



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE PESQUERÍA Y ZOOLOGÍA**

**Crecimiento poblacional de *Isochrysis affinis galbana*
(T-ISO) cultivada con diferentes intensidades de
diodos emisores de luz (LEDs)**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
LICENCIADA EN BIOLOGÍA-PESQUERÍA**

Autora

Br. Rita Giorgina Garboza Barreto

Asesora

MSc. María Victoria Lora Vargas

LAMBAYEQUE – PERÚ

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE PESQUERÍA Y ZOOLOGÍA

Crecimiento poblacional de *Isochrysis affinis galbana* (T-ISO) cultivada con diferentes intensidades de diodos emisores de luz (LEDs)

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
LICENCIADA EN BIOLOGÍA-PESQUERÍA

Aprobada por:

Dr. Segundo Juan López Cubas

PRESIDENTE

Dr. Eduardo Julio Tejada Sánchez

SECRETARIO

M.Sc. Jorge A. Fupuy Chung

VOCAL

M.Sc. María V. Lora Vargas

ASESORA

LAMBAYEQUE – PERÚ

2023

Dedicatoria

El presente trabajo se lo dedico a mi Padre Celestial, por brindarme toda la guía necesaria para culminarlo y haberme bendecido con personas de buen corazón en todo este proceso, destacando el impulso de manera constante de mis padres y hermanos, a quienes va dirigida también esta investigación, por ser mi fortaleza todos los días de mi diario vivir.

Garboza Barreto, Rita Giorgina.

Agradecimientos

Agradecida infinitamente con Dios, con la vida; porque a través de todo este proceso he podido adquirir experiencias aleccionadoras, que me han permitido madurar tanto personal como profesionalmente.

Agradezco cada palabra de aliento, apoyo constante que recibí por parte de mi familia, amistades y por el asesoramiento continuo y desinteresado por parte de mis docentes de especialidad: MSc. María Victoria Lora Vargas y el Dr. Segundo Juan López Cubas.

Contenido

Resumen	x
Abstract.....	xi
Introducción	1
Marco teórico	3
Antecedentes... ..	3
Bases teóricas	7
Marco metodológico	9
Materiales y Métodos.....	9
<i>Localización del experimento</i>	9
<i>Material Biológico</i>	9
<i>Procedencia de la cepa</i>	9
<i>Acondicionamiento del área</i>	9
Instalación de la cámara de cultivo	9
<i>Instalación de las luminarias</i>	9
<i>Mantenimiento del cultivo</i>	11
Limpieza, desinfección y esterilización	11
Tratamiento de agua de mar	11
<i>Preparación del Medio de Cultivo</i>	12
<i>Diseño experimental</i>	12
<i>Cultivo de Isochrysis aff. galbana</i>	12
Obtención del inóculo	12
Secuencia de siembra y desarrollo del cultivo	15
Parámetros físico-químicos	15
<i>Determinación del crecimiento poblacional</i>	18
<i>Análisis estadístico de datos</i>	20
Resultados	22
Discusión.....	34
Conclusiones.....	37
Recomendaciones	38
Referencias	39
Anexos	43

Lista de Figuras

Figura 1 Ubicación del Laboratorio de Bioperú Vida SAC	10
Figura 2 Células de <i>Isochrysis aff. galbana</i> (T-ISO)	10
Figura 3 Cámara de cultivo de <i>Isochrysis aff. galbana</i>	10
Figura 4 Tratamiento de agua de mar... ..	13
Figura 5 Esquema de cultivo <i>Isochrysis aff. galbana</i> . Cultivo inicial (A). Cultivo intermedio(B). Cultivo final (C).....	14
Figura 6 Cepa de <i>Isochrysis aff. galbana</i>	14
Figura 7 Siembra de <i>Isochrysis aff. galbana</i> en tubos	16
Figura 8 Cultivo de <i>Isochrysis aff. galbana</i> en matraces de 500 mL	16
Figura 9 Siembra en Botellas de 1,5 L.....	17
Figura 10 Cultivo de <i>Isochrysis aff. galbana</i> en la cámara de cultivo. Inicio del cultivo (A). Desarrollo del cultivo (B).....	17
Figura 11 Recuento celular.....	19
Figura 12 Variación promediada del crecimiento diario de <i>Isochrysis aff. galbana</i> en cada tratamiento cultivada bajo iluminación LED y un control en el Laboratorio de Bioperú vida	24
Figura 13 Diferencias de las medias para el número de células de los tratamientos de <i>Isochrysis aff. galbana</i> , cultivada en el Laboratorio de Bioperú vida	24
Figura 14 Variación de los parámetros C y M del modelo de Gompertz por tratamiento de <i>Isochrysis aff. galbana</i> , cultivada en el Laboratorio de Bioperú vida	27
Figura 15 Curvas de crecimiento del modelo Gompertz por tratamiento de <i>I. aff. galbana</i> cultivada en el Laboratorio de Bioperú vida	27
Figura 16 Velocidad máxima de crecimiento y Tiempo de generación de <i>Isochrysis aff. galbana</i> , cultivada en diferentes tratamientos, en el Laboratorio de Bioperú vida.....	28
Figura 17 Máxima densidad poblacional y Tiempo de generación de <i>Isochrysis aff. galbana</i> , cultivada en diferentes tratamientos, en el Laboratorio de Bioperú vida.....	28

Figura 18 Promedio diario de la Temperatura del agua de cultivo para cada tratamiento, en el cultivo de <i>Isochrysis aff. galbana</i> , en el Laboratorio de Bioperú vida.....	31
Figura 19 Promedio diario de Salinidad para cada tratamiento, en el cultivo de <i>Isochrysis aff. galbana</i> , en el Laboratorio de Bioperú vida.....	32
Figura 20 Promedio diario de Intensidad lumínica para cada tratamiento, en el cultivo de <i>Isochrysis aff. galbana</i> , en el Laboratorio de Bioperú vida	33

Lista de Tablas

Tabla 1 Composición del medio F/2 de Guillard y Ryther (1962)	13
Tabla 2 Diseño Experimental de Estímulo Creciente con tres tratamientos y tres repeticiones	14
Tabla 3 Densidad celular (Cél/mL) de <i>Isochrysis aff. galbana</i> en las repeticiones para cada tratamiento.....	23
Tabla 4 Crecimiento diario promediado de <i>Isochrysis aff. galbana</i> , cultivada bajo iluminación LED y un control (Fluorescente convencional) en el Laboratorio de Bioperú vida.....	23
Tabla 5 Parámetros obtenidos a partir del modelo Gompertz y parámetros poblacionales de crecimiento de <i>Isochrysis aff. galbana</i> , cultivada en diferentes tratamientos en el Laboratorio de Bioperú vida.....	25
Tabla 6 Registro de la Temperatura ambiental en la Sala de cultivo de <i>Isochrysis aff. galbana</i> , en el Laboratorio de Bioperú vida	29
Tabla 7 Temperatura del agua diaria en las repeticiones de cada tratamiento, en el cultivo de <i>Isochrysis aff. galbana</i> , en el Laboratorio de Bioperú vida	30
Tabla 8 Salinidad diaria en las repeticiones de cada tratamiento, en el cultivo de <i>Isochrysis aff. galbana</i> , en el Laboratorio de Bioperú vida	31
Tabla 9 Intensidad lumínica diaria para cada tratamiento, en el cultivo de <i>Isochrysis aff. galbana</i> , en el Laboratorio de Bioperú vida.....	32

Lista de Anexos

- Anexo 1.** ANOVA para determinar las diferencias entre réplicas para cada tratamiento sobre el crecimiento de *Isochrysis aff. galbana* cultivada bajo iluminación LED y un control (Fluorescente convencional) en el Laboratorio de Bioperú vida.....43
- Anexo 2.** ANOVA para determinar el efecto de los tratamientos, tiempo y su interacción sobre el crecimiento de *Isochrysis aff. galbana*, cultivada bajo iluminación LED y un control (Fluorescente convencional) en el Laboratorio de Bioperú vida 43
- Anexo 3.** Variación del crecimiento diario de *Isochrysis aff. galbana* en las repeticiones para cada tratamiento, cultivada en el Laboratorio de Bioperú vida...43
- Anexo 4.** Promedio diario de la Temperatura ambiental para cada tratamiento, en el cultivo de *Isochrysis aff. galbana*, en el Laboratorio de Bioperú vida.....44

Resumen

El objetivo del presente trabajo de investigación es conocer el crecimiento poblacional de *Isochrysis affinis galbana* (T-ISO) cultivada con diferentes intensidades de diodos emisores de luz (LEDs). Se evaluó a *Isochrysis aff. galbana* durante 10 días en una cámara de cultivo previamente acondicionada para 12 botellas de 1,5 L de capacidad; la especie fue cultivada en agua de mar filtrada y esterilizada, con medio Guillard F/2, sometida a un rango de iluminación entre 1670 y 1990 lux, emitidas desde luces LED y F. El modelo matemático de Gompertz, fue aplicado para determinar la cinética del crecimiento, paralelamente con la prueba de rangos múltiples de Tukey se determinó las medias de densidad celular de los tratamientos y el control.

El comportamiento poblacional de *Isochrysis aff. galbana* fue afectado por la intensidad de diodos emisores de luz en relación directa (18 watts) con una densidad celular de $9,46 \times 10^6 \text{cél. mL}^{-1}$; demostrando que en este tratamiento se alcanzó la máxima velocidad de crecimiento en menor tiempo, la máxima velocidad de crecimiento específico y el menor tiempo de generación. El registro de los parámetros físico-químicos fue muy similar durante el proceso de cultivo y guardaron relación indirecta con las fases de desarrollo.

Palabras clave: Crecimiento, densidad celular, *Isochrysis affinis galbana*, diodos emisores de luz.

Abstract

The objective of this research work is to know the population growth of *Isochrysis affinis galbana* (T-ISO) grown with different intensities of light-emitting diodes (LEDs). *Isochrysis aff. galbana* for 10 days in a culture chamber previously conditioned for 12 bottles of 1,5 L capacity; the species was cultured in filtered and sterilized seawater, with Guillard F/2 medium, subjected to a lighting range between 1670 and 1990 lux, emitted from LED and F lights. The Gompertz mathematical model was applied to determine the growth kinetics; in parallel with Tukey's multiple range test, the average cell density of the treatments and the control was determined.

The population behavior of *Isochrysis aff. galbana* was affected by the intensity of light-emitting diodes in direct relation (18 watts) with a cell density of $9,46 \times 10^6 \text{cél.mL}^{-1}$; demonstrating that in this treatment the maximum growth speed was achieved in the shortest time, the maximum specific growth speed and the shortest generation time. The recording of the physical-chemical parameters was very similar during the cultivation process and was indirectly related to the development phases.

Keywords: Growth, cell density, *Isochrysis affinis galbana*, light emitting diodes.

Introducción

A nivel mundial el cultivo de microalgas se ha desarrollado significativamente para ser suministrada en diversos sectores de producción, en especial en el campo acuícola; teniendo para este último, el uso de menos de 20 especies de microalgas; entre las que destaca *Isochrysis*, la cual es proporcionada como principal fuente de alimento en la producción de zooplancton, estadios larvarios de moluscos, crustáceos y algunas especies de peces, criados en instalaciones controladas (López et al 2009).

Es así, que para satisfacer la alta demanda de este alimento, a través de los años se han diseñado y generado tecnologías como es el uso de Fotobiorreactores (FBR's), sistemas que podrían resultar económicamente viables; donde el cultivo microalgal se desarrolla desde pequeños volúmenes hasta niveles masivos; en los que la intensidad de luz (Cheirsilp y Torpee, 2012); la calidad espectral y el fotoperiodo (periodos alternos de luz: oscuridad) desempeñan un papel fundamental a nivel de la actividad fotosintética (Humprey, 1979).

No obstante, actualmente se sigue empleando luz artificial de manera tradicional como es el uso de tubos fluorescentes en cultivos a escala de laboratorio (ambiente controlado) y aunque muestran resultados favorables para el cultivo microalgal a nivel de biomasa y composición estructural; su eficiencia, se ha caracterizado por consumir alta energía; es así que en la búsqueda de optimizar aún más este tipo de cultivos, se ha presentado como una alternativa atractiva el uso de diodos emisores de luz (LEDs), debido a que “*consumen menos energía y generan menos calor en la producción de biomasa a partir de microalgas*” (Prieto, 2017), básicamente permiten obtener una biomasa exitosa a menores costos de producción.

Bajo esa perspectiva, el objetivo general de esta investigación es conocer el crecimiento poblacional de *Isochrysis affinis galbana* (T-ISO) cultivada con diferentes

intensidades de diodos emisores de luz (LEDs) y sus objetivos específicos fueron; determinar y comparar las curvas de crecimiento, período de duración y rendimiento de la biomasa de *Isochrysis affinis galbana*, describir las características adaptativas de *Isochrysis aff. galbana* a diferentes intensidades de iluminancia y seleccionar la intensidad de luz que brinde un mejor crecimiento microalga; partiendo del problema: ¿Cómo influye la intensidad lumínica de diodos emisores de luz (LEDs) en el crecimiento de *Isochrysis affinis galbana*?; al cual se le planteó la hipótesis: El crecimiento de *Isochrysis affinis galbana* será mayor con la intensidad más alta de diodos emisores de luz (LEDs).

