversas especies. Para la importación de las microalgas se requieren los permisos de ingreso al país expedidos por el ICA, entidad encargada de verificar las condiciones de importación y dictar las medidas tendientes a preservar la sanidad agropecuaria, además, cumplir con la. (machado)

2.6 Método

- **Tipo de investigación:** El proyecto será una investigación experimental se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

- **Enfoque de la investigación:** Cuantitativo.
- **Técnica de recolección de datos:** Observación.

- **Fuentes de información :** Primarias porque va hacer por medio de formatos los cuales van a permitir hacer seguimiento al comportamiento diario para la producción de la biomasa. Para las fuentes Secundaria se hará mediante la recolección de referencias de bibliotecas las cuales nos permiten confirmar los hallazgos de la investigación a realizar.

- **Técnicas de investigación:** Se hará mediante observación directa y mediciones de laboratorio.

- **Instrumento para recolectar la información:** Los instrumentos de la información se hará mediante observación directa, y será registrada en tablas digitales donde se establecerá inicialmente ítem de horas de luz irradiada, temperatura y aireación brindada según cada prototipo de biorreactor previamente seleccionado, adicional por medios de imágenes obtenidas con el microscopio. Y finalizando un formato donde se observará las imágenes y se relacionada el crecimiento celular y la biomasa recolectada. Las mediciones de laboratorio serán obtenidas por medio de equipos tales como , termohigrómetro para detectar la temperatura de cada prototipo de biorreactor , temporizador digital para establecer iluminación programada del cultivo , Peachimetro para medición de PH de cada muestra de cultivo, microscopio para obtención de imágenes de crecimiento celular de muestras de microalgas, centrifugadora para la mezcla entre el agua y la biomasa y por último la gramera analítica para indicar el peso de la biomasa recolectada de cada muestra.

- **Modo de aplicación:** Dirigida y de manera presencial. Bomba Para bombas centrífugas, la caudal mínimo reportado es de 0.378 m³ /min que corresponde a una

eficiencia de 45%, $\varepsilon = 0.45$; debido a que la bomba que se necesita para este proceso, posee un caudal por debajo del mínimo reportado por la literatura, se asume un $\varepsilon = 0.45$ (Turton y Bailie, 2003). Las condiciones de operación se muestran en la Tabla 11, seguida por los cálculos realizados para calcular la potencia de la bomba de aire. Tabla 11. Valores asumidos para la corriente de aire. Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) 25 Aumento de la Presión (Bar) 0.4 Fracción de vapor 0 Flujo volumétrico (m^3/h) 1 ε * () min (() 3 F m P bar P KW $\Delta =$ P=Potencia de la bomba 48 F= flujo volumétrico ΔP =Aumento de presión en la bomba KW m bar P KW $0.015 \cdot 0.45 \cdot (0.4) \cdot \min(0.017, ()^3 =$ La potencia requerida por la bomba para nuestro proceso será de 15 W

- **Sistema de hipótesis y variables o de Presupuestos y categorías de análisis:**

Hipótesis nula: La aireación y el fotoperiodo no generará una buena producción de biomasa microalgal.

Hipótesis alterna: La aireación y el

fotoperiodo generará una buena producción de biomasa microalgal.

La Variable Independiente: Aireación y fotoperiodo.

La

Variable dependiente: Biomasa seca, pH

- **Técnica de análisis y procesamiento de la información:**

Los resultados estadísticos de las variables de medición para determinar el mejor parámetro para la obtención de biomasa seca. Estos datos, serán analizados por análisis de varianza ANOVA y adicionalmente la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher.

- **Para el desarrollo de la investigación se realizará las siguientes fases:**

Determinación de las condiciones del cultivo inicial de la microalga *Spirulina Platensis*. Se utilizará la microalga *Spirulina*, se desarrollará un pre inóculo, el cual será mantenida durante 20 días a una temperatura de 30 \pm 2 °C y a 3000 lux en medio Zarrouk modificado (Romero, Guevara, & Gómez, 2017). Para mantener la cepa en crecimiento se realizará cambio de cultivo cada 10 días y se mantendrá en condiciones de luz led. La cantidad de pre inóculo será de 500 ml

- Evaluación del parámetro de crecimiento de la microalga *Spirulina Platensis*

Para la obtención de la biomasa se trabajará el siguiente diseño experimental

Tabla 1 Condiciones iniciales de los prototipos para cultivar

Tratamientos	Fotoperiodo (horas)	Aireación (vvm)
1	12_12	1
1	12_12	3
2	14_10	1
2	14_10	3
3	16_8	1
3	16_8	3

Fuente los autores

- Se realizará un diseño experimental 2 x 2 con dos factores (fotoperiodo y

aireación) y cada uno con 2 niveles, las variables respuesta serán producción de biomasa, pH. Cada uno de los tratamientos se realizó por duplicado.

- **Extracción de la biomasa seca generado en el sistema cerrado:** Para ello, se realizará un proceso de centrifugación a una velocidad de 5000 r.p.m. durante 10 minutos. Una vez realizado el proceso de centrifugación, se extrae el pellet del sobrenadante y se realiza el pesaje para determinar la cantidad de biomasa (Huarachi, Yapo, & Dueñas, 2017).

2.7 Desarrollo de la investigación



Elaboración del prototipo producción de fotoperiodo




Ilustración 1 Prototipos de Biorreactores Establecidos



Fuente los autores

Tabla 2 Materiales utilizados para elaboración de prototipos

Materiales	Cantidad
Bombillo de 3000 lumines	3
	
Toma levitón	3
Plafón portátil	3
	
Cables dúplex	3 mt
	
Temporizador análogo	3
	
Bomba para acuario 15 W	2
	
Papel piedra laminas cuartos	12
	

Cartulina	negra		6
cuarto			
Fomi negro	cuarto		3
Tijeras	,bisturí,		
silicona			

Fuente los autores

- **Objetivo 1:** Identificar de las condiciones en la fase exponencial de la cepa adquirida de la microalga (*Spirulina arthospira*).



La cepa para la reproducción de microalgas fue obtenida del NUTRÉ S.A.S es una empresa colombiana que se dedica principalmente al cultivo, procesamiento y comercialización de la microalga Spirulina.

Donde se obtuvo 100 ml de cepa de microalgas *spirulina platensis* en una concentración de 0.1 gr por litro además 3 litros de medio de cultivo zarrouk

Medio de cultivo Zarrouk (Zarrouk, 1966)

Sustancia Concentración (g/L)

Tabla 3 Dosificación de minerales medio de cultivo Zarrouk

NaHCO₃	13.61
Na₂CO₃	1.03
K₂HPO₄	0.50
NaNO₃	2.50
KSO₄	1.00
NaCl	0.20
MgSO₄ 7H₂O	0.04
CaCl₂ 2H₂O	0.01
FeSO₄ 7H₂O	0.05
H₃BO₃	2.86
MnCl₂ 4H₂O	1.81
ZnSO₄ 7H₂O	0.22
NaMoO₄ 2H₂O	0.39
CuSO₄ 5H₂O	0.079
Co(NO₃)₂ 6H₂O	0.049
VOSO₄ 5H₂O	49.6 mg
K₂Cr₂(SO₄)₄ 2H₂O	96.0 mg
NiSO₄ 7H₂O	47.8 mg
Na₂WO₄ 2H₂O	17.9 mg
TiOSO₄	33.3 mg
Co(NO₃)₂ 6H₂O	44.0 mg

Fuente los autores

El sulfuro es un constituyente de algunos aminoácidos esenciales, vitaminas y sulfolípidos, que ayudan al crecimiento del alga. El bicarbonato actúa no solo como fuente de carbonos, sino que regula las condiciones alcalinas en el cultivo. La Spirulina por ser una Cyanobacteria no-diazotrófica requiere 23 nitrógeno en el medio generalmente suministrado por el NaNO_3 . Además, este último es fundamental para el crecimiento y no se debe tener en concentraciones menores a 2.5 g/l (Raouf et al., 2006), el nitrógeno también es requerido para la síntesis de aminoácidos que hacen las proteínas y otros componentes celulares como la ficocianina (Colla et al., 2007). Una reducción en el NaCl refleja una reducción en el crecimiento, por lo que NaCl es requerido en pequeñas proporciones. El magnesio ocupa una posición estratégica en el aparato fotosintético como centro de la molécula de clorofila, entonces, todas las cianobacterias tienen un absoluto requerimiento de este elemento, así mismo tiene un rol en la agregación de ribosomas en unidades funcionales y en la formación de catalasa. Por último, la reducción de CaCl_2 conduce a un decrecimiento significativo del crecimiento del alga, y el calcio es un requerimiento esencial para la actividad en la membrana celular y un catalizador en reacciones enzimáticas (Raouf et al., 2006)



Ilustración 3 Medio de cultivo Zarrouk



Ilustración 2 Cepa de Microalgas Spirulina

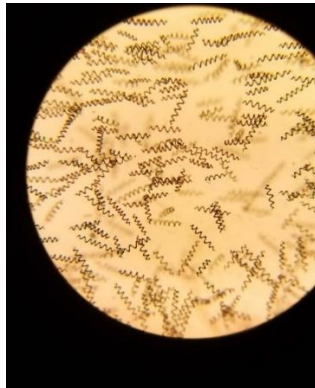


Ilustración 5 vista inicial microscopio lente 4

Fuente los autores

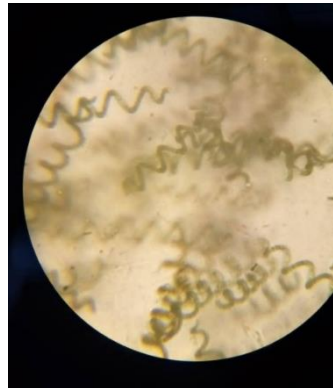


Ilustración 4 Vista microscopio lente 40

Cepa de 100 ml para diluir en 1200 ml serian 6 erlemeyer de 200 ml cada uno.