Marco teórico

Antecedentes

En relación con cultivo bajo diferentes intensidades de luz:

Kaplan et al. (1986) en su búsqueda por determinar las condiciones óptimas para el crecimiento de *Isochrysis galbana*, realizaron cultivos discontinuos en volúmenes de 100 mL con iluminación constante de $150 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (11100 lux) y 10 L a $200 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (14800 lux), para luego ser sembrados a un nivel masivo (150 L) con inóculo inicial de $3,0 \times 10^5$ cél. mL^{-1} , para este último nivel emplearon dos tratamientos a una iluminación constante con lámparas fluorescentes (blanco frío), que oscila entre $50 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (3700 lux) y $150 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (11100 lux). En el cultivo con mayor intensidad lumínica se logró una densidad algal de $5,0 \times 10^6$ a $1,2 \times 10^7$ cél. mL^{-1} durante el quinto y séptimo día de cultivo, respectivamente.

Otros autores, trabajando con la misma especie, lograron obtener densidades poblacionales de $8,65 \times 10^6$ cél. mL^{-1} y una tasa de crecimiento relativo (K) de 1,2 div. día⁻¹, luego de cultivar *I. galbana* en medio Walne a 2L de capacidad, con una densidad inicial de 10×10^3 cél. mL^{-1} , 15 °C de temperatura ambiental, salinidad 35 ppm, aireación constante (5L/min) e iluminación continua de $60 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (4440 lux), Fernández et al. (1989).

En otras investigaciones, Gonzáles et al. (1999), obtuvieron densidades de $8,70 \pm 0,7 \times 10^6$ cél. mL^{-1} con una velocidad de crecimiento (k) de $0,47 \pm 0,02$ div. día⁻¹ para la especie en mención, cultivada en medio Guillard (f/2) a un volumen de 800 mL, con un inóculo de $2,5 \times 10^6$ cél. mL^{-1} , adaptada a 12 horas luz con lámparas fluorescentes de una intensidad lumínica de $45 \mu\text{mol quanta, m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (3330 lux), aireación constante, salinidad (30 ups) y temperatura promedio de $22,4 \pm 0,69$ °C (ambiente) y $22,7 \pm 1,20$ °C (agua).

Años más tarde Velasco et al. (2009), emplearon lámparas fluorescentes de 75W colocadas a 0,15 y 3 m de 1024 y 24 lux respectivamente, para lo cual se utilizó una densidad celular de 18×10^3 cél. mL⁻¹) (10 mL de inóculo) en un volumen de 50 mL, temperatura (22°C y 28°C) y salinidad (27 y 35 ups) demostrando que luego de ocho días de cultivo la mejor densidad (4520 cél. mL⁻¹) se logró a 28 °C, agitación manual y una intensidad de luz de 1024 lux y registrando una velocidad de crecimiento de 0,13 div. día⁻¹. Todo lo contrario, sucede con una baja intensidad lumínica (24 lux) en donde se demuestra que el crecimiento tiene una tendencia negativa a lo largo del experimento con densidades de 260 cél. mL⁻¹, a una misma temperatura (28°C).

Posteriormente, se registraron datos obtenidos por Marchetti et al. (2011), en donde las condiciones óptimas para el cultivo de *Isochrysis galbana* ocurrieron con una iluminación de 60 $\mu\text{mol fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (4002 lux); temperatura de 30°C y pH 6,8.

Asimismo, Córdoba en el 2011 evaluó la biomasa de *I. galbana* cultivada en dos sistemas de iluminación, estimulada con radiación monocromática (LEDs blancas y rojas). Para un primer ensayo empleó una iluminación de 5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (333 lux) y posteriormente una de 60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$; (4000 lux) teniendo a su vez un grupo control con fluorescentes convencionales a una intensidad continua de 60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (4400 lux); para esta experiencia se inoculó 200 mL de microalgas ($2 - 3 \times 10^6$ cél. mL⁻¹), nutridas con medio Guillard (f/2) a una capacidad de 700 mL, aireación constante y $23 \pm 1^\circ\text{C}$ de temperatura ambiente. Alcanzando densidades de $8,27 \times 10^6$ a $10,9 \times 10^6$ cél. mL⁻¹ al quinto día en el grupo control; con un tiempo promedio de duplicación de 3,7 a 3,8 div. día⁻¹.

Sánchez et al. (2016); investigaron el efecto de diferentes espectros de luz fluorescente (blanca, azul, verde y roja) sobre la composición del crecimiento de *Tisochrysis lutea* (*Isochrysis aff. galbana*), concluyendo que la luz blanca y azul

funciona mejor para el crecimiento, que la luz roja y verde. Este ensayo utilizó un inóculo de 500 mL en envase de 1000 mL que contenía medio F/2, iluminación constante a 4440 lux (60 μmol), temperatura de 33 ± 1 °C, agitación manual diaria, pH de 7,9 a 8,8. Con luz blanca, se alcanzó mayor densidad algal ($2,45 \pm 0,22 \times 10^6$ cél. mL^{-1}) y en relación a la tasa de crecimiento esta fue mayor con luz azul ($1,47 - 0,04$ div. día^{-1}) en comparación a luz blanca $1,43 \pm 0,11$ div. día^{-1}).

Considerando trabajos experimentales de otras especies de microalgas a diferentes intensidades de luz , se evaluó:

Escuredo (2014); empleó tres intensidades de luz (60, 80 y 100 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en el orden correspondiente a 4440, 5920 y 7400 lux, para el cultivo de *Haematococcus* sp, desarrollando un mejor comportamiento exponencial de la microalga ($72,0 \times 10^4$ cél. mL^{-1}) a una intensidad de luz de 60 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (4440 lux) con el medio Plantafol.

Paralelamente Hernández et al. (2014), al emplear 10 LEDs de 1,3 W (promedio de intensidad de luz emitida de 1000 a 1150 lux) en un sistema de FBR, determinaron que esta fue más deficiente en comparación al uso combinado de los dos tipos de luces LEDs y tres fluorescentes, este último con una potencia de 15 W (promedio 1200 a 1350 lux), permitiendo un mejor desarrollo del cultivo de *Nannochloris atomus*.

En otros estudios, como el de Ruíz et al. (2015), se evaluó la biomasa de la cepa de *Chlorella vulgaris*, mediante exposición a diferentes longitudes de onda de luz LED (azul hierro y rojo hierro) y un control con luz blanca (fluorescente); registrando que el comportamiento de la especie en cultivo se desarrolló mucho mejor con la luz azul hierro ($>8,0 \times 10^6$ cél. mL^{-1}), sin desestimar el comportamiento de la luz blanca ($7,4 \times 10^6$ cél. mL^{-1}).

Dos años más tarde Villalobos et al. (2017), cuando estudiaron el efecto de la intensidad del diodo electroluminiscentes y el fotoperiodo en la optimización de la

producción de biomasa de *Arthrospira sp*, obtuvieron mejores resultados utilizando luz LED de $8,3 \pm 1,9$ klux y un fotoperiodo de 12:12 h; mostrando una biomasa de 0,72 log (N/No), fase de adaptación (4,62 h), mayor densidad específica de crecimiento $0,033 \text{ }^{-1} \text{ Log (cél./h)}$ y menor tiempo de consumo de energía (74,05 h) comparado con el cultivo L/O de 24/0 h.

Garzón et al. (2019) estudiaron el efecto de la intermitencia de la luz LED 689 $\mu\text{mol. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (45935 lux) sobre el crecimiento y producción de metabolitos de *Scenedesmus obliquus* en fotobiorreactores de placa plana, durante los 14 días de cultivo la temperatura promedio registrada fue de 18°C, con aireación constante, demostrando que la concentración de pigmentos fotosintéticos fue favorable para el cultivo con luz intermitente, 12/12 h de luz/oscuridad.

Asimismo, Bravo et al. (2020); examinaron el impacto de luz LED y fluorescente en el crecimiento y la biomasa de *Thalassiosira pseudonana* con una intensidad de luz de $4200 \pm 5\%$, encontraron que después de 14 días la densidad del cultivo aumentó, alcanzando cifras de $(4 \text{ a } 5 \times 10^6 \text{ cél. mL}^{-1})$, con $1,26 \text{ div. día}^{-1}$; sin diferir ambos tipos de tratamientos (Luz Fluorescente y Luz LED); a su vez la temperatura registrada para la iluminación con luz fluorescente durante todo el escalamiento, fluctuó de 23,7 y 24,0°C en comparación a las luces LED (20,7 a 21,0 °C).

Bases teóricas

Generalidades de *Isochrysis affinis galbana*

Para Córdoba (2011) *Isochrysis aff. galbana*, es una microalga amarilla, con presencia de dos flagelos idénticos de apariencia lisa (7 μm de longitud), sin pared celular, una membrana plasmática, de forma elipsoidal, solitaria, móvil, de 5-6 μm de largo, 2-4 μm de ancho y espesor de 2,5-3 μm .

En relación a la variedad de cepas de *Isochrysis*, el autor antes señalado, sostuvo que existen dos variedades: *Isochrysis galbana* (T-ISO) (Parke), cepa aislada en el Mar de Irlanda, en 1938 por Mary Parke, e *Isochrysis affinis galbana* (T-ISO); proveniente del archipiélago Sociedad, cerca de la costa de Tahití del Pacífico Sur por Kenneth Haines en 1977. Ambas pertenecen a la clase Haptophyceae y en diversos estudios se les conoce comúnmente como *Isochrysis aff. galbana* (T-ISO) aunque existen algunas diferencias (Whyte, 1987).

La temperatura ideal para T-ISO en circunstancias favorables al desarrollo, es 27,15°C, mientras que la temperatura ideal para la cepa Parke es 20,00°C, (Molina et al. 1994), FONDEPES en el 2004 establece que la temperatura para *Isochrysis* y otras microalgas marinas en cultivo oscila entre 18,00 – 22,00°C, con agitación constante y adición de CO₂ de ser necesario, lo cual coincide con Fernández en el 2016. Asimismo Ynga y Niño en el 2019 establecen que la temperatura óptima es de 18 00 a 22,00 °C para el cultivo.

Respecto a los medios de cultivo utilizados para su desarrollo, Valenzuela et al. (2005), hacen uso de medio Guillard F/2, Walne e incluso fertilizantes agrícolas; comprobándose que estos últimos pueden incrementar la biomasa de la especie, así como mantenerla a densidades similares que los otros medios de cultivo. Asimismo

para Ynga y Niño (2019), empleando el medio Bayfoland, logra obtener un buen comportamiento logarítmico a nivel masivo.

Las poblaciones naturales de microalgas están expuestas a cambios continuos de irradiación (Steemann y Hansen, 1959; Steemann y Jorgensen, 2006; citado por Córdoba, 2011); por lo que son capaces de responder ante estas variaciones modificando su fotosíntesis; lo cual produce cambios en la composición bioquímica (Redalje y Laws,1983) y el volumen de las células (Prezelin y Sweeney 1978).

Marco metodológico

Materiales y Métodos

Localización del experimento

El presente trabajo de investigación se desarrolló en las instalaciones del laboratorio de cultivo de microalgas de la empresa Bioperú Vida SAC, ubicado en el distrito, departamento y provincia de Lambayeque – Perú, entre los -6,7040579° Latitud y -79,9051242° Longitud (Figura 1).

Material Biológico

Estuvo conformado por la cepa de *Isochrysis aff. galbana* (Figura 2).

Procedencia de la cepa

Isochrysis aff. galbana, fue obtenida del banco de cepas de Bioperú vida SAC. La cual se mantuvo a 21 °C e iluminación constante en tubos de ensayo.

Acondicionamiento del área de cultivo

Instalación de la cámara de cultivo.

Se elaboró una cámara para el cultivo de *Isochrysis aff. galbana*, de 2,70 m de largo x 0,50 m de ancho x 0,50 m de altura; de melamina blanca, la cual estuvo dividida en 4 compartimentos, con sus respectivas puertas para el control y tratamientos aplicados (Figura 3).

Instalación de luminarias.

A cada compartimiento se le instaló iluminación blanca a base de luz fluorescente y luz LED. Para el control de las muestras se emplearon fluorescentes de 18 Watts (W) con un rango de 2100 a 2300 lux y para los tratamientos, tubos LED de 18 W (2200 lux), 14 W (1900) y 9 W (1700 lux) (Figura 3).

Figura 1

Ubicación del Laboratorio de Bioperú vida SAC



Figura 2

*Células de *Isochrysis aff. galbana* (T-ISO)*

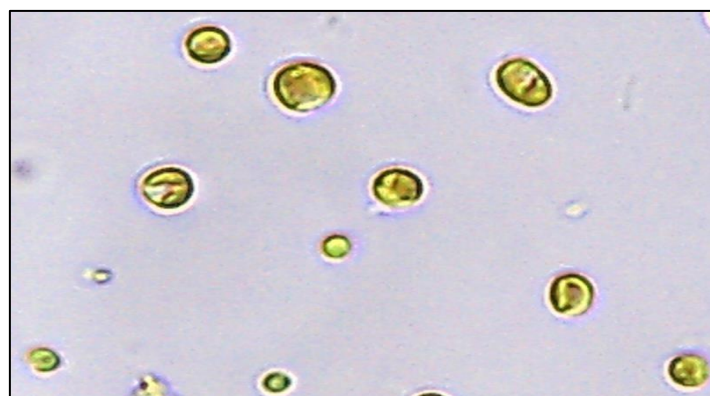


Figura 3

*Cámara de cultivo de *Isochrysis aff. galbana**



Mantenimiento del cultivo

Limpieza, desinfección y esterilización.

Previamente a la investigación, se realizó limpieza y desinfección del sistema de aireación e instalaciones utilizadas del laboratorio:

Línea de aireación.

Al inicio del sistema de aireación se ingresó 1 litro de alcohol de 96°, y para el desplazamiento del mismo a través de la tubería, se encendió el blower (0,2 HP) marca Pentair, posteriormente se apagó y dejó actuar por 24 h; transcurrido este tiempo se volvió a encender el blower para eliminar los residuos de alcohol.

Instalaciones.

Para la limpieza de los pisos, se preparó una solución de hipoclorito de sodio a concentración de 200 ppm y para las superficies de trabajo (mesas, cámara de cultivo) se empleó solución desinfectante de avlonwil a concentración de 10 mL/L de agua destilada.

Material de plástico y vidrio.

Se lavó con agua potable para eliminar impurezas y se desinfectó durante 24 h en una solución de hipoclorito de sodio. Transcurrido este tiempo se enjuagó con abundante agua potable y se dejó secar. Seco el material, se procedió a cubrir con papel kraft o papel aluminio según sea el caso; luego se esterilizó en horno marca INCASOL a 100 °C por 1 h y 2,5 h para el material de plástico y vidrio respectivamente.

Tratamiento de agua de mar.

El agua de mar fue tomada aproximadamente a 30 m del borde de orilla del mar y a 1 m de profundidad de la playa ubicada en el Distrito San José, almacenada en una bombona de 20 L de capacidad, previamente desinfectada; para luego ser filtrada con una malla nytal de 20, 5 y 1 μm y con el uso de un hervidor eléctrico se sometió a

ebullición, para eliminar los microorganismos oportunistas que interfieren negativamente en el cultivo. Posteriormente se vació el contenido del agua a las botellas de vidrio y de 1,5 L de capacidad, previamente desinfectadas y estériles para el cultivo, las cuales fueron cubiertas con papel aluminio y papel Kraft. (Figura 4).

Preparación del medio de cultivo

Para los procesos de siembra del cultivo de *Isochrysis aff. galbana* (T-ISO), se empleó el medio (F/2) de Guillard y Ryther (1962) (Tabla 1).

Diseño experimental

La hipótesis propuesta se contrastó mediante el Diseño Experimental de Estímulo Creciente, con tres tratamientos y tres repeticiones (Tabla 2). Siendo el factor la iluminación.

Cultivo de Isochrysis aff. galbana

El proceso de cultivo se dividió en 3 niveles (Figura 5):

Nivel inicial: Tubos de ensayo de 10 mL.

Nivel intermedio: Matraces de 300 mL.

Nivel final: Botellas de 1 L.

Obtención del inóculo.

La cepa de *Isochrysis aff. galbana* fue obtenida en primera instancia en volúmenes de 5 mL en 4 tubos falcon de 15 mL (Figura 6),

Figura 4

Tratamiento de agua de mar.



Nota. (A) 1° Filtración del agua. (B) Almacenamiento. (C) 2° Filtración del agua. (D) Agua de mar filtrada no estéril. (E) Esterilización del agua. (F) Vaciado del agua de mar estéril en botellas de vidrio y (G) Agua de mar estéril distribuida en botellas de vidrio.

Tabla 1

Composición del medio F/2 de Guillard y Ryther (1962)

TIPO DE SOLUCIÓN	COMPUESTO	PREPARACIÓN DE NUTRIENTES	CANTIDAD A USAR
SOLUCIÓN STOCK (g/L)			
MACRONUTRIENTES	NaNO ₃	75	1,0 mL
	NaH ₂ PO ₄ H ₂ O	0,5	1,0 mL
SOLUCIÓN STOCK (g/L)			
MICRONUTRIENTES	EDTA	-	4,36 g/L
	FeCl ₂ ,6H ₂ O	-	3,15 g/L
	CuSO ₄ ,5H ₂ O	9,8	
	Na ₂ MoO ₄ ,2H ₂ O	6,3	
	ZnSO ₄ ,7H ₂ O	22,0	
	CoCl ₂ ,6H ₂ O	10,0	
	MnCl ₂ ,4H ₂ O	180,0	
SOLUCIÓN METALES TRAZAS	Solución de metales trazas	-	1,0 mL
SOLUCIÓN DE VITAMINAS	Cianocobalamina (B12)	0,1	
	Biotina	0,1	
	Thiamina		0,2 g/L
	Solución de vitaminas	-	1,0 mL

Fuente: Fernández (2016)

Nota. Para las microalgas flageladas no se emplea silicato de sodio.

Tabla 2

Diseño Experimental de Estímulo Creciente con tres tratamientos y tres repeticiones.

Cultivo	<i>Isochrysis affinis galbana</i>											
	Control			T1			T2			T3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<i>Iluminación</i>	Luz fluorescente 18 W			Luz LED 9 W			Luz LED 14 W			Luz LED 18 W		
<i>Medio de cultivo</i>	Guillard F/2			Guillard F/2			Guillard F/2			Guillard F/2		
<i>Vol. de siembra</i>	300 mL			300 mL			300 mL			300 mL		
<i>Densidad celular (cél/mL)</i>	1,57 x10 ⁶			1,57 x10 ⁶			1,57 x10 ⁶			1,57 x10 ⁶		
<i>Nota.</i> R: repetición. Elaboración propia (2022)												

Figura 5

Esquema de cultivo de *Isochrysis aff. galbana*. Cultivo inicial (A). Cultivo intermedio(B). Cultivo final(C).

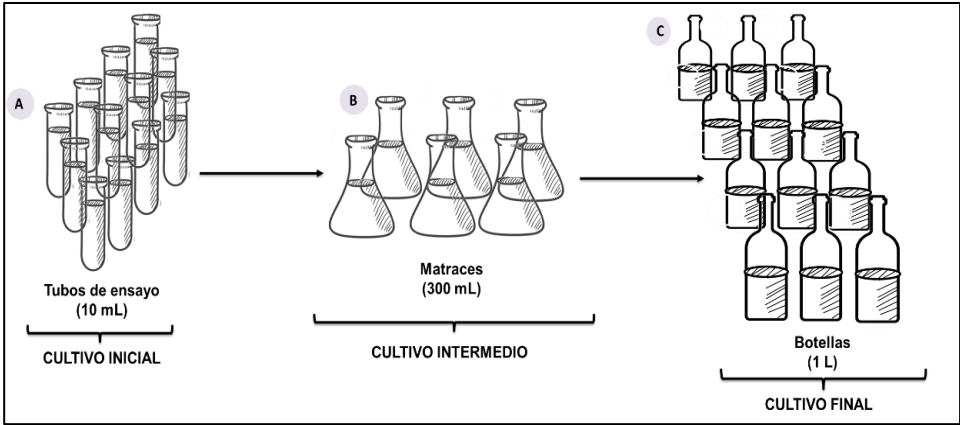
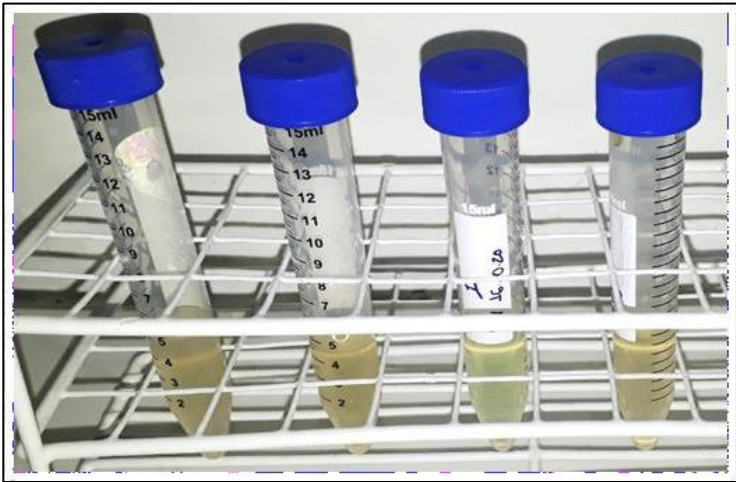


Figura 6

Cepa de *Isochrysis aff. galbana*.



la cual fue replicada a tubos de ensayo de 20 mL, añadiendo 1mL de muestra por cada 9 mL de agua nutrida, para cubrir los tubos se emplearon taparrosca previamente esterilizadas y posterior a ello los inóculos se llevaron al área de cepario con iluminación constante (1000-2000 lux) y un rango de temperatura entre 20°C a 22° C por un periodo de tiempo de 7 días, realizando una agitación manual diariamente (Figura 7).

Secuencia de siembra y desarrollo del cultivo.

La secuencia de siembra se llevó a cabo a partir de la obtención de inóculos replicados en volúmenes de 10 mL, los cuales fueron elevados de la siguiente manera:

Siembra en matraces de 500 mL

Se procedió a añadir el contenido de dos tubos (cepa), al matraz y se enrazo con agua nutrida con medio Guillard (F/2) a un volumen de 300 mL, cubriéndose con papel aluminio estéril y Parafilm; proceso que se desarrolló en el cepario, por un tiempo de 6 días (Figura 8).

Siembra en botellas de 1,5 L

Finalmente; en doce botellas de vidrio de 1,5 litros de capacidad se transfirió 150 mL del inóculo resultante y 850 mL de agua nutrida con medio Guillard (F/2) hasta cubrir 1 litro de su capacidad total, se colocó varillas plásticas y tapones de jebe (Figura 9). Desarrollándose en la cámara de cultivo con aireación e iluminación constante (Figura 10).

Parámetros físico-químicos.

Temperatura Ambiental

La temperatura fue registrada tres veces al día: 8; 13 y 17 h, utilizando un termómetro marca BRIXCO de rango -40 a +50 °C y 1°C de resolución.

Figura 7

Siembra de Isochrysis aff. galbana en tubos



Figura 8

Cultivo de Isochrysis aff. galbana en matraces de 500 mL

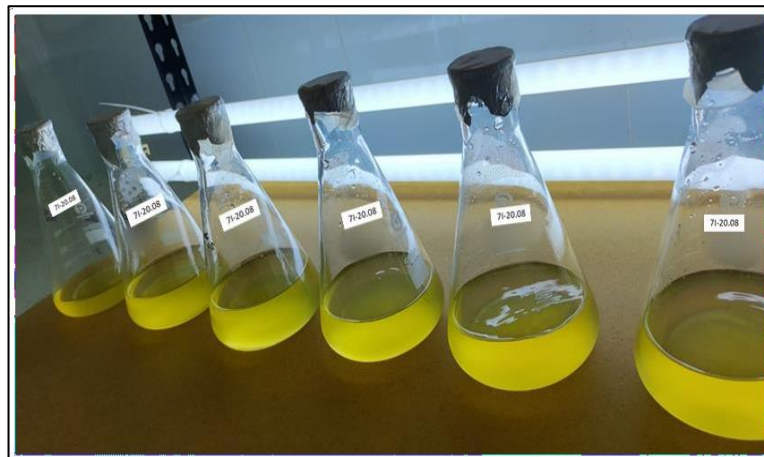
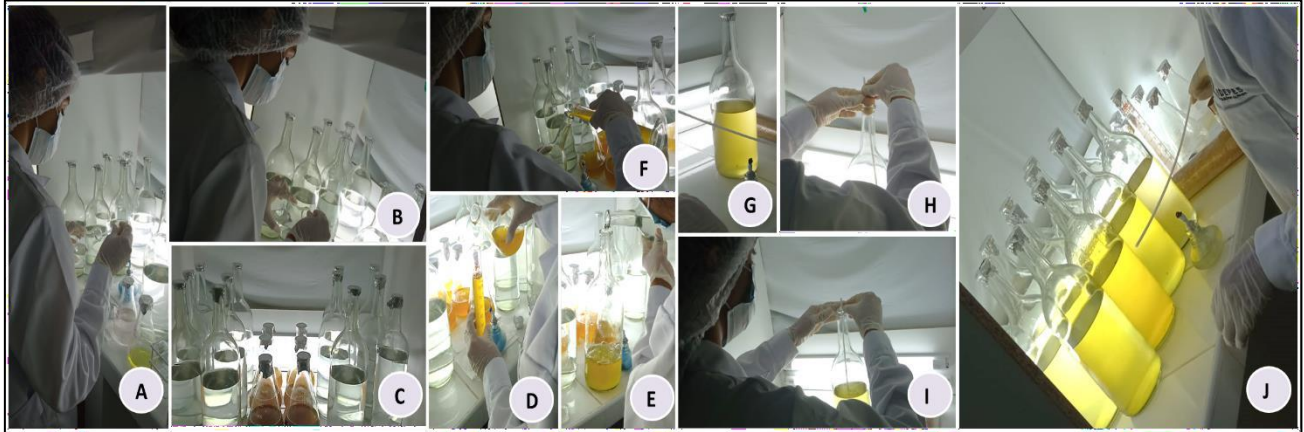