Inicialmente se extrajo 20 ml de cepa y se vertió en 100 de medio para reservar esa cepa sin modificar.

Ilustración 6 Inoculación de cepa en medio de cultivo



Fuente los autores

Después de separa el cultivo a conservar se dispone a diluir los 80 ml de cepa en los 1200 ml demedio donde cada erlemeyer contendría 13.3 ml de cepa a una concentración del 6.6 %

Montaje inicial día sábado 17 de marzo

Montaje inicial bajo las siguientes condiciones

Temperatura inicial 32.5 ° C en cada prototipo



*Ilustración 9 prototipos
biorreactores escala laboratorio*



*Ilustración 8
temperatura inicial*



*Ilustración 7
inoculo inicial 200 ml*

Fuente los autores

Análisis densidad celular de la cepa inicial inoculada con el medio del cultivo

Observación en microscopio densidad celular inicial de cada Erlenmeyer del prototipo



*Ilustración 12 caja
con iluminación led*



*Ilustración 11 Toma
de temperatura*



*Ilustración 10
aireación*



Ilustración 15 Erlenmeyer con 200 ml de medio de cultivo y 13 ml de cepa microalga spirulina



Ilustración 13 inoculación de cepa de microalga spirulina en medio de cultivo Zarrouk 1000 ml



Ilustración 14 cepa inicial 100 ml de medio 1 gr de spirulina NUTRE

Fuente los autores

Se compraron Cepa cultivo de micro algas spirulina platensis 100 ml concentración 0.1 gr/ltr , Medio de cultivo zarrouk 2 litros

Se reservan 100 ml de medio con 20 ml de cepa

Cultivos en los 6 diferentes Erlenmeyer de 200 ml cada uno

1200 ml de medio por 80 ml de cepa.

200 ml de cultivo mas 13,3 ml de cepa en cada Erlenmeyer

1280-----100%

80 ml-----¿? 6.25 % de cepa

Recientes enfoques consideran el uso de imágenes de microscopía de alta calidad sobre la cual un Clasificación Estadística algoritmo se utiliza para realizar la detección automatizada de la célula y contando como un Análisis de imagen Generalmente se realiza con una tasa de error constante como un proceso de tipo off-line (batch). Una gama de clasificación de la imagen técnicas pueden emplearse para este propósito



Ilustración 17
Erlenmeyer 200 ml muestra inicial



Ilustración 16 Muestra inicial con sistema de aireación

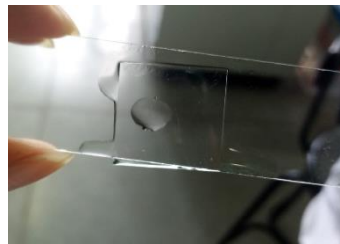


Ilustración 18 Microgota en porta objetos para observación de microscopio



Ilustración 20
Prototipo de biorreactor fotoperiodo muestra 1



Ilustración 19
Prototipo de Biorreactor fotoperiodo muestra 2



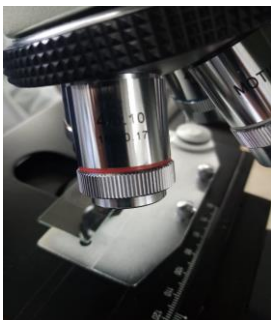
Ilustración 21 Prototipo de Biorreactor Fotoperiodo muestra 3

Fuente los autores

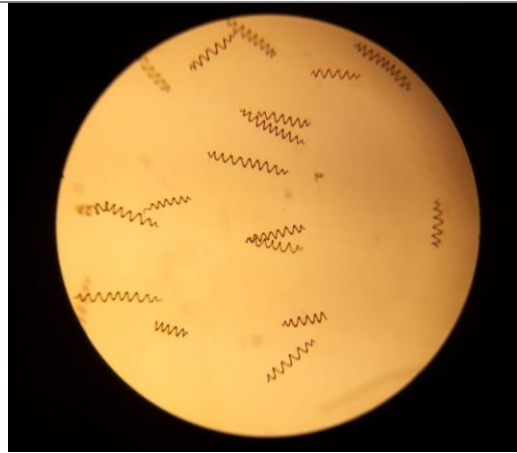
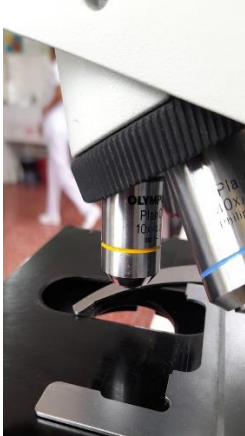
Estado inicial de la muestra

Tabla 4 Observación en microscopio cepa inicial

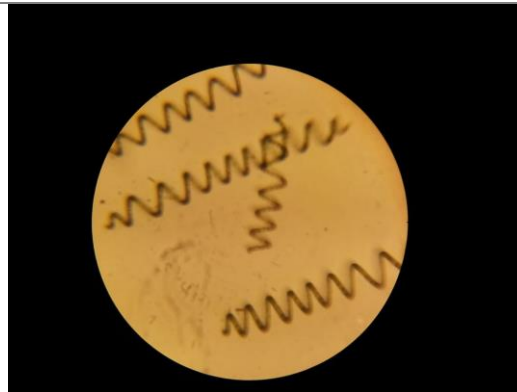
Numero de lente	Imagen crecimiento celular
Lente 4	



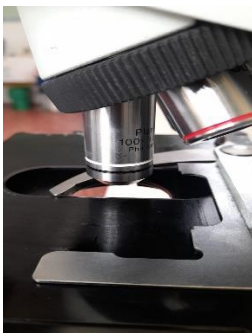
Lente 10



Lente 40



Lente 100



Fuente los autores

Estado de biorreactores

Tabla 5 Condiciones iniciales establecidas

Prototipo s	Iluminación n luz led (horas)	Aireación n (vvm)	Temperatura a
1	12_12 ☀ Luz enciende ☾ 6am Luz se apaga 6 pm	1 380 ppm	35 °C
1	12_12 ☀ Luz enciende 6am ☾ Luz se apaga 6pm	3 380 ppm	35 °C
2	14_10 ☀ Luz enciende 5am ☾ Luz se apaga 7 pm	1 380 ppm	35 °C
2	14_10 ☀ Luz enciende 5am ☾ Luz se apaga 7 pm	3 380 ppm	35 °C
3	16_8 ☀ Luz enciende 6am ☾ Luz se apaga 12pm	1 380 ppm	35 °C
3	16_8 ☀ Luz enciende 6am ☾ Luz se apaga 12 pm	3 380 ppm	35 °C

Fuente los autores

- **Objetivo 2** Evaluar los parámetro de densidad de la microalga (*Spirulina Platensis*) Bajo los fotoperiodos expuestos.

Para realizar la evaluación de densidad de la microalga y las condiciones de su proceso de producción se tuvieron en cuenta las mediciones por medio de la centrifugación y de la observación del microscopio. Al momento de utilizar el microscopio se obtuvieron imágenes que hacen referencia al estado del crecimiento celular de los cultivos de microalgas y en el proceso de la centrifugación donde el agua se combina con la biomasa se obtiene el resultado del peso de la biomasa donde se diferencia el mayor rendimiento según el fotoperiodo aplicado.

Martes 29 de marzo (12) días después del inicio de reproducción primer análisis en microscopio y centrifuga

Ilustración 24
Crecimiento exponencial de biomasa inicial



Ilustración 23 crecimiento
d microalga prototipo de biorreactor

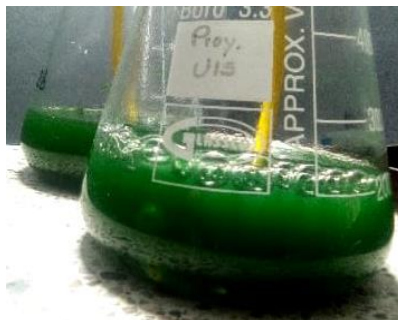


Ilustración 22 Gotero
con Muestra número uno para análisis en microscopio





Ilustración 27 Primera observación de prototipo muestras fotoperiodo 1



Ilustración 26 Primera observación de prototipo muestras fotoperiodo 2






Ilustración 25 Primera observación de prototipo muestras fotoperiodo 3

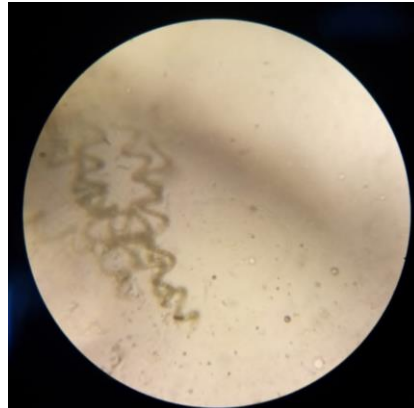
Fuente los autores

- Microscopio

Tabla 6 Imágenes recolectadas observación de microscopio toma 1



Prototipo		OBSERVACION EN MICROSCOPIO TOMA 1	
PROTOTIPO	1	Numero de lente	Imagen crecimiento celular
Fotoperiodo 1 línea A		Lente 4	
		Lente 10	

Lente 40

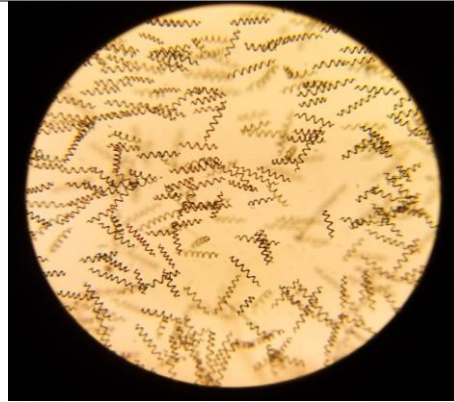


Lente 100



Fotoperiodo 1 línea	Numero de lente	Imagen crecimiento celular
<p>B</p> 	<p>Lente 4</p>	

Lente 10



Lente 40



Lente 100



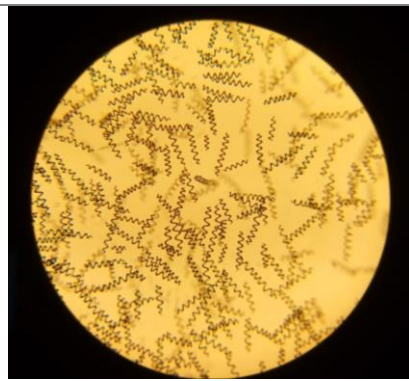
PROTOTIPO	2	Numero de	Imagen crecimiento celular
Fotoperiodo 2 línea A		lente	



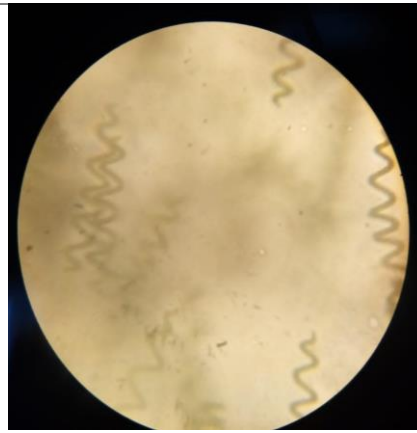
Lente 4



Lente 10



Lente 40



Lente 100



Fotoperiodo 2 línea

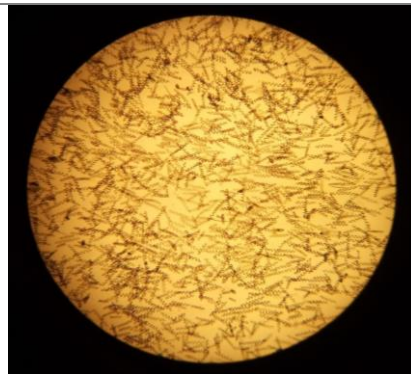
Numero de lente

Imagen crecimiento celular

B



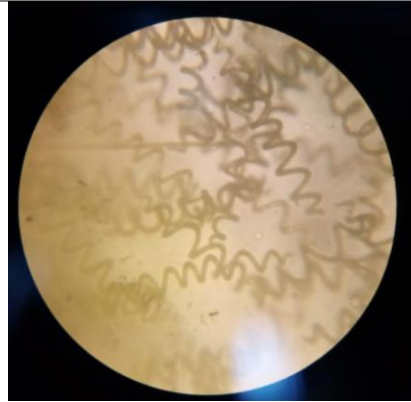
Lente 4



Lente 10



Lente 40



Lente 100



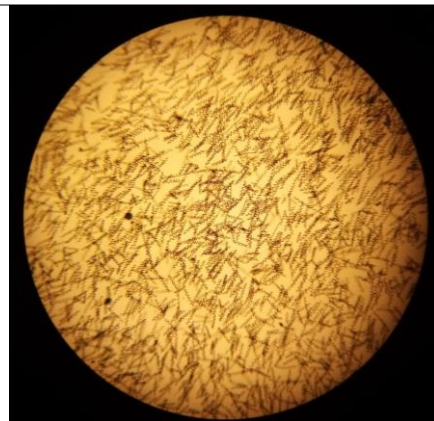
PROTOTIPO 3
Fotoperiodo 3 línea A

Numero de
lente

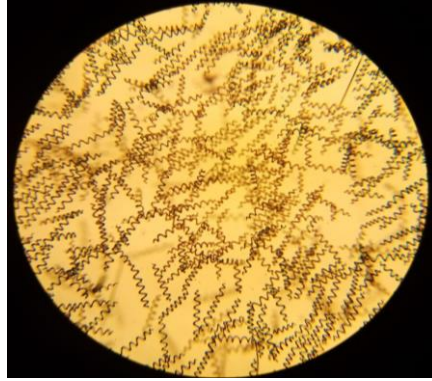
Imagen crecimiento celular



Lente 4



Lente 10







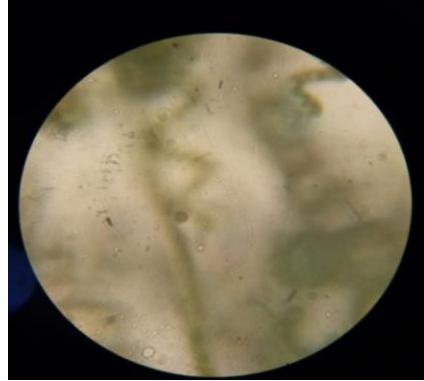
Lente 40



Lente 100



Fotoperiodo 3 línea	Numero de lente	Imagen crecimiento celular
<p data-bbox="240 264 261 296">B</p> 	Lente 4	
	Lente 10	
	Lente 40	

Lente 100

Fuente los autores

RECOLECCION DE MUESTRA CENTRIFUGACION Y PESAJE TOMA 1

- Centrifugación

Seis muestras de 10 ml correspondientes al respectivo cultivo de cada biorreactor.

Centrifuga Thermo Scientific

5000 Rpm por 15 min



Ilustración 28 tubos de ensayo 10 ml



Ilustración 29 Tubos de ensayo de plástico centrifuga



*Ilustración 30*Centrifuga Thermo Scientific

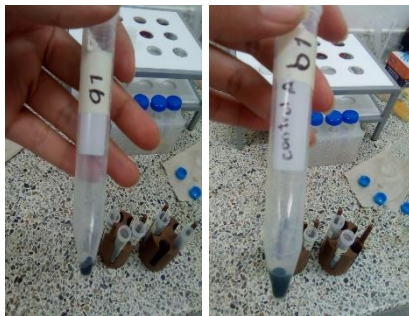
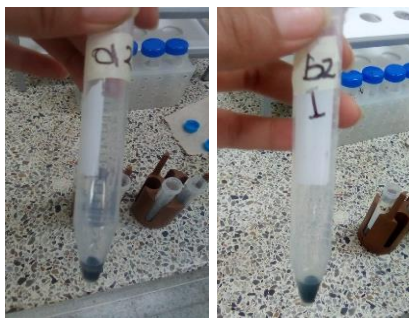
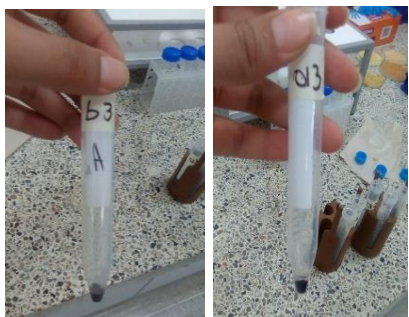


Ilustración 31 Muestra prototipo1 línea A Y B



*Ilustración 32*Muestra prototipo 2 línea A y B



Fuente los autores



*Ilustración 33*Muestra prototipo 3 línea A y B

Martes 26 de abril segunda recolección de muestras



Ilustración 34 Muestra segunda recolección

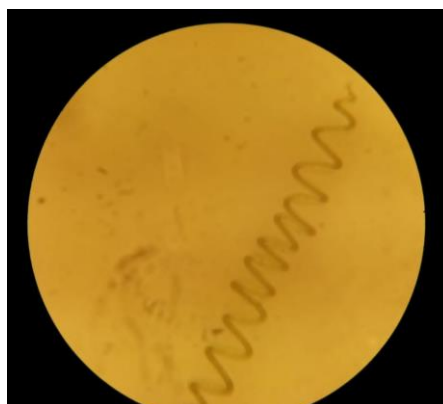
Ilustración 35 Imágenes recolectadas observación de microscopio toma 2