Figura 9

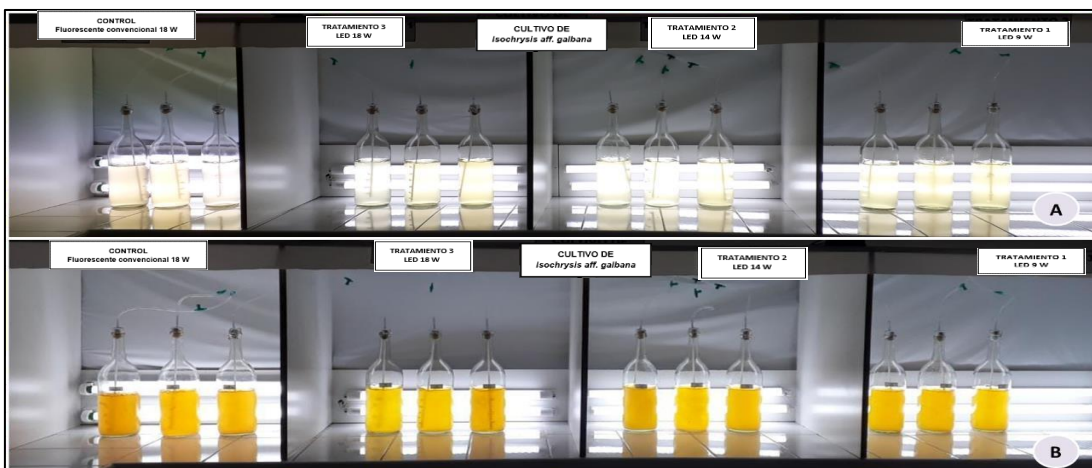
Siembra en Botellas de 1.5 L



Nota. Botella nutrida con Guillard F/2 (A y B). Inóculos (matraces) (C) y botellas nutridas con medio F/2 para cultivo (D, E, F, G, H, I y J). Siembra de Isochrysis aff. galbana en botellas de 1,5

Figura 10

Cultivo de Isochrysis aff. galbana en la cámara de cultivo. Inicio del cultivo (A). Desarrollo del cultivo (B).



Temperatura del Agua

Fue registrada tres veces al día: 8; 13 y 17 h con un termómetro infrarrojo digital sin contacto, marca BENETECH, modelo GM320, con un rango de -50 a +400 ° C y $\pm 0,1$ de error.

Salinidad

Empleando un refractómetro marca BOECO con un rango 0-100 ups, se registró la salinidad una vez al día a las 8 h.

Iluminación

Las unidades experimentales se ajustaron a diferentes potencias de luz (18 W; 14 W y 9 W) a una distancia de 20 cm. Para estas potencias se registró la iluminación emitida a través del recipiente (botellas); tres veces al día: 8, 13 y 17 h; a medida que el cultivo se desarrollaba; con un luxómetro BENETECH GM1010 de rango de medición de 0 lux a 200 000 lux y exactitud de $\pm 3 \%$.

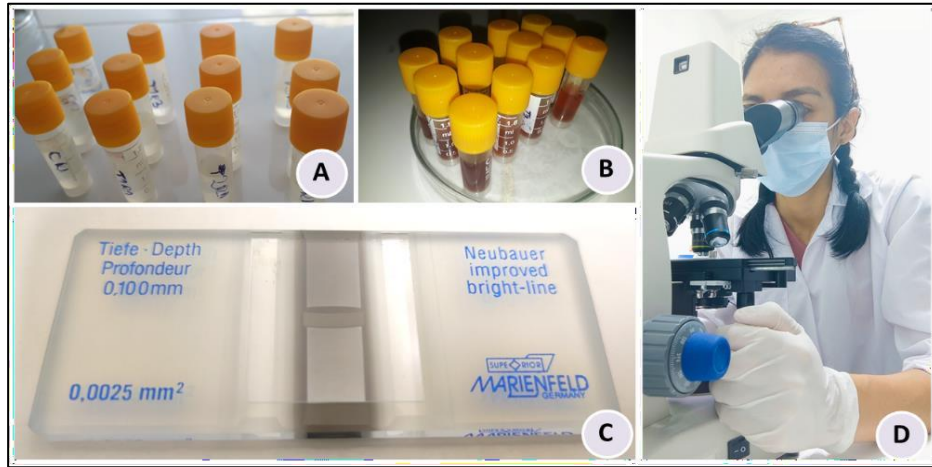
Determinación del crecimiento poblacional

El recuento celular se realizó diariamente; retirando 1 mL de muestra del cultivo en viales, para lo cual se añadió 1 gota de lugol y se homogenizó. Luego se retiró una alícuota con una pipeta Pasteur y una bombilla para la absorción rápida de la muestra, y se agregó sobre la superficie del dispositivo (Cámara de Neubauer de 0,1 mm de profundidad), previamente acondicionada; para proceder con el conteo a través del microscopio óptico binocular GREETMED EX20 a 100X (Figura 11). La densidad celular se estimó mediante la siguiente fórmula (Ynga y Niño 2019):

$$\text{Densidad (N° cél. mL}^{-1}\text{)} = (\Sigma \text{ cél. } C_a/5) * 250\,000$$

Figura 11

Recuento celular



Nota. Muestras extraídas al inicio y desarrollo del cultivo (A y B). Cámara de conteo celular: Neubauer(C). Conteo de la densidad celular con el uso del microscopio (D).

Donde:

Ca: Suma de células de la diagonal central de la cámara de Neubauer

Posteriormente se usó el modelo matemático de Gompertz modificado (Castro et al. 2008) para determinar el desarrollo del crecimiento de *Isochrysis aff. galbana*.

$$\text{Log } N_t = A + C \cdot \exp(-\exp(-B(t-M)))$$

Donde:

Log : Logaritmo decimal de los recuentos celulares iniciales (log.

Nt cél/mL).

A : Fase de adaptación o de latencia en horas.

C : Logaritmo decimal de la diferencia entre la población inicial y final de la fase estacionaria (log. cél/mL).

M : Tiempo requerido para alcanzar la máxima velocidad de crecimiento (horas).

B : velocidad de crecimiento relativo al tiempo M en (horas).

A través del software Statistic 19,0 se determinaron las constantes indicadas, permitiendo calcular los valores de los parámetros poblacionales de crecimiento, con las siguientes fórmulas:

$$\mu_{\text{máx.}} = B * C/e$$

$$\lambda = M-1/B$$

$$T_g = \ln 2 / \mu$$

$$MDP = A+C$$

Donde:

$\mu_{\text{máx.}}$: Velocidad máxima específica de crecimiento, dada en (log cél/mL)
y e = 2,7182.

λ : Fase de adaptación o de latencia en horas.

T_g : Tiempo de generación en horas

MDP : Máxima densidad poblacional dado en (log. cél/mL).

Análisis estadístico de datos

Para el procesamiento de los datos se empleó una laptop HP con procesador Intel COREL i5-sistema operativo Windows 10, haciendo el uso de los programas: EXCEL 2013 y MINITAB 20, mediante la aplicación de ANOVA simple (Ostle,1994) con un nivel de significancia de 0,05 el cual permitió determinar el efecto de las repeticiones sobre la densidad celular de *Isochrysis aff. galbana* en este modelo de predicción:

$$Y_{ij} = U + A_i + E_{ij}$$

Luego, se estimó el promedio de cada tratamiento y se aplicó el análisis de varianza para un modelo factorial de dos factores fijos (Ostle, 1994):

$$Y_{ijk} = U + A_i + B_j + (AB)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ij}** : Una medición cualquiera
U : Número de células /mL
A : Efecto del factor iluminación sobre el crecimiento de *Isochrysis aff. galbana*
B_j : Efecto del factor tiempo sobre el crecimiento de *Isochrysis aff. galbana*
(AB)_{ij} : Efecto de la interacción de los dos factores (iluminación y tiempo) sobre el crecimiento de la microalga
E_{ij} : Error experimental

Se plantearon las siguientes hipótesis:

Ho: El factor repeticiones, para el primer modelo y el factor iluminación, tiempo e interacción para el segundo modelo no afectan el crecimiento de *Isochrysis aff. galbana*.

Ha: El factor repeticiones, para el primer modelo y el factor iluminación, tiempo e interacción para el segundo modelo si afectan el crecimiento de *Isochrysis aff. galbana*.

Las decisiones se tomaron teniendo en cuenta lo siguiente:

Aceptar Ho si P es mayor que 0,05

Aceptar Ha si P es menor o igual que 0,05

Con la prueba de rangos múltiples de Tukey se determinó las medias de la densidad celular de los tratamientos y control.

Resultados

Crecimiento de *Isochrysis aff. galbana*

Una vez completado el cultivo, los tratamientos mostraron un aumento exponencial en la concentración celular hasta el quinto día con poca diferencia entre réplicas, luego del cual comenzó la fase de inhibición. Sin embargo, a partir de la densidad celular diaria, se desprende claramente que el T3 (luz LED de 18 W) superó a los otros tratamientos (Tabla 3 y Anexo 3).

El ANOVA reveló que las diferencias entre réplicas no fueron estadísticamente significativas ($p: 0,844$; $p>0,05$), siendo el T3 el que tuvo la mayor concentración celular/mL.

En la Tabla 4 se establece el promedio de las repeticiones para cada tratamiento, evidenciando notablemente que la mayor concentración de cél. mL^{-1} se obtuvo en el T3.

La evaluación gráfica de la densidad algal media diaria, mostró que las diferencias a favor del tratamiento antes mencionado, aparecieron a partir del primer día (Figura 12). Esto fue confirmado mediante análisis de varianza, el cual determinó que el crecimiento se vió afectado por la intensidad de la luz y el tiempo, mas no por la interacción de estos dos factores ($p:0,00$; $p:0,00$ y $p:0,304$), respectivamente.

Según los resultados estadísticos de la prueba de Tukey (Figura 13), la población de *Isochrysis aff. galbana* se desarrolló más rápidamente para el T3, mejor que el T1, T2 y Control; además, se confirmó que no hubo diferencias apreciables entre T2, T3 y el Control.

Tabla 3

Densidad celular (cél.mL⁻¹) de Isochrysis aff. galbana en las repeticiones para cada tratamiento.

Tratamientos	Repeticiones	Tiempo (d)										
		Inicio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T1	R1	1,60x10 ⁶	2,65 x10 ⁶	5,00 x10 ⁶	6,40 x10 ⁶	7,60 x10 ⁶	8,40 x10 ⁶	7,65 x10 ⁶	7,40 x10 ⁶	7,20 x10 ⁶	6,55 x10 ⁶	5,75 x10 ⁶
	R2	1,55x10 ⁶	2,70 x10 ⁶	5,10 x10 ⁶	6,45 x10 ⁶	7,65 x10 ⁶	8,50 x10 ⁶	7,40 x10 ⁶	7,10 x10 ⁶	7,00 x10 ⁶	5,90 x10 ⁶	4,40 x10 ⁶
	R3	1,55 x10 ⁶	2,85 x10 ⁶	5,15 x10 ⁶	6,25 x10 ⁶	7,75 x10 ⁶	8,35 x10 ⁶	7,55 x10 ⁶	6,75 x10 ⁶	7,30 x10 ⁶	5,65 x10 ⁶	5,45 x10 ⁶
T2	R1	1,60 x10 ⁶	3,10 x10 ⁶	5,75 x10 ⁶	6,95 x10 ⁶	8,15 x10 ⁶	8,10 x10 ⁶	8,15 x10 ⁶	7,90 x10 ⁶	7,00 x10 ⁶	6,90 x10 ⁶	5,15 x10 ⁶
	R2	1,55 x10 ⁶	2,70 x10 ⁶	5,40 x10 ⁶	6,80 x10 ⁶	7,70 x10 ⁶	8,60 x10 ⁶	8,25 x10 ⁶	7,20 x10 ⁶	7,30 x10 ⁶	6,90 x10 ⁶	5,35 x10 ⁶
	R3	1,55 x10 ⁶	3,55 x10 ⁶	5,15 x10 ⁶	7,10 x10 ⁶	8,40 x10 ⁶	8,75x10 ⁶	8,20 x10 ⁶	7,85 x10 ⁶	7,40 x10 ⁶	6,40 x10 ⁶	4,85 x10 ⁶
T3	R1	1,55 x10 ⁶	4,10 x10 ⁶	6,10 x10 ⁶	7,75 x10 ⁶	9,55 x10 ⁶	9,35 x10 ⁶	9,50 x10 ⁶	9,25 x10 ⁶	8,75 x10 ⁶	7,40 x10 ⁶	6,40 x10 ⁶
	R2	1,60 x10 ⁶	3,55 x10 ⁶	6,50 x10 ⁶	7,10 x10 ⁶	9,05 x10 ⁶	9,65 x10 ⁶	9,45 x10 ⁶	9,00 x10 ⁶	8,45 x10 ⁶	7,25 x10 ⁶	5,65 x10 ⁶
	R3	1,55 x10 ⁶	3,70 x10 ⁶	6,30 x10 ⁶	7,80 x10 ⁶	9,15 x10 ⁶	9,30 x10 ⁶	9,05 x10 ⁶	8,60 x10 ⁶	8,25 x10 ⁶	7,10 x10 ⁶	4,90 x10 ⁶
CONTROL	R1	1,60 x10 ⁶	3,50 x10 ⁶	5,80 x10 ⁶	7,40 x10 ⁶	8,80 x10 ⁶	8,90 x10 ⁶	8,90 x10 ⁶	8,30 x10 ⁶	7,90 x10 ⁶	6,40 x10 ⁶	4,85 x10 ⁶
	R2	1,55 x10 ⁶	3,25 x10 ⁶	6,05 x10 ⁶	7,50 x10 ⁶	8,20 x10 ⁶	8,80 x10 ⁶	8,35 x10 ⁶	8,00 x10 ⁶	7,90 x10 ⁶	6,10 x10 ⁶	5,05 x10 ⁶
	R3	1,55 x10 ⁶	3,10 x10 ⁶	5,40 x10 ⁶	7,20 x10 ⁶	7,65 x10 ⁶	8,60 x10 ⁶	8,40 x10 ⁶	8,00 x10 ⁶	7,15 x10 ⁶	6,75 x10 ⁶	5,65 x10 ⁶

Tabla 4

Crecimiento promediado de Isochrysis aff. galbana, cultivada bajo iluminación LED y un control (Fluorescente convencional) en el Laboratorio de Bioperú vida.