Prototipo		OBSERVACION EN MICROSCOPIO TOMA 3	
PROTOTIPO	1	Numero de	Imagen crecimiento celular
Fotoperiodo 1 línea A		lente	
		Lente 4	

Lente 10



Lente 40



Lente 100

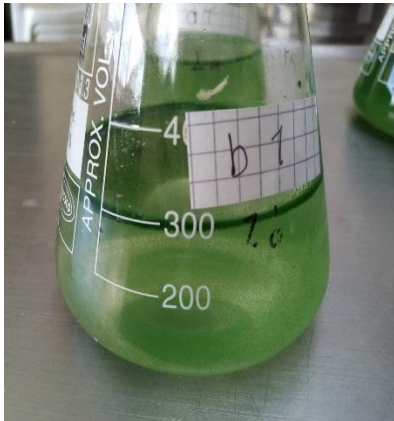


Fotoperiodo 1 línea B

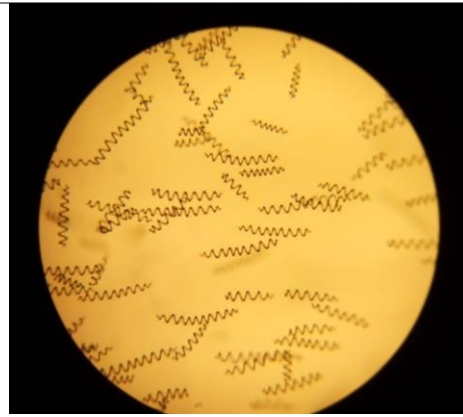
**Numero de
lente**

Imagen crecimiento celular

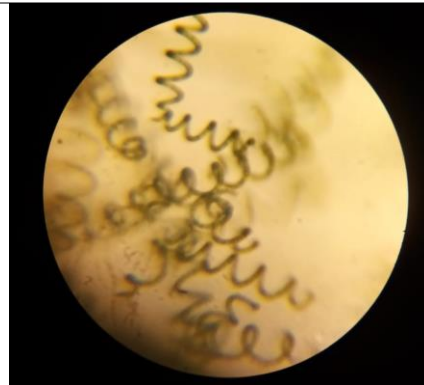
Lente 4



Lente 10



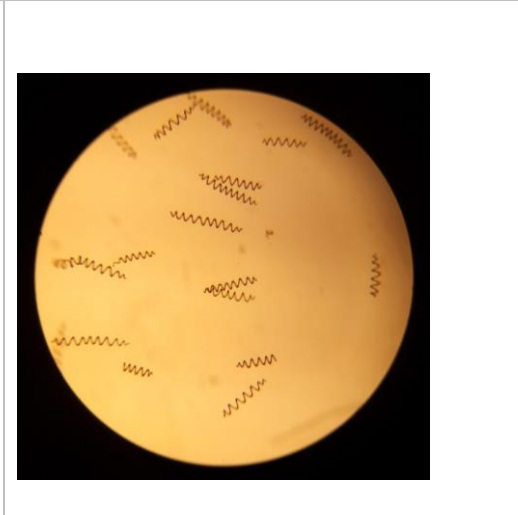


Lente 40



Lente 100



PROTOTIPO	2	Numero de lente	Imagen crecimiento celular
Fotoperiodo 2 línea A		Lente 4	
		Lente 10	

	Lente 40	
	Lente 100	

Fotoperiodo 2 línea

Numero de
lente

Imagen crecimiento celular



B

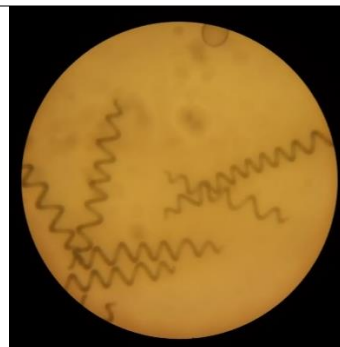
Lente 4



Lente 10



Lente 40



Lente 100



PROTOTIPO	3	Numero de lente	Imagen crecimiento celular
-----------	---	-----------------	----------------------------

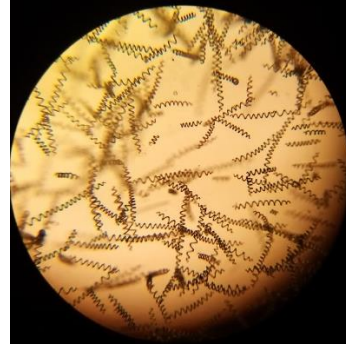
Fotoperiodo 3 línea A

Lente 4

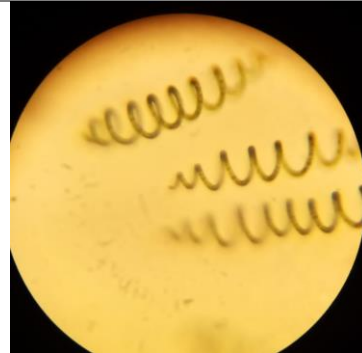




Lente 10



Lente 40

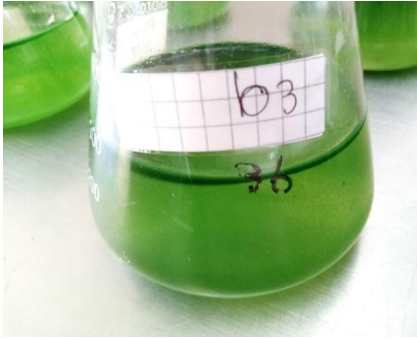


Lente 100

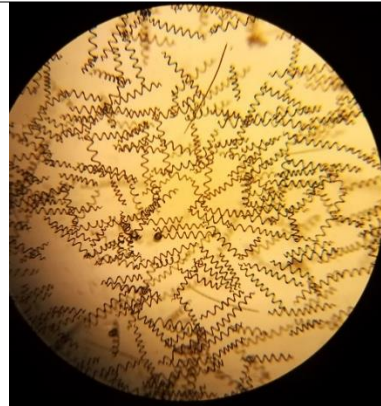


Fotoperiodo 3 línea	Numero de	Imagen crecimiento celular
B	lente	

Lente 4



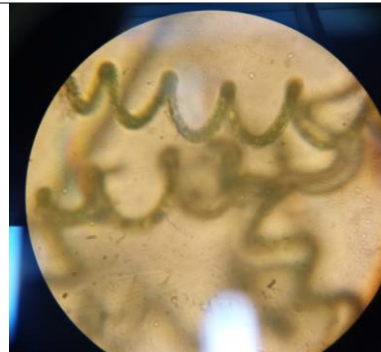
Lente 10



Lente 40



Lente 100



Fuente los autores

RECOLECCION DE MUESTRA CENTRIFUGACION Y PESAJE TOMA 2

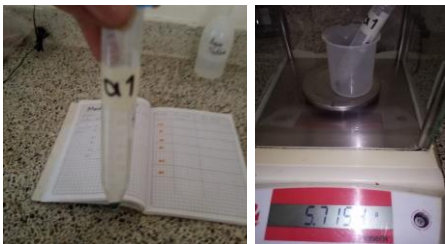


Ilustración 36 Peso de Biomasa cultivo fotoperiodo 1a 1en gramera analítica



Ilustración 37 Peso de Biomasa prototipo 1b en gramera analítica

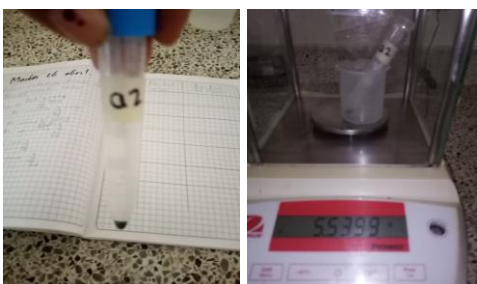


Ilustración 38 Peso de Biomasa prototipo 2a en gramera analítica

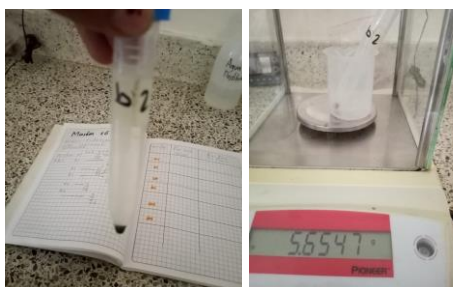


Ilustración 39 Peso de Biomasa prototipo 2b en gramera analítica



Ilustración 40 Peso de Biomasa prototipo 3a en gramera analítica

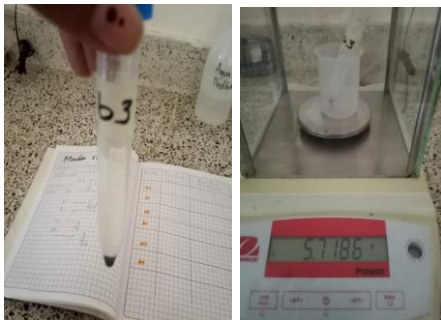


Ilustración 41 Peso de Biomasa prototipo 3b en gramera analítica

Fuente los autores

Martes 3 de mayo tercera recolección de muestras





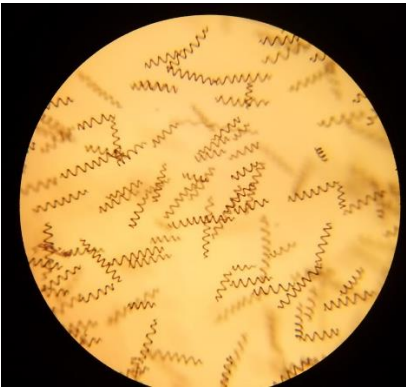
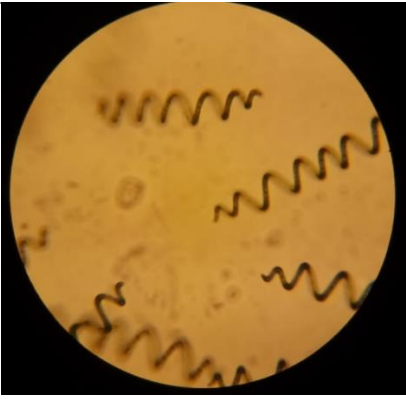
Ilustración 42 Recolección de Biomasa numero 3



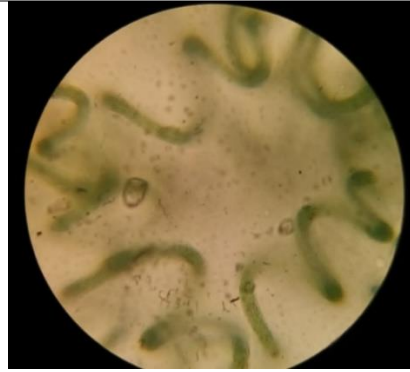
Ilustración 43 Recolección de Biomasa número 3 en tubos para centrifuga

Fuente los autores

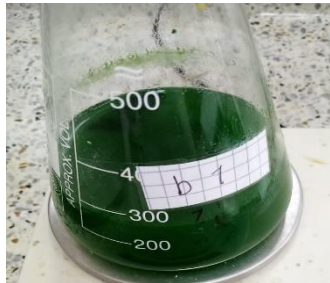
Tabla 7 Imágenes recolectadas observación de microscopio toma 3

Prototipo		OBSERVACION EN MICROSCOPIO TOMA 3	
PROTOTIPO	1	Numero de lentes	Imagen crecimiento celular
Fotoperiodo 1 línea A			
		Lente 4	
		Lente 10	
		Lente 40	

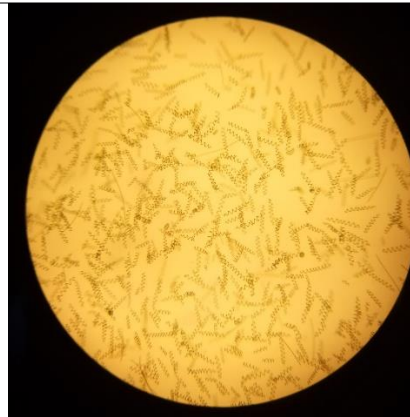
Lente 100



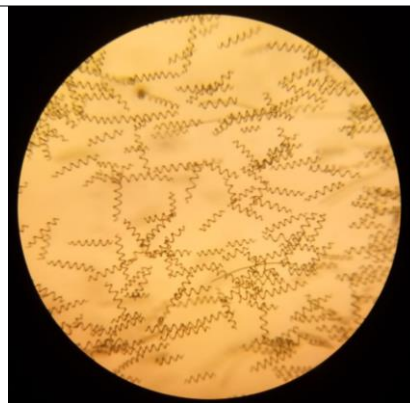
Fotoperiodo	1	Numero de lentes	Imagen crecimiento celular
línea B			



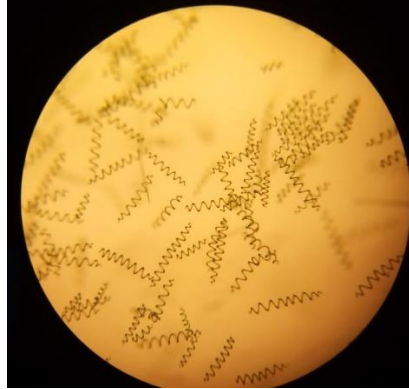
Lente 4



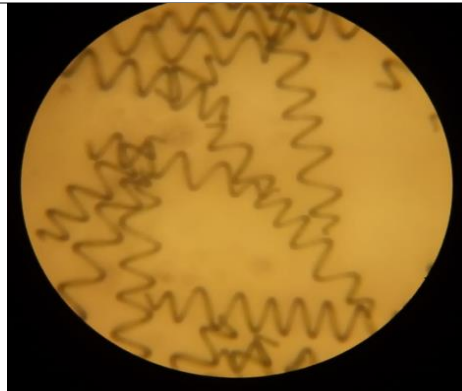
Lente 10



Lente 40



Lente 100



PROTOTIPO

2

Numero de

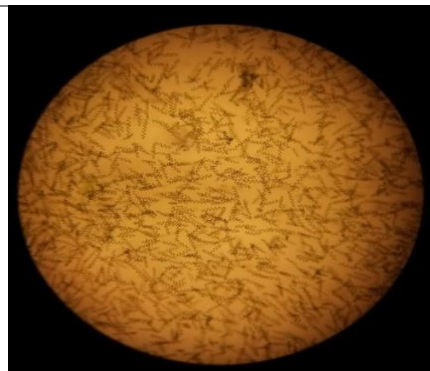
Imagen crecimiento celular

Fotoperiodo 2 línea A

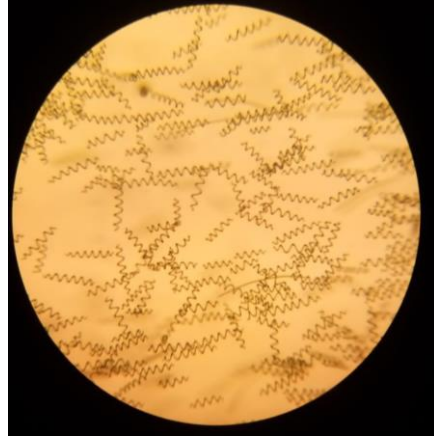
lente



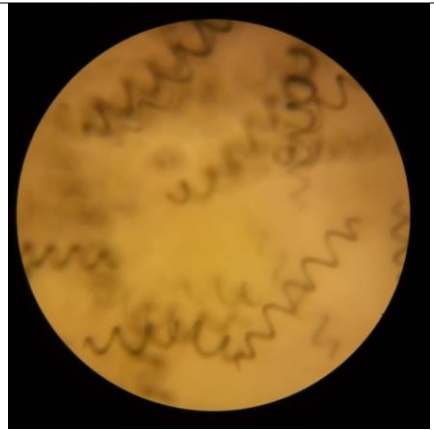
Lente 4



Lente 10


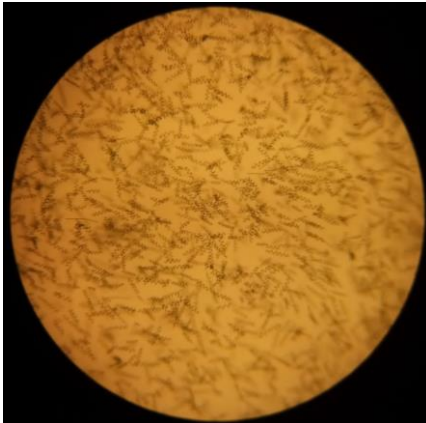
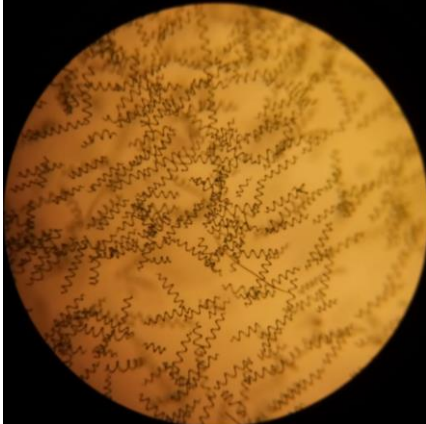
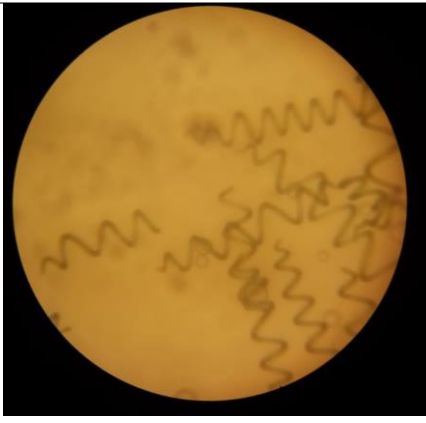