Tiempo (horas)	Promedio diario			
	T1	T2	T3	CONTROL
Inicio	1,57 x10 ⁶	1,57 x10 ⁶	1,57 x10 ⁶	1,57 x10 ⁶
1	2,73 x10 ⁶	3,12 x10 ⁶	3,78 x10 ⁶	3,28 x10 ⁶
2	5,08 x10 ⁶	5,43 x10 ⁶	6,30 x10 ⁶	5,75 x10 ⁶
3	6,37 x10 ⁶	6,95 x10 ⁶	7,88 x10 ⁶	7,37 x10 ⁶
4	7,67 x10 ⁶	8,08 x10 ⁶	9,25 x10 ⁶	8,22 x10 ⁶
5	8,42 x10 ⁶	8,48 x10 ⁶	9,43 x10 ⁶	8,77 x10 ⁶
6	7,53 x10 ⁶	8,20 x10 ⁶	9,33 x10 ⁶	8,55 x10 ⁶
7	7,08 x10 ⁶	7,65 x10 ⁶	8,95 x10 ⁶	8,10 x10 ⁶
8	7,17 x10 ⁶	7,23 x10 ⁶	8,48 x10 ⁶	7,65 x10 ⁶
9	6,03 x10 ⁶	6,73 x10 ⁶	6,92 x10 ⁶	6,42 x10 ⁶
10	5,17 x10 ⁶	5,12 x10 ⁶	5,65 x10 ⁶	5,18 x10 ⁶

Figura 12

Variación promediada del crecimiento diario de Isochrysis aff. galbana en cada tratamiento cultivada bajo iluminación LED y un control en el Laboratorio de Bioperú vida

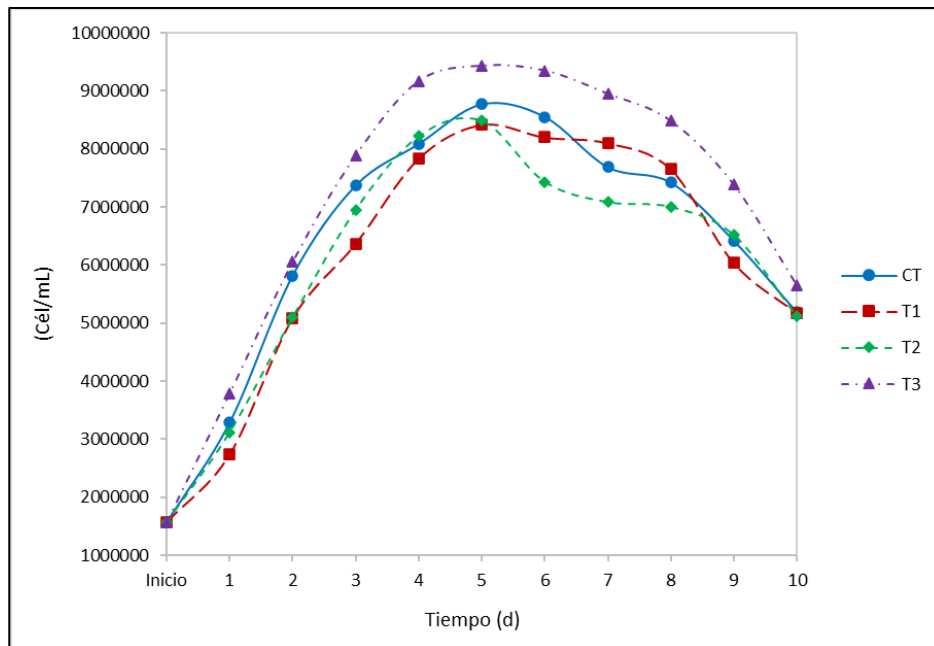
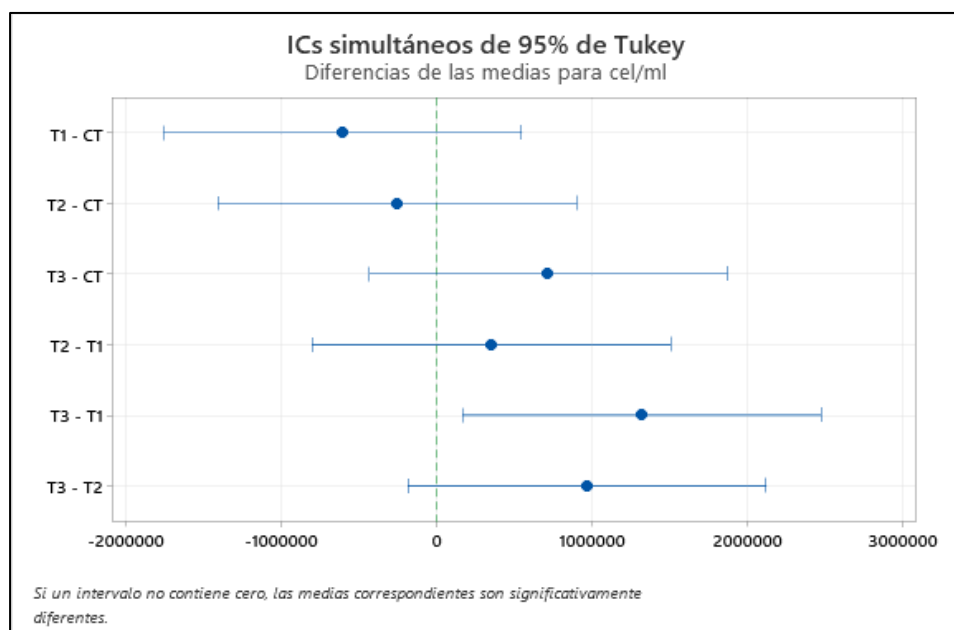


Figura 13

Diferencias de las medias para el número de células de los tratamientos de Isochrysis aff. galbana, cultivada en el Laboratorio de Bioperú vida



Cinética de *Isochrysis aff. galbana*

Siguiendo el ajuste del modelo exponencial Gompertz modificado (Castro et al. 2008), se calcularon los parámetros C, B y M (Tabla 5). El buen acoplamiento de los datos a este modelo matemático, se reflejó en los valores de correlación que fluctuaron de 0,9954 a 0,9978.

En relación a la velocidad de crecimiento (B), esta fue superior para el T3 0,0567 log (cél. mL⁻¹/h) (iluminación LED de 18 W) y en segundo orden el Control (Tabla 5).

Además, se observó que el T3: 19,45 h, tardó menos tiempo que el T1: 25,35 h (registro más alto); para alcanzar la máxima velocidad de crecimiento (M); en general, los tratamientos T2, T3 y el Control, alcanzaron sus picos más altos que T1.

Tabla 5

Parámetros obtenidos a partir del modelo Gompertz y parámetros poblacionales de crecimiento de Isochrysis aff. galbana, cultivada en diferentes tratamientos en el Laboratorio de Bioperú vida

Parámetros	T1	T2	T3	CONTROL
A	6,1950	6,1950	6,1950	6,1950
R	0,9940	0,9925	0,9994	0,9947
C	0,6899	0,7137	0,7658	0,7295
B	0,0527	0,0531	0,0567	0,0550
M	25,3537	22,5755	19,4510	21,5974
μ _{máx.}	0,0134	0,0140	0,0160	0,0148
λ	6,3863	3,7559	1,8246	3,4238
Tg	51,7985	49,6852	43,3695	46,9348
MDP	6,8849	6,9086	6,9607	6,9245
k	2,29	2,37	2,54	2,42

Nota. A: logaritmo decimal de los recuentos celulares iniciales log (cél/mL); R: coeficiente de correlación; C, B y M: parámetros de la ecuación del Modelo de Gompertz; μ_{máx.}: Velocidad máxima de crecimiento log (cél/mL/h); λ: Duración de la fase de latencia (h); Tg: Tiempo de generación (h); MDP: Máxima densidad poblacional log (cél/mL), k: Tasa de crecimiento específico (div, día⁻¹)

Paralelamente el mayor número de células logradas en la fase estacionaria para la constante de crecimiento C, ocurrió en T3: 0,7657 log (cél. mL⁻¹), registrando menores medidas para el Control: 0,7296 log (cél. mL⁻¹) seguido del T2: 0,7137 y finalmente para el T1: 0,6899 log (cél. mL⁻¹) (Tabla 5). Como resultado existe una correlación indirecta para T1, T2, T3 y el Control entre los parámetros C y M, lo que permite confirmar que alcanza el mayor número de células en el menor tiempo (Figura 14).

En adelante se procedió a determinar las fases de cultivo para cada tratamiento, a través del análisis de las curvas de crecimiento de *Isochrysis aff. galbana* (Figura 15). Distinguiéndose que la Fase de Adaptación ocurrió desde el inicio del cultivo, hasta las 6,39 h (T1), 3,76 (T2), 1,82 h (T3) y 3,42 h para el control; la Fase Logarítmica (exponencial) se extendió desde las 6,5 h hasta las 50 h aproximadamente, seguido de la Fase Estacionaria que inició alrededor de las 92 h (T3) y 100 h T1, T2 y Control y finalmente se inicia la Fase de Muerte.

En comparación a los demás tratamientos y el Control, el T3 produjo mayor número de células (9,43x10⁶cél. mL⁻¹) durante la Fase Logarítmica.

En cuanto a los parámetros de crecimiento poblacional, se aprecia que la máxima velocidad de crecimiento específico se presentó en el T3: 0,0160 log (cél. mL⁻¹/h) y la menor T1: 0,0134 log (cél. mL⁻¹. h⁻¹); teniendo en cuenta también que el control: 0,0148 log (cél. mL⁻¹. h⁻¹) tiene una velocidad de crecimiento específico mayor al T1 y T2. El tiempo de generación más largo se observa en el T1 (51,7985 h) y el menor, en el T3 (43,3695 h) (Tabla 5 y Figura 16).

Por consiguiente, *Isochrysis aff. galbana* alcanzó la mayor densidad de población en el T3: 6,9607 log (cél. mL⁻¹) y la menor cantidad en el T1: 6,8849 log

Figura 14

Variación de los parámetros C y M del modelo de Gompertz por tratamiento de *Isochrysis aff. galbana*, cultivada en el Laboratorio Bioperú vida

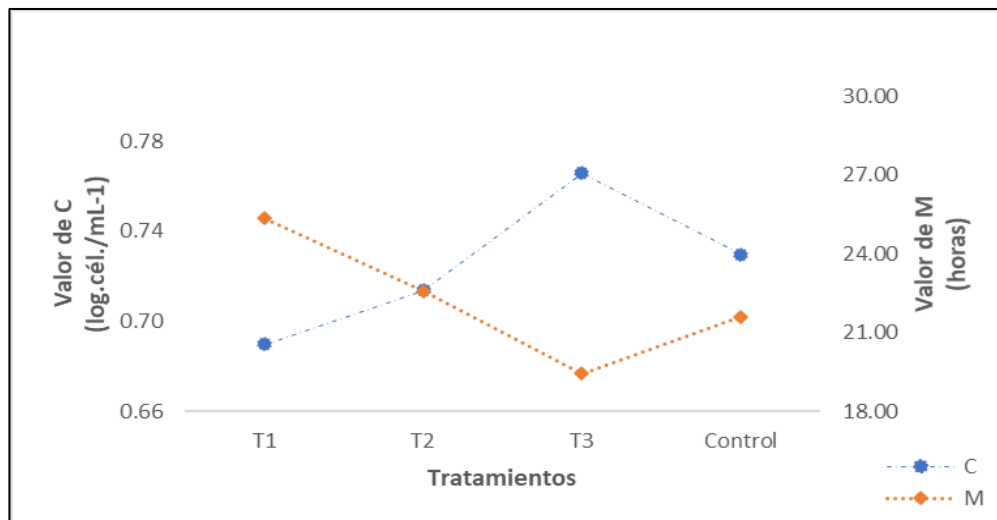


Figura 15

Curvas de crecimiento del modelo Gompertz por tratamiento de *I. aff. galbana* cultivada en el Laboratorio de Bioperú vida, Lambayeque.