Lente 40

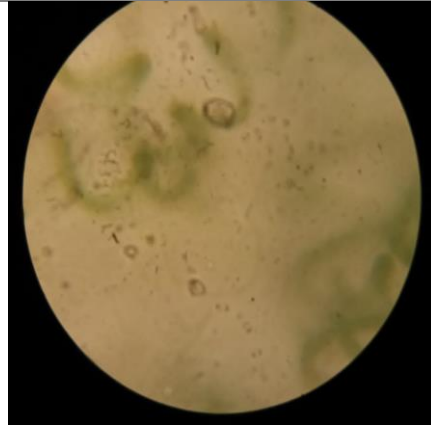


Lente 100



Fotoperiodo	2	Numero de	Imagen crecimiento celular
línea B		lente	
		Lente 4	
		Lente 10	
		Lente 40	

Lente 100



PROTOTIPO

3

Numero

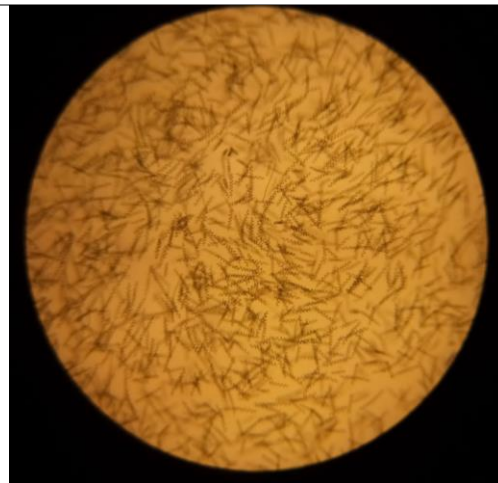
Imagen crecimiento celular

Fotoperiodo 3 línea A

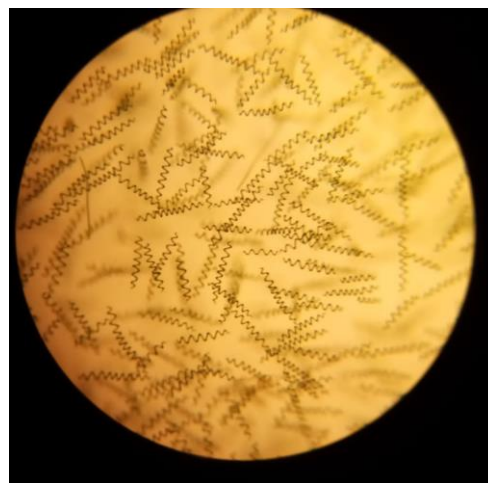
de lente



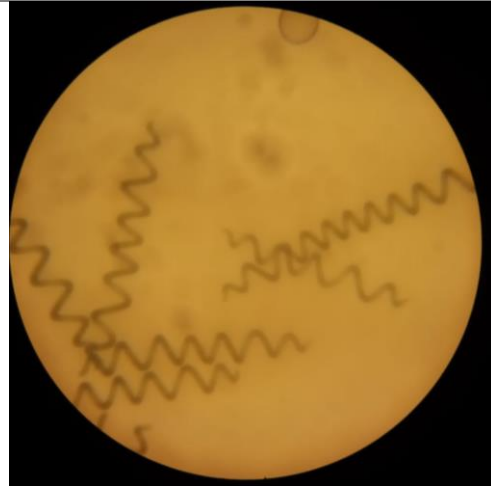
Lente 4



Lente 10



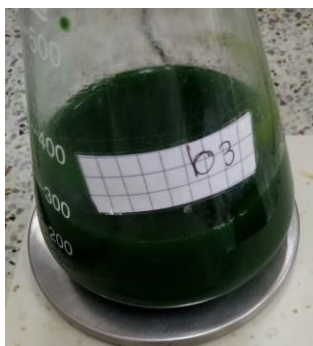
Lente 40



Lente 100



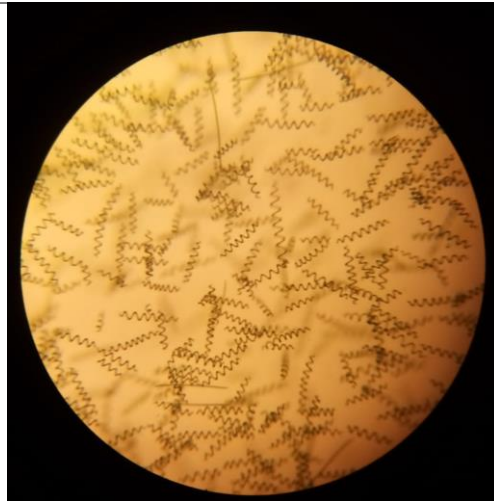
Fotoperiodo línea B	Numero de lente	Imagen crecimiento celular
------------------------	--------------------	----------------------------



Lente 4



Lente 10



Lente 40



Lente 100



Fuente los autores

RECOLECCION DE MUESTRA CENTRIFUGACION Y PESAJE TOMA 3

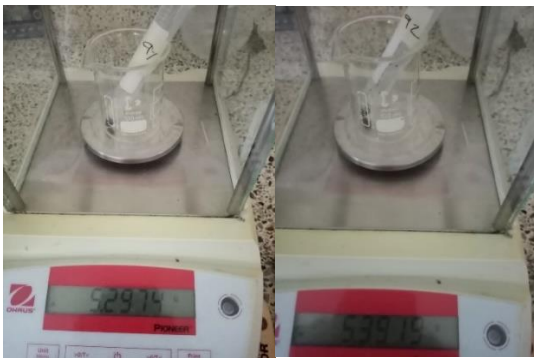


Ilustración 44 Recolección de Biomasa numero 3 fotoperiodo 1a y 1 b pesaje en gramera analitica



Ilustración 45 Recolección de Biomasa numero 3 fotoperiodo 2a y 2b pesaje en gramera analítica



Ilustración 46 Recolección de Biomasa numero 3 fotoperiodo 3a y3 b pesaje en gramera analítica

Fuente los autores

Ilustración 47 Peso cultivo final prototipo 1



Ilustración 48 Peso cultivo final prototipo 2



Ilustración 49 Peso del cultivo final prototipo 3



Fuente los autores



*Ilustración 50
Toma final de muestra de PH*

Tabla 8 Muestra PH final

Determinación de pH		
Muestra	Peso de la muestra (g)	pH
1 microalgas	2.06	10.2

Fuente los autores

- **Objetivo 3.** Identificar los resultados obtenidos bajo las diferentes condiciones como luz, oscuridad, aireación, pH y nutrientes suministrados. Para definir el fotoperiodo más eficiente.

OBSERVACION DE		
IMÁGENES OBTENIDAS		
POR EL MICROSCOPIO		
Toma 1	Lente 4x	<p>Al momento de observar la muestra número uno que hace parte del prototipo 1 se identifica que esta se destaca en la línea b se presenta una mayor multiplicación celular y una definición en su forma</p> <p>Al momento de observar la muestra por medio del microscopio la tanto la línea a y b ubicado en el lente 4 que significa un aumento de 40 veces se puede observar que la microalga presentó un importante crecimiento celular que se identifica por medio de la cantidad de filamentos espirulados que se agrupan en gran proporción y mantienen una forma definida</p>

	Lente 10x	En la observación utilizando el lente número 10 que significa un aumento de 100 se evidencian agrupaciones y espacios entre cada espiral aun así se mantiene su forma definida y gran cantidad de células
	Lente 40x	En la observación con el lente número 40 que corresponde a un aumento de 400 veces se identifica una agrupación y una intercalación entre los espirales con una baja definición en su forma de espiral y espacios más notorios
	Lente 100x	Al momento de utilizar el lente número 100 que permite el aumento de 1000 veces se puede identificar la forma perfecta de la célula en espiral con su coloración verde que indica una buena producción de fotosíntesis y un buen estado de la microalga
Toma 2	Lente 4x	Al observar la muestra perteneciente al fotoperiodo número 2 bajo el lente 4 nos indica una multiplicación mucho más pronunciada ya que se encuentran espacios oscuros debido a la concentración de las células no se observa filamentos rectos lo que indica un crecimiento saludable y exponencial de la microalga
	Lente 10x	En el prototipo número 2 fotoperiodo 2 bajo la muestra

		utilizada con el lente número 10 con una multiplicación de 100 veces se logra identificar más claramente las forma espiralada de la célula no se observan espacios en blanco lo que significa que hay una mejor producción de células
	Lente 40x	Utilizando el lente número 40 se logra la multiplicación de 400 veces la observación de la microalga en este caso se presenta una mayor proporción de espirales distribuidos por todo el objetivo lo que permite describir un mayor crecimiento y una mayor calidad de la microalga
	Lente 100x	Al utilizar el lente número 100 obtenemos como resultado un aumento de 1000 veces este acercamiento permite identificar el estado de la microalga y su coloración verde oscura que manifiesta un crecimiento con los nutrientes adecuados y necesarios
Toma 3	Lente 4x	Para esta tercera toma de análisis perteneciente al fotoperiodo número 3 es mucho más visible el incremento y la multiplicación celular que ha permitido este fotoperiodo ya que se observa acumulación intensiva de espirales sin dejar espacios definidos a pesar de ser el lente con un aumento de 40 veces
	Lente 10x	Para este lente que indica una multiplicación de 100 se puede observar el intercalo que presenta los diferentes espirales unos a otros pudiendo definir que la microalga se encuentra en un proceso de crecimiento y posiblemente requiera de más medio de cultivo
	Lente 40x	Utilizando el lente número 40 correspondiendo a 400 veces su aumento se identifica una acumulación en la parte superior

	donde se observa espirales definidos y oscuros que se superponen unos a otros haciendo referencia a la búsqueda de espacio para mayor crecimiento de las células
Lente 100x	Para este fotoperiodo número 3 tanto en la línea 1 como en la línea 2 utilizando el lente 100 que nos aumenta 1000 veces la imagen se logra identificar una producción en aumento y con posibles requerimientos de espacio ya que hay intercalo de espirales impidiendo un crecimiento natural y una forma definida

RECOLECCION DE MUESTRA

CENTRIFUGACION Y PESAJE

Recolección 1

Tabla 9 Resultados peso Biomasa primera centrifugación

Muestras	10 ml de	Peso biomasa
cultivo		viva obtenida
Fotoperiodo 1 línea A		5.5023mg
Fotoperiodo 1 línea B		5.7521mg
Fotoperiodo 2 línea A		5.4679mg
Fotoperiodo 2 línea B		5.8376mg
Fotoperiodo 3 línea A		5.6504mg
Fotoperiodo 3 línea A		5.8803mg

Recolección 2

Tabla 10 Resultados peso Biomasa segunda centrifugación

Muestras	10 ml de	Peso biomasa
cultivo		viva obtenida
Fotoperiodo 1 línea A		5.7154 mg
Fotoperiodo 1 línea B		5.7482 mg
Fotoperiodo 2 línea A		5.5399 mg
Fotoperiodo 2 línea B		5.6547 mg
Fotoperiodo 3 línea A		5.7628 mg
Fotoperiodo 3 línea B		5.7186 mg

Recolección 3

Tabla 11 Resultados peso Biomasa tercera centrifugación

Muestras	10 ml de	Peso biomasa
cultivo		viva obtenida
Fotoperiodo 1 línea A		5.2974 mg
Fotoperiodo 1 línea B		5.3919 mg
Fotoperiodo 2 línea A		5.5129 mg
Fotoperiodo 2 línea B		5.3480 mg
Fotoperiodo 3 línea A		5.6045 mg
Fotoperiodo 3 línea B		5.5185 mg

Tabla 12 peso final sin centrifugar

Muestra	sin	Peso en gr	Peso en gr
centrifugar		Línea 1	Línea 2
Prototipo		435.3	427.7
fotoperiodo1			
Prototipo		443.6	427.0
fotoperiodo 2			
Prototipo		435.6	449.7
fotoperiodo3			

Fuente el autor

3. RESULTADOS

Objetivo 1. El cultivo de microalgas inicial, se encontró en las siguientes condiciones 100 ml de cepa de spirulina cultivo de microalgas *spirulina platensis* 100 ml concentración 0.1 gr/lt ,con unas condiciones encontradas y observadas por medio del microscopio, lente 4x con una proliferación de células Spiruladas no muy concentradas , con espacios en blanco notables y dispersos , en el lente número 10 x se observa filamentos spirulados bien definidos con un conteo de 17 células encontradas en una micro gota Después se separa el cultivo a conservar y se dispone a diluir los 80 ml de cepa en los 1200 ml de medio donde cada Erlenmeyer contendría 13.3 ml de cepa a una concentración del 6.6 % .

Cultivos en los 6 diferentes Erlenmeyer de 200 ml cada uno,1200 ml de medio por 80 ml de cepa ,200 ml de cultivo más 13,3 ml de cepa en cada Erlenmeyer. Finalmente, una concentración inicial de.6.25 % de cepa *spirulina platensis*.

Objetivo 2. Para la evaluación de las condiciones del proceso de producción se tuvieron en cuenta las mediciones por medio de la centrifugación y de la observación del microscopio. Al momento de utilizar el microscopio se obtuvieron imágenes que hacen referencia al estado del crecimiento celular de los cultivos de microalgas y en el proceso de la centrifugación se obtiene el resultado del peso de la biomasa donde se diferencia el mayor rendimiento según el fotoperiodo aplicado. Por medio del respetivo pesaje con gramera analítica las muestras que más destacaron por sus pesos fue el fotoperiodo 3 con una incidencia de luz de 16 hr y una etapa de oscuridad de 8 hr. Prototipo 3a muestra 1 (5,6504 mg) 3b (5,8803 mg), fotoperiodo 3a muestra 2 (5,7628 mg) 3b (5,7186 mg), fotoperiodo 3a muestra 3 (5,6045 mg) 3b(5,5185 mg) fotoperiodo 3 muestra final sin centrifugar 3a (435,6 gr)3b (449,7).

Objetivo 3. Los resultados obtenidos en la investigación para identificar las condiciones de fotoperiodos para la producción de microalgas en un prototipo de biorreactor fueron las siguientes. Al utilizar el Termohidrómetro para toma de temperatura en todos los fotoperiodos, se identificó que tuvo una constancia de temperatura de 32,2 °c, la medición con el Peachimetro de 10,28 de pH en su toma final. Los tres modelos transportan el aire con 100 – 140 mbar como mínimo. Con los respectivos nutrientes suministrados con Medio de cultivo Zarrouk en mili gramos por litro. Bicarbonato de sodio 13.6, carbonato de sodio 1.03, nitrato de sodio 0.50, sulfato de potasio 1.00, cloruro de sodio 0,2 Sulfato de magnesio 0.04, cloruro de calcio 0.01, sulfato ferroso 0,05, ácido trioxoborico 2.86, tetrahidrato de cloruro 1.81, sulfato de zinc 0.22mg, permanganato de sodio 0.39, sulfato de cobre 0.079mg, nitrato de cobalto 0.049, oxisulfato de anadio pentahidratado 49.6 mg, alumbre de cromo 96.0 mg. Nickel(II) sulfato heptahidratado 47.8 mg, tungstato de sodio dihidratado 17.9 mg, solución de oxisulfato de titanio 33.3 mg, nitrato de cobalto II 44.0 mg.

4. CONCLUSIONES

Una vez realizado el prototipo se identificó que la condición en la fase exponencial de la cepa de microalga *spirulina platensis* adquirida es 100 ML con una concentración de 0,1 gramos por litro, obteniendo una concentración para los seis elementos de 1200 ML de medio por 80 ML de sepa que corresponde a 200 ML de cultivo + 13,3 ML de cepa en cada línea de los fotoperiodos con un porcentaje de concentración de 6,25% de cepa. De igual manera se identifica por medio de la observación en microscopio que en el lente 4 presenta una cantidad notoria de células con espacios en blanco y en el lente 10 con un aumento de 100

veces se puede contar las células de microalgas que corresponden a 17 espirales por micro gota de muestra.

Con la evaluación de los parámetros de densidad de la microalga bajo los fotoperiodos indicados se logró cuantificar el crecimiento por medio de observación y pesaje de biomasa producida en cada biorreactor establecido por medio del uso de microscopio, utilizando los lentes 4x 10x 40x y 100x que proporcionó imágenes notorias sobre el crecimiento celular ,también se logró identificar el peso de la muestra de biomasa recolectada por medio de la gramera analítica como instrumento para el pesaje de la biomasa obtenida de cada muestra resultado de la centrifugación de 10 ml de microalga de cada fotoperiodo establecido.