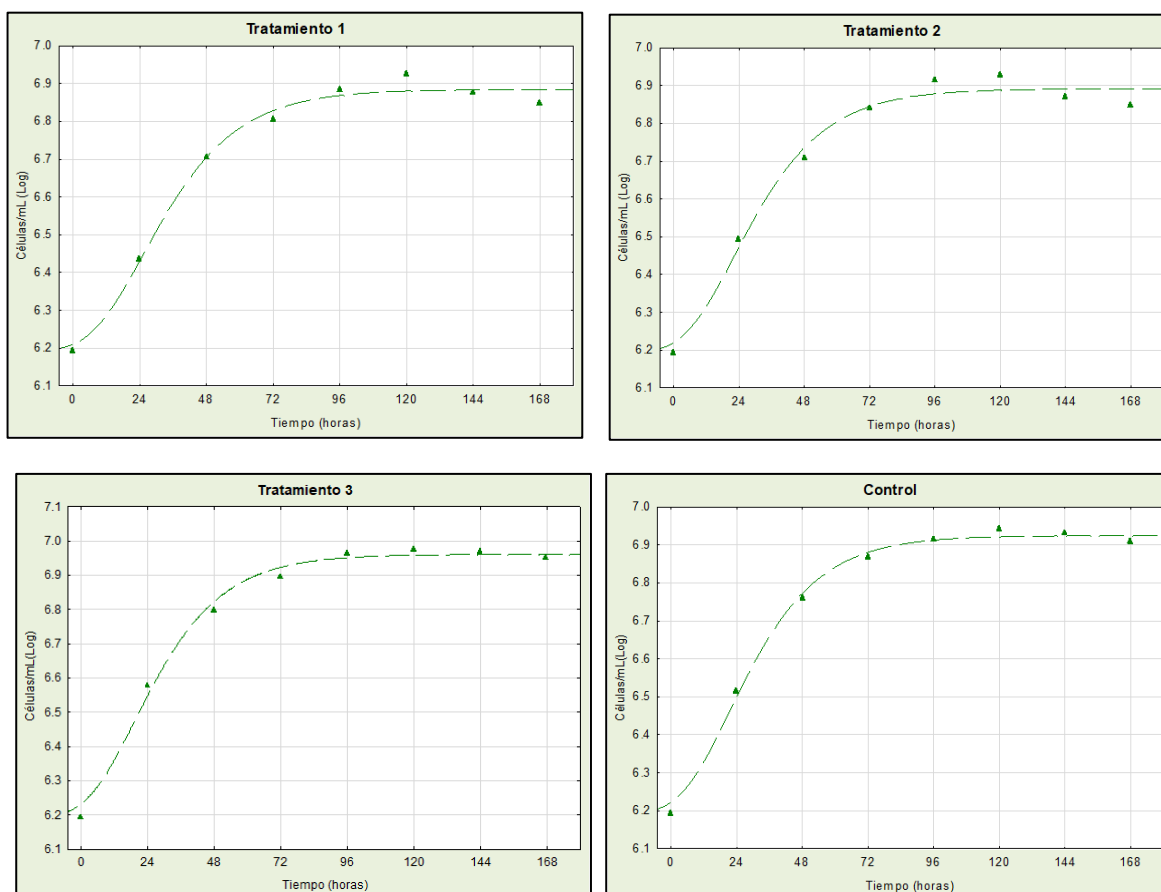
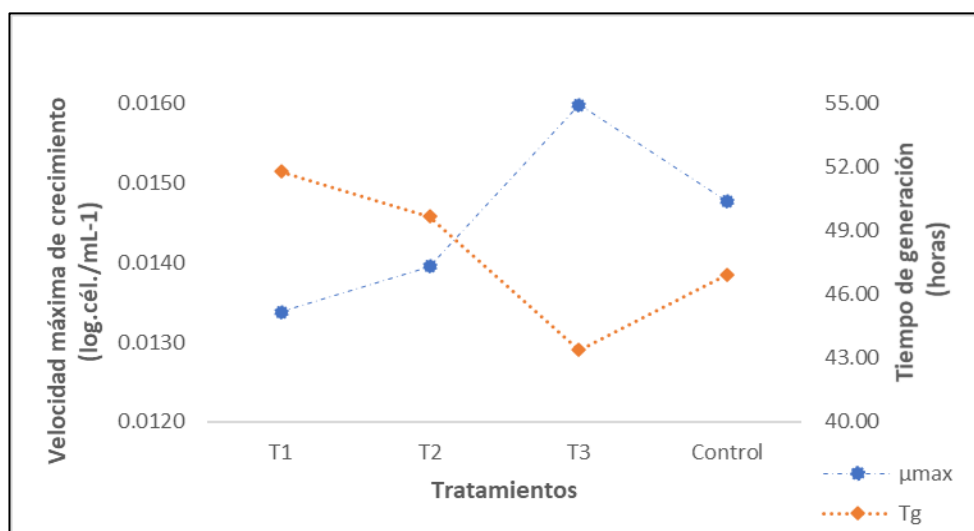


Figura 16

Velocidad máxima de crecimiento y Tiempo de generación de Isochrysis aff. galbana, cultivada en diferentes tratamientos, en el Laboratorio de Bioperú vida

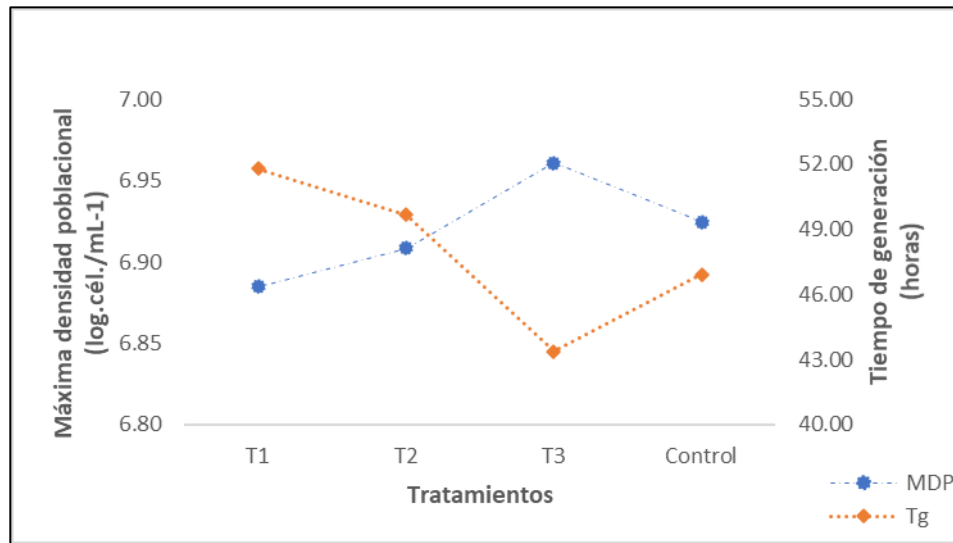


(cél. mL⁻¹), notándose también cifras menores para el T2 en relación al Control (Tabla 5 y Figura 17).

El análisis de Densidad de Población Máxima y el Tiempo de generación (Figura 17), revela una relación indirecta entre estos dos parámetros para todos los

Figura 17

Máxima densidad poblacional y Tiempo de generación de Isochrysis aff. galbana, cultivada en diferentes tratamientos, en el Laboratorio de Bioperú vida



tratamientos y control, aumentando la densidad de población a medida que disminuye el tiempo de generación y viceversa.

Temperatura

Temperatura ambiental

Los valores de la temperatura ambiental promedio diariamente, mostraron una tendencia similar (Tabla 6). El comportamiento promedio de la temperatura ambiental en general para la sala de cultivo osciló entre 26,70°C a 29,30°C.

Temperatura del agua de cultivo

Con respecto a los valores registrados en las repeticiones para cada tratamiento, se puede observar que la diferencia numérica es mínima (Tabla 7), siendo reflejados en la temperatura promedio del agua de cultivo (Figura 18); la cual tuvo una tendencia a aumentar desde el inicio del cultivo (28,13 °C) hasta el segundo día (29,34°C), para posteriormente disminuir hasta el quinto día (28,00°C) y en adelante continuar nuevamente con un comportamiento ascendente hasta el término del cultivo.

Salinidad

Las concentraciones de salinidad aumentaron ligeramente entre tratamientos y repeticiones (Tabla 8), siendo este comportamiento más notable a partir del quinto día hasta el final del cultivo con una tendencia promedio entre 35,93 a 37,40 ups (Figura 19).

Intensidad Lumínica

Se observó que la intensidad lumínica tuvo una tendencia a disminuir para todos los tratamientos hasta el quinto día y posteriormente el comportamiento empezó a incrementar a partir del sexto día hasta el final del cultivo (Tabla 9), promediando un rango mínimo de (907 lux) y un máximo de (1990 lux) (Figura 20).

Tabla 6

Temperatura ambiental promedio en la sala de cultivo de Isochrysis aff. galbana, en el Laboratorio de Bioperú vida.

Tiempo (horas)	Temperatura ambiental sala de cultivo (°C)			
	08:00 h	13:00 h	17:00 h	PROMEDIO
Inicio	26,70	26,90	27,00	26,87
1	28,00	29,00	28,60	28,53
2	27,00	27,60	27,10	27,23
3	26,50	26,80	27,00	26,77
4	26,70	26,90	26,80	26,80
5	26,70	26,60	26,80	26,70
6	26,50	26,90	26,70	26,70
7	26,90	27,00	26,60	26,83
8	26,90	27,00	27,60	27,17
9	28,50	29,90	29,50	29,30
10	28,50	29,90	29,30	29,23

Tabla 7

Temperatura del agua diaria en las repeticiones de cada tratamiento, en el cultivo de Isochrysis aff. galbana, en el Laboratorio de Bioperú vida

Tiempo (horas)	Temperatura del agua (°C)											
	T1R1	T1R2	T1R3	T2R1	T2R2	T2R3	T3R1	T3R2	T3R3	CR1	CR2	CR3
Inicio	28,17	28,13	28,20	28,40	28,40	28,37	28,60	28,70	28,67	29,03	29,00	28,97
1	29,27	29,23	29,30	28,77	28,80	28,80	29,20	29,20	29,20	29,33	29,33	29,30
2	28,97	28,93	29,00	29,17	29,13	29,17	29,27	29,27	29,20	29,33	29,43	29,27
3	28,23	28,20	28,27	28,23	28,23	28,20	28,70	28,67	28,73	29,07	29,20	29,13
4	27,90	27,87	28,23	28,07	28,07	28,03	28,53	28,57	28,60	28,97	29,07	28,97
5	28,10	28,07	28,13	28,20	28,17	28,23	28,37	28,40	28,40	28,57	28,80	28,70
6	28,17	28,13	28,20	28,43	28,27	28,27	28,77	28,80	28,73	28,77	28,73	28,80
7	28,73	28,63	28,73	29,23	28,90	28,87	28,73	28,73	28,73	28,73	28,73	28,73
8	28,73	28,63	28,73	28,57	29,00	29,00	28,80	28,93	28,90	28,77	28,67	28,73
9	29,00	28,97	29,03	29,40	29,43	29,47	29,40	29,37	29,63	29,47	29,40	29,40
10	29,33	29,30	29,37	29,90	29,93	29,87	29,67	29,60	29,63	29,37	29,37	29,33

Figura 18

Promedio diario de la Temperatura del agua de cultivo para cada tratamiento, en el cultivo de Isochrysis aff. galbana, en el Laboratorio de Bioperú vida.

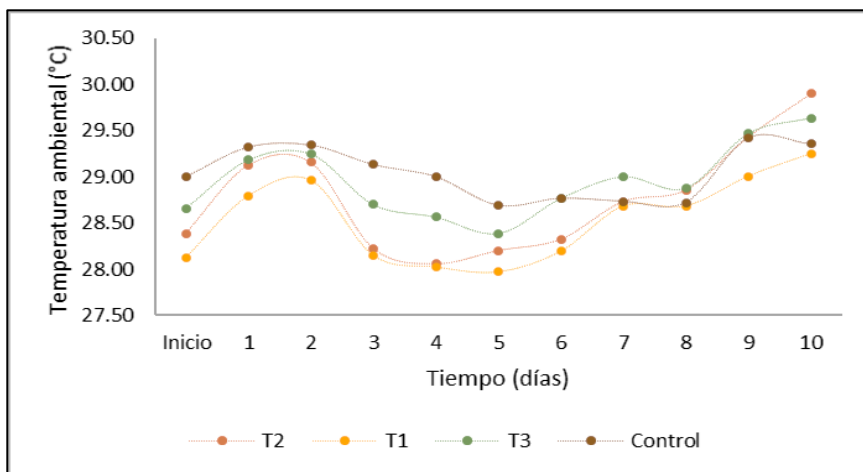


Tabla 8

Salinidad diaria en las repeticiones de cada tratamiento, en el cultivo de Isochrysis aff. galbana, en el Laboratorio de Bioperú vida, Lambayeque.