Se identificaron los resultados obtenidos con las diferentes condiciones como luz oscuridad , pH y nutrientes suministrados identificando el fotoperiodo más eficiente por medio de microscopio se logró definir un crecimiento celular observado por medio de los lentes en aumento del microscopio donde se demostró que hay mayor concentración celular en el fotoperiodo número 3 con una iluminación de 18 horas luz y 6 horas de oscuridad se determinó una temperatura constante de 32 grados centígrados adicional por medio de la centrifugación y el pesaje en gramera analítica se logró evidenciar que el mayor crecimiento se presentó en el fotoperiodo3, Describiendo una diferencia notable en gramos respecto a los demás fotoperiodos tanto en la recolección número 1 la recolección número 2 y la recolección número 3 haciéndolo más evidente con el peso final sin centrifugar donde se obtiene en la línea número 2 un peso de 449,7 g a diferencia del fotoperiodo 1 con un peso de 427,7 g y fotoperiodo número 2 con 427,0 g.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda al momento de realizar los prototipos incluir en las paredes de la caja el color blanco y no el negro para promover mayor incidencia de luz adicional si se llega a utilizar luz led por medio de bombillas usar máximo de irradiación de 3000 lux.
- Utilizar bombas de Acuario para la respectiva aireación que sean todas de la misma cantidad de oxigenación aplicada.
- Utilizar medio de cultivo elaborado bajo investigación para identificar qué minerales influyen en el crecimiento celular.
- Realizar medición de cromatografía para determinar la calidad nutricional e inocuidad de la biomasa de microalga Spirulina obtenida
- Se recomienda no dejar el cultivo más de 4 días sin sus respectivas condiciones ambientales como la irradiación de luz, la toma de temperatura máximo de 35 grados, incidencia de aire con potencia y alimentación con nutrientes especificados según cantidad a producir
- Incrementar el estudio de laboratorio y llevarlo a utilizar en estanques de mayor tamaño para promover producción de microalgas spirulina en un medio productivo de mayor amplitud donde se logre obtener una cantidad de biomasa microalgal que pueda beneficiar a los productores con el uso de la misma ya sea en granjas o fincas productivas implementándola en la alimentación pecuaria o acuícola y para la fertilización

Bibliografía

(s.f.). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/282317097/Densidad-Celular-PDF>

Alina Villa, D. H. (12 de 2014). *efecto del fotoperiodo en el crecimiento de la diatomea* .

Obtenido de

<file:///E:/carpetas%20usuario/DOCUMENTOS/UNIVERSIDAD%20UIS%20LOR>

[E/profesional%20agroindustrial/proyecto%20de%20GRADO/Dialnet-](E/profesional%20agroindustrial/proyecto%20de%20GRADO/Dialnet-EfectoDelFotoperiodoSobreElCrecimientoDeLaDiatomea-5111593.pdf)

<EfectoDelFotoperiodoSobreElCrecimientoDeLaDiatomea-5111593.pdf>

Ángel Darío González-Delgado, A. F. (1 de 07 de 2017). *articulo de investigacion cientifica*

Obtenido de [http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v18n3/0122-8706-ccta-18-03-](http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v18n3/0122-8706-ccta-18-03-00451.pdf)

[00451.pdf](http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v18n3/0122-8706-ccta-18-03-00451.pdf)

Arias, F. G. (2012). *EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN*. caracas: EDITORIAL

EPISTEME, C.A.

BBC. (26 de Enero de 2021). *Espirulina, el superalimento de los aztecas que vive un boom*

en México. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/vert-tra-55670748>

Blanco, L. T. (s.f.). Obtenido de <https://www.fao.org/3/ab473s/AB473S00.htm#TOC>

Colorado Gomez, M. M. (2013). *ambiente y desarrollo* . Obtenido de

<https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/ambienteydesarrollo/article/view/6049>

directas, I. (s.f.). Obtenido de <https://www.lamparadirecta.es/blog/lumen-y-lux>

dorremochea, c. f. (s.f.). Obtenido de [https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-](https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-03-06_05-58-35140206.pdf)

[03-06_05-58-35140206.pdf](https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-03-06_05-58-35140206.pdf)

fernandes, j. m. (2014). Obtenido de [https://w3.ual.es/~jfernand/ProcMicro70801207/tema-](https://w3.ual.es/~jfernand/ProcMicro70801207/tema-1---generalidades/1-7-fotobiorreactores.html)

[1---generalidades/1-7-fotobiorreactores.html](https://w3.ual.es/~jfernand/ProcMicro70801207/tema-1---generalidades/1-7-fotobiorreactores.html)

fernandez, j. m. (2014). *Ingeniería de Procesos aplicada a la Biotecnología de Microalgas*.

Obtenido de <https://w3.ual.es/~jfernand/ProcMicro70801207/tema-1---generalidades/1-7-fotobiorreactores.html>

francisco machado. (2012). *Análisis de Prefactibilidad para la implementación de una planta*

Obtenido de file:///E:/carpetas%20usuario/DOCUMENTOS/UNIVERSIDAD%20UIS%20LOR E/profesional%20agroindustrial/8%20semestre/CampilloMachado_Francisco_2013.pdf

franco Argento, c. s. (2016). *Factibilidad técnica y económica de la producción de spirulina*.

Obtenido de <http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/1/780/TMEC%201095.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

García, j. l. (2018). *PRESENTE Y FUTURO DEL CULTIVO*. Obtenido de

publicacionescajamar.es/publicacionescajamar/public/pdf/publicaciones-periodicas/mediterraneo-economico/31/31-806.pdf

hernandes, A. (08 de 2014). *microalgas , cultivo,beneficios* . Obtenido de

<https://scielo.conicyt.cl/pdf/revbiolmar/v49n2/art01.pdf>

hernandez, a. (01 de 08 de 2014). *revista biologia marina* . Obtenido de

<https://scielo.conicyt.cl/pdf/revbiolmar/v49n2/art01.pdf>

Huarachi, R., Yapo, Ú., & Dueñas, A. (2017). Cultivo de *Arthrospira platensis* (Spirulina) en

fotobiorreactor tubular doblemente curvado a condiciones ambientales en el sur del Perú. *Revista Colombiana de Biotecnología*.

isabel, d. a. (2012). *biomasa biocombustibles y sostenibilidad*. Obtenido de <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>

machado, f. c. (s.f.). *ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA*. Obtenido de E:/carpetas%20usuario/DOCUMENTOS/UNIVERSIDAD%20UIS%20LORE/profesional%20agroindustrial/proyecto%20de%20GRADO/CampilloMachado_Francisco_2013.pdf

Ortíz, M., Romero, M., & Meza, L. (2018). La biorremediación con microalgas (*Spirulina máxima*, *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris*) como alternativa para tratar la eutrofización de la laguna de Ubaque, Colombia. *Revista de investigación, desarrollo e innovación*, 163 - 176.

Pesca-AUNAP, A. N. (s.f.). Obtenido de <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Paginas/Decreto-1071-2015/SECCION-10--Permiso-de-cultivo.aspx#:~:text=Para%20realizar%20la%20acuicultura%20comercial,de%20acuicultura%20experimental%20o%20cient%ADfca>.

ramirez, l. g. (2013). *fiotobioreactor herramienta cultivo de cianobacterias*. Obtenido de <file:///E:/carpetas%20usuario/DOCUMENTOS/UNIVERSIDAD%20UIS%20LORE/profesional%20agroindustrial/proyecto%20de%20GRADO/Dialnet-Fotobiorreactor-4749461.pdf>

raul rincon, d. m. (30 de 06 de 2011). *Aspectos técnicos y económicos para el*. Obtenido de <file:///E:/carpetas%20usuario/DOCUMENTOS/UNIVERSIDAD%20UIS%20LORE>

E/profesional%20agroindustrial/8%20semestre/profe%20dorian/3162-

Texto%20del%20art%C3%ADculo-11311-1-10-20120808.pdf

rey, d. c. (s.f.). *factores que influyen en el desarrollo : fotoperiodo* . Obtenido de

https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Agri%2FAgri_2008_913_920_922.pdf

Rodrigo, J. A. (enero de 2016). Obtenido de

https://www.cienciadedatos.net/documentos/19_anova

Romero, L., Guevara, M., & Gómez, B. (2017). Producción de pigmentos procedentes de

Arthrospira maxima cultivada en fotobiorreactores. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 108 - 114.

Rubio Aguiar, R. J. (7 de marzo de 2018). *CARACTERIZACIÓN DE LA MICROALGA*

FISCHERELLA MUSCICOLA, PARA EVALUAR LA BIOMASA Y SU POTENCIAL USO EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA. Obtenido de

<https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2865>

rueda, f. (2011). *breve historia de uan gran desconocida* . Obtenido de

<https://www.um.es/eubacteria/acuicultura.pdf>

Torres, B., & Correa, D. (2018). *diseño conceptual de un proceso de cultivo y optencion* .

Obtenido de

[https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/393/BernardoDavid_TorresUrango_2008.pdf;jsessionid=71CEE436ED14E8B3411C140D794F4E5E?sequence=](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/393/BernardoDavid_TorresUrango_2008.pdf;jsessionid=71CEE436ED14E8B3411C140D794F4E5E?sequence=3)

3

Torres, B., & Correa, D. (26 de Junio de 2021). *Diseño conceptual de un proceso de cultivo*

y obtención de Cyanobacteria Arthrospira Platensis . Obtenido de

https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/393/BernardoDavid_TorresU

rango_2008.pdf;jsessionid=71CEE436ED14E8B3411C140D794F4E5E?sequence=

3

Trujillo, S. A. (11 de marzo de 2017). *efecto dela intensidad de diodos electroluminosos* .

Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172017000100004

Urbano, M. e. (2015). *Microalgas, el origen mismo de la vida...* Obtenido de

<https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-microalgas/>

villalovos, v. (2017). *Efecto de la intensidad de diodos electroluminosos y fotoperiodo en la*

optimización de la producción de biomasa de Spirulina (Arthrospira). Obtenido de

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172017000100004