Tiempo (horas)	Salinidad (ups)											
	T1R1	T1R2	T1R3	T2R1	T2R2	T2R3	T3R1	T3R2	T3R3	CR1	CR2	CR3
Inicio	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00
1	36,40	36,30	36,30	36,40	36,30	36,30	36,40	36,40	36,30	36,40	36,30	36,30
2	36,50	36,40	36,40	36,70	36,60	36,60	36,60	36,60	36,50	36,60	36,50	36,50
3	36,20	36,10	36,10	36,30	36,20	36,20	36,50	36,40	36,40	36,40	36,30	36,30
4	36,20	36,10	36,10	36,20	36,10	36,10	36,40	36,30	36,30	36,30	36,20	36,20
5	36,00	35,90	35,90	36,10	36,00	36,00	36,30	36,20	36,20	36,20	36,10	36,10
6	36,20	36,10	36,20	36,30	36,20	36,30	36,40	36,40	36,40	36,40	36,30	36,40
7	36,30	36,20	36,30	36,40	36,30	36,40	36,50	36,50	36,50	36,70	36,50	36,70
8	36,40	36,20	36,40	36,50	36,40	36,50	36,50	36,50	36,50	36,60	36,50	36,60
9	36,70	36,60	36,70	37,10	37,00	37,10	37,30	37,30	37,30	37,10	37,00	37,10
10	37,10	37,00	37,10	37,10	37,30	37,10	37,40	37,40	37,40	37,40	37,30	37,40

Figura 19

Promedio diario de Salinidad para cada tratamiento, en el cultivo de Isochrysis aff. galbana, en el Laboratorio de Bioperú vida.

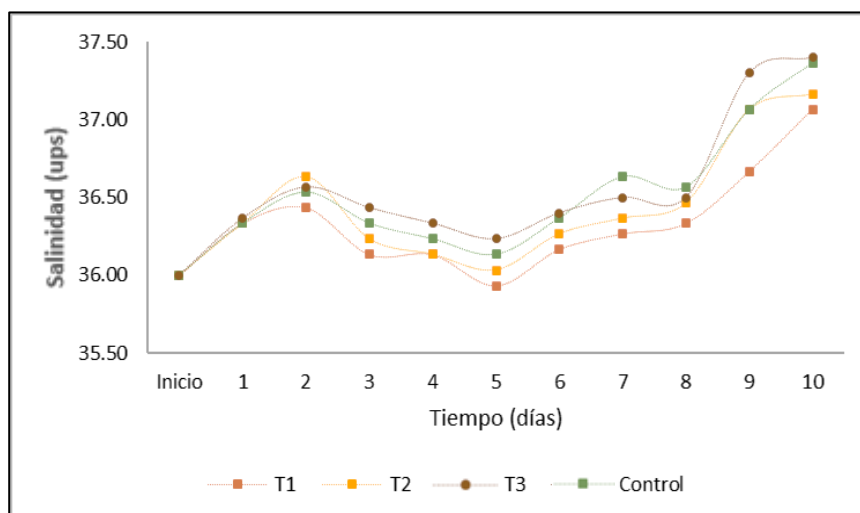


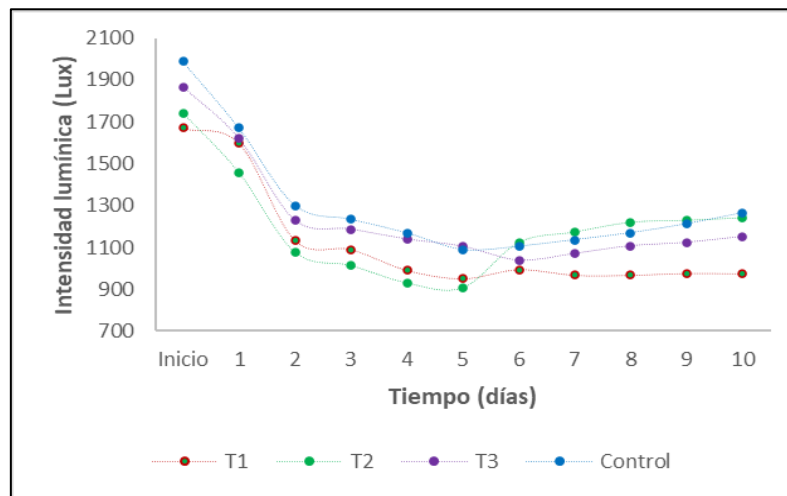
Tabla 9

Intensidad lumínica diaria para cada tratamiento, en el cultivo de Isochrysis aff. galbana, en el Laboratorio de Bioperú vida

Tiempo (horas)	Intensidad lumínica (Lux)											
	T1			T2			T3			Control		
	8 h	13 h	17 h	8 h	13 h	17 h	8 h	13 h	17 h	8 h	13 h	17 h
Inicio	1670	1670	1670	1750	1760	1720	1870	1850	1880	1990	1990	1990
1	1662	1501	1635	1527	1448	1399	1607	1653	1602	1778	1604	1633
2	1123	1128	1152	1140	1071	1020	1267	1237	1184	1383	1239	1280
3	993	1128	1152	947	1071	1020	1139	1237	1184	1183	1239	1280
4	993	990	990	947	921	921	1139	1138	1140	1177	1160	1170
5	948	952	952	912	904	904	1100	1110	1103	1172	1047	1047
6	966	993	1025	1100	1150	1120	1056	1083	975	1180	1070	1065
7	1009	918	974	1150	1200	1170	1074	1097	1040	1200	1110	1100
8	1009	918	974	1200	1250	1210	1124	1107	1090	1220	1150	1140
9	1000	957	972	1207	1260	1220	1135	1120	1115	1250	1200	1190
10	1003	960	960	1225	1270	1230	1165	1150	1140	1300	1250	1250

Figura 20

Promedio diario de Intensidad lumínica para cada tratamiento, en el cultivo de Isochrysis aff. galbana, en el Laboratorio de Bioperú vida



Discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, se acepta la hipótesis planteada en el proyecto que sostuvo que el crecimiento de *Isochrysis affinis galbana* será mayor con la más alta intensidad de diodos emisores de luz (LEDs), puesto que el mayor crecimiento y producción se obtuvo con la intensidad lumínica más alta correspondiente al Tratamiento 3 (Led de 18 Watts); lo cual fue ratificado por el análisis de varianza, prueba de Tukey y los parámetros poblacionales del modelo de Gompertz modificado (Castro et al., 2008), que estableció para el T3, la mayor velocidad de crecimiento específico, menor tiempo de generación, menor tiempo para alcanzar la máxima velocidad específica y mayor densidad poblacional, difiriendo de la iluminación LED de 9, 14 y el Control de 18 Watts. Hecho que se explicaría porque la mezcla de los elementos en las capas de diodos emisores de luz a concentraciones de luminosidad óptimas (1867 lux) son excelentes para un mejor comportamiento exponencial de la microalga, el cual se ve reflejado a nivel de densidades. Corroborándose estos resultados con el trabajo de Velasco et al. (2009), quienes determinaron que la densidad celular depende en forma directa de la intensidad lumínica; la cual interactúa con la temperatura provocando diferentes efectos en la densidad algal, demostrando que a intensidades altas (1024 lux), aumenta la biomasa microalgal, de la mano con el factor temperatura (28°C) y que, por el contrario, a una baja iluminación (24 lux) el cultivo tiende a decrecer.

Aunque todas las intensidades empleadas de luz LED y luz fluorescente para cada tratamiento y el control, en el orden dado, mostraron un buen comportamiento para *Isochrysis aff. galbana*, Hernández et al. (2014) reporta que se obtienen mejores resultados con la combinación de ambos tipos de luz (fluorescente y LED), incrementando en un 50% la intensidad luminosa al pasar esta por la base de FBR y

en un 160%, en la superficie al ser emitida a una determinada distancia; a su vez indica que como mínimo deben de tener un aproximado 2500 lux para realizar sus funciones metabólicas.

González et al. (s.f), sostienen que los mejores resultados a nivel de recuento celular y biomasa microalgal para *Isochrysis* (T-ISO) se lograron con luz fluorescente 58 W (5000 lux) y en menor cuantía para la iluminación con luz LED 22 W (1900 lux); sin embargo, no descartan la eficiencia de la luz LED a nivel de productividad en relación al aumento de potencia, eficacia lumínica, espectro de emisión y adaptabilidad de la especie.

La mayor producción de células en la fase estacionaria (C) se presentó en el T3, porque en este tratamiento se alcanzó la mayor velocidad de crecimiento (B) y que requirió de menor tiempo para alcanzar la máxima velocidad de crecimiento (M), que se tradujo en una acelerada multiplicación celular.

Por otro lado, la mayor densidad poblacional alcanzada en el T3, se debió a que en este tratamiento se presentó la máxima velocidad de crecimiento específico, así como el menor tiempo de generación.

Asimismo, se observa que, al disminuir el tiempo de generación, las células se multiplican exponencialmente debido a que la velocidad de crecimiento aumenta por lo que los valores de máxima densidad poblacional se manifiestan favorablemente para el tratamiento T3; de manera que *Isochrysis aff. galbana* registró una tasa de crecimiento (k) de 2,54 div. día⁻¹, alcanzando densidades de 9,43 x10⁶cél. mL⁻¹ a los cinco días de cultivo con temperaturas de 28,38°C. Así, la tasa de crecimiento específico obtenida es de 2 a 20 veces mayor a aquellas obtenidas en investigaciones realizadas por Velasco et al. (2009): 0,13 (1024 Lux; 28 °C y 35 ups), González et al. (1999): 0,47 (2430 Lux; 22,70 °C), Marín et al. (1994): 0,26 (4250 Lux; 22 °C y 30

ups) y Fernández-Reiriz et al. (1989): 1,2 (3240 Lux; 15 °C y 35 ups); porque en este estudio los niveles de intensidad de lumínica, temperatura y salinidad se habrían ajustado mejor a los requerimientos del alga.

Los parámetros físico-químicos del agua de cultivo: temperatura, salinidad e intensidad lumínica presentaron un comportamiento muy similar durante el proceso de cultivo y guardarían relación con las fases de desarrollo algal de manera indirecta, así la fase de Adaptación se presentó desde las 1,82 h (T3) hasta las 6,39 h (T1) cuando los valores de estos parámetros fueron altos, luego, se presentó la Fase Logarítmica que ocurrió desde las 6,5 h hasta las 50 h, coincidiendo con el descenso de los parámetros hasta alcanzar el menor valor en ese día y finalmente se dió la Fase de Muerte que coincide con el alza de los parámetros ya mencionados. Sin embargo, el descenso de la intensidad lumínica se produjo porque las algas inician un rápido proceso de multiplicación, enturbando el agua y el paso de la luz a través de la botella es cada vez menor. Hernández et al., 2014 mencionó que la fase de muerte es básicamente la pérdida de productividad, puesto que se debe a una fotoinhibición.

Si bien la temperatura y salinidad no tuvieron mayor trascendencia en la densidad celular del estudio realizado, en otros casos resulta un factor limitante, independientemente de la especie; así López et al. (2009), variando la salinidad: 15, 25 y 35 ups, obtuvieron resultados favorables a 35 ups. Igualmente, Velasco et al. (2009) demostraron que la temperatura provocó efectos diferentes dependiendo de la iluminación del cultivo, donde mayores crecimientos se obtuvieron a altas temperaturas (28°C) y a baja iluminación los valores fueron superiores, a una temperatura de 22°C. En investigaciones realizadas por Ynga y Niño (2019) y el FONDEPES (2004) establecen que la temperatura para un buen desarrollo del cultivo es de 18° a 22° C respectivamente y la salinidad para este último es de 30 ups.

Conclusiones

1. El crecimiento *Isochrysis affinis galbana* fue afectado por la intensidad de diodos emisores de luz (LEDs) en relación directa siendo mejor con luces LED de 18 watts.
2. La mayor producción algal con luces LED de 18 watts se debió a que en este tratamiento se alcanzó la máxima velocidad de crecimiento en menor tiempo, la máxima velocidad de crecimiento específico y el menor tiempo de generación.
3. El comportamiento de la temperatura, salinidad e intensidad fue muy similar durante el proceso de cultivo y guardaron relación indirecta con las fases de desarrollo del cultivo de *Isochrysis affinis galbana*.

Recomendaciones

1. Experimentar el cultivo de *Isochrysis affinis galbana* utilizando luces LED de 18 watts con diferentes medios de cultivo.
2. Con el fin de estandarizar procesos, se debería realizar otras pruebas, en distintas escalas de producción, teniendo como control la iluminación LED (18w).
3. Crear tecnologías que permitan la expansión comercial de la biomasa de microalgas, reduciendo los costos de producción y asegurando los mejores resultados para los sectores de acuicultura y alimentación saludable.

Referencias

- Bravo, M. G. M., Lodeiros, C. S., Zapata, E. V., y Alió, J. J. A. (2020). Efecto de luces LED y fluorescentes sobre el crecimiento y la biomasa de *Thalassiosira pseudonana* (Cleve, 1873). *La técnica*, 24(1-8).
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8232820>
- Castro, G., Valbuena, E., Sánchez, E., Briñez, W., Vera, H, y Leal, M. (2008). Comparación de modelos sigmoidales aplicados al crecimiento de *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Revista Científica. FCV- LUZ*, XVIII (5), 582-588.
- Contreras, C., Peña, J.M., Flores, L.B, y Cañizares, R.O. (2003). Avances en el diseño conceptual de fotobiorreactores para el cultivo de microalgas. *Interciencia*, 28 (8), 450-456.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33908304>
- Córdoba Matson, M. V. (2011). Evaluación de la biomasa de *Isochrysis galbana* (clon T-ISO) estimulada con radiación monocromática, [tesis] La Paz, Baja California: Centro de Investigaciones Biológicas de Noroeste, SC. pp,14, 65-67.
- Cheirsilp, B., y Torpee, S. (2012). Enhanced growth and lipid production of microalgae under mixotrophic culture condition: Effect of light intensity, glucose concentration and fed-batch cultivation. *Bioresource Technology*. 110, 510–516.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.01.125>
- Escuredo, R. (2014). Evaluación de la biomasa producida por la microalga *Haematococcus* sp. y la inducción a la carotenogénesis bajo diferentes condiciones de cultivo. [tesis de maestría, CICESE] Repositorio Institucional CICESE.
<https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/126/1/235331.pdf>
- González, M., Casal, A., Costoya, N., y Costas, D. (s.f.). *Cultivo de microalgas marinas en fotobiorreactor mediante LEDs y fluorescentes*. Uvigo.Gal. Retrieved September 11, 2023.
https://cim.uvigo.gal/wpcontent/uploads/2015/10/Gonzalez_et_al_CNA2015.pdf
- Guillard, R.L.L. y Ryther, J.H. (1962). Studies on marine planktonic diatoms. 1. *Coscinodiscus nana* Hustedt and *Ditylum confervaceum* (Cleve) Grun. *Can. J. Microbiol.*, 8: 229-239.

- Fernández-Reiriz, MJ, Pérez-Camacho, A., Ferreiro, MJ, Blanco, J., Planas, M., Campos, MJ y Labarta, U. (1989). Producción de biomasa y variación del perfil bioquímico (proteínas totales, carbohidratos, ARN, lípidos y ácidos grasos) de siete especies de microalgas marinas. *Acuicultura*, 83 (1-2), 17-37.
- Fernandez Cruz, E., (2016). Producción de *Isochrysis galbana* (Parke,1949) y *Chaetoceros gracilis* (Takano.1968) en ambientes semicontrolado y no controlado. [archivo PDF] Lambayeque, pp.12-21.
<https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/837/BC-TES-4272.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero. (2004). *Manual de Concha de Abanico*.
https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2500065/Manual_de-Concha-de-Abanico.pdf
- Garzón Fandiño, A., y Gonzalez Cardoso, J. D. (2019). Efecto de la intermitencia de la luz led sobre el crecimiento y producción de metabolitos de *Scenedesmus obliquus*. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia
- González, B., Buitrago, E., y Frontado, K. (1999). Evaluación de medios nutritivos para el crecimiento de tres microalgas marinas de uso común en acuicultura. *Fundación la Salle Ciencias Naturales*, 151, 75-84.
- González, M., Casal, A., Costoya, N., y Costas, D. (s.f). Cultivo de microalgas marinas en fotobiorreactor mediante LEDs y fluorescentes.
- Hernández, C., Sol, J., y Franco, M. (2014). Estimación de Iluminación en un Fotobiorreactor Productor de Biomasa a partir de Microalgas. *Conciencia Tecnológica*. 29-35.
https://www.researchgate.net/publication/279516158_Estimacion_de_Iluminacion_en_un_Fotobiorreactor_Productor_de_Biomasa_a_Partir_de_Microalgas
- Humphrey, G. F. (1979). Photosynthetic characteristics of algae grown under constant illumination and light-dark regimes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 40(1), 63–70. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(79\)90034-0](https://doi.org/10.1016/0022-0981(79)90034-0)
- Kaplan, D., Cohen, Z. y Abeliovich, A. (1986). Condiciones óptimas de crecimiento para *Isochrysis galbana*. *Biomasa*, 9 (1), 37-48.
- López Elías, J., García Lagunas, N., Jiménez Gutiérrez, L. y Huerta Aldaz, N., (2009). Crecimiento de la diatomea *Thalassiosira pseudonana* en cultivos estáticos con iluminación continua y fotoperiodo a diferentes salinidades. 1ª ed. [archivo PDF] Sonora-México: abril, p.2.

<https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/48/44>

- Marchetti, J., Bougaran, G., Le Dean, L., Mégrier, C., Lukomska, E., Kaas, R., Olivo, E., Baron, R., Robert, R., & Cadoret, J. P. (2012). Optimizing conditions for the continuous culture of *Isochrysis affinis galbana* relevant to commercial hatcheries. *Aquaculture (Amsterdam, Netherlands)*, 326–329, 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.11.020>
- Marín, N., Lodeiros, C., Verginelli, R. (1994) Cultivo de Microalgas y el rotífero *Brachionus plicatilis* en gran escala. *Acta cient. Venez.* 45: 226-230.
- Markou, G., & Georgakakis, D. (2011). Cultivation of filamentous cyanobacteria (blue-green algae) in agro-industrial wastes and wastewaters: A review. *Applied Energy*, 88(10), 3389–3401. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.12.042>
- Molina Grima, E., Sánchez Pérez, J. A., García Camacho, F., Fernández Sevilla, J. M., y Acien Fernández, F. G. (1994). Effect of growth rate on the eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid content of *Isochrysis galbana* in chemostat culture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 41(1), 23–27. <https://doi.org/10.1007/bf00166076>
- Ostle, B. (1994), *Estadística aplicada: Técnicas de la estadística moderna, cuándo y dónde aplicarla*. Edit, Limusa, México, 629 pp
- Prezelin, B. B., y Sweeney, B. M. (1978). Photoadaptation of photosynthesis in *Gonyaulax polyedra*. *Marine Biology*, 48(1), 27–35. <https://doi.org/10.1007/bf00390528>
- Prieto, M. (2017). *Tecnologías de iluminación: clave para el cultivo industrial de Microalgas*. *Smartlighting*. 27 de Setiembre <https://smart-lighting.es/iluminacion-cultivo-microalgas/>
- Redalje, D. G., y Laws, E. A. (1983). The effects of environmental factors on growth and the chemical and biochemical composition of marine diatoms. I. Light and temperature effects. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 68(1), 59–79. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(83\)90013-8](https://doi.org/10.1016/0022-0981(83)90013-8)
- Ruiz Dávila, C. E., Rodríguez De La Garza, J. A., Garza García, Y., Javier, L., y Gonzales, R. (s/f). *Estudio sobre la acumulación lipídica en la biomasa de la cepa microalgal de chlorella vulgaris mediante la exposición a distintas longitudes de onda*. Smbb.mx. <https://smbb.mx/congresos%20smbb/guadalajara15/PDF/XVI/trabajos/IV/IVC32.pdf>

- Sánchez-saavedra, MDP, Maeda-martínez, AN, & Acosta-galindo, S. (2016). Efecto de diferentes espectros de luz sobre el crecimiento y composición bioquímica de *Tisochrysis lutea*. *Revista de Ficología Aplicada*, 28 (2), 839.
- Valenzuela-Espinoza, E., Lafarga-De La Cruz, F., Millán-Núñez, R., & Núñez-Cebrero, F. (2005). Crecimiento, consumo de nutrientes y composición proximal de *Rhodomonas* sp. cultivada con medio f/2 y fertilizantes agrícolas. *Ciencias Marinas*, 1A, 79–89.
<http://www.doctoradoenacuicultura.cl/doc/LafargaRhodomonas.pdf>
- Velasco, L. A., Barros-Gómez, J., Ospina-Salazar, G. H., & Trujillo, C. A. (2009). Efecto de la intensidad lumínica, temperatura y salinidad sobre el crecimiento de la microalga *Isochrysis galbana* (Clon T-ISO). *Intropica*, 93-99.
- Villalobos, V. V., Vergaray, D., Méndez, J., Barrios, I., Baquedano, R., Caldas, C., Cruz, J., Porras, J. G., y Rivera, I. (2017). Efecto de la intensidad de diodos electroluminosos y fotoperiodo en la optimización de la producción de biomasa de *Spirulina* (*Arthrospira*). *Scientia agropecuaria*, 8(1), 43–55.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5909298>
- Whyte, J. N. C. (1987). Biochemical composition and energy content of six species of phytoplankton used in mariculture of bivalves. *Aquaculture (Amsterdam)*, 60: 231-241.
[https://doi.org/10.1016/0044-8486\(87\)90290-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(87)90290-0)
- Ynga Huamán, G., y Niño, A. (2019). *Manual para producción de microalgas marinas en el Instituto del Mar del Perú*.
<https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/3338>

Anexos

Anexo 1

ANOVA para determinar las diferencias entre réplicas para cada tratamiento sobre el crecimiento de *Isochrysis aff. galbana* cultivada bajo iluminación LED y un control (Fluorescente convencional) en el Laboratorio de Bioperú vida.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Repeticiones	2	1,05804E+12	5,29021E+11	0,17	0,844
Error	117	3,65078E+14	3,12032E+12		
Total	119	3,66136E+14			

Anexo 2

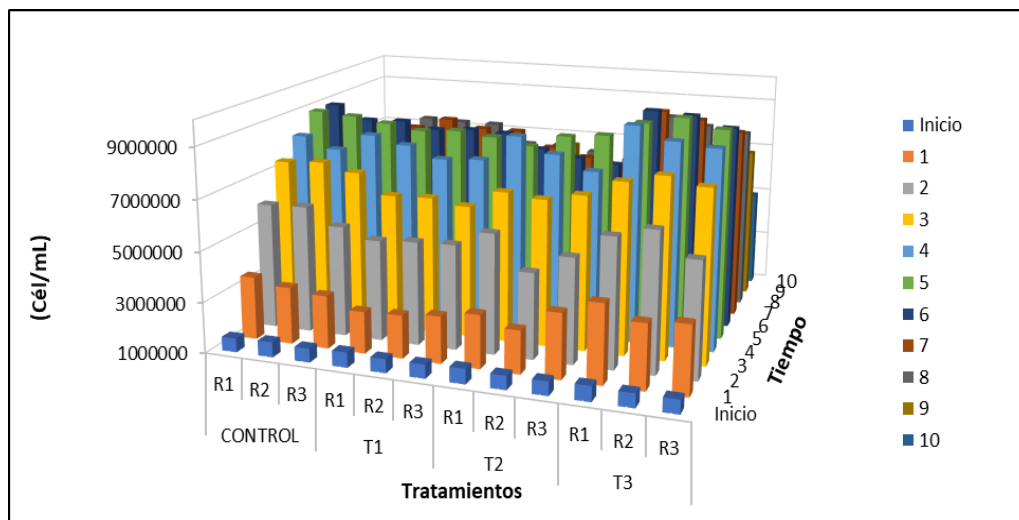
ANOVA para determinar el efecto de los tratamientos, tiempo y su interacción sobre el crecimiento de *Isochrysis aff. galbana*, cultivada bajo iluminación LED y un control (Fluorescente convencional) en el Laboratorio de Bioperú vida.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	2,80636E+13	9,35453E+12	91,23	0,000
Tiempo	9	3,26671E+14	3,62968E+13	353,97	0,000
Tratamiento*Tiempo	27	3,19767E+12	1,18432E+11	1,15	0,304
Error	80	8,20333E+12	1,02542E+11		
Total	119	3,66136E+14			

* F: valor de prueba de F; P: valor de la probabilidad al nivel 0,05.

Anexo 3

Variación del crecimiento diario de *Isochrysis aff. galbana* en las repeticiones para cada tratamiento, cultivada en el Laboratorio Bioperú vida



Anexo 4

Promedio diario de la Temperatura ambiental para cada tratamiento, en el cultivo de Isochrysis aff. galbana, en el Laboratorio de Bioperú vida

Temperatura ambiental (°C)				
Tiempo (días)	T1	T2	T3	Control
Inicio	27.20	27.40	27.50	27.93
1	27.43	27.63	28.30	28.50
2	28.00	28.17	28.27	28.07
3	27.23	27.27	27.73	27.93
4	27.00	27.03	27.50	27.53
5	27.23	27.33	27.43	27.70
6	27.20	27.27	27.53	27.87
7	27.57	27.93	28.00	27.57
8	27.73	27.93	28.00	28.13
9	28.03	28.67	28.47	29.30
10	28.27	28.93	28.67	29.23



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUÍZ GALLO

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



ACTA DE SUSTENTACIÓN

ACTA DE SUSTENTACION N° 017-2023-FCCBB-UI

Siendo las 8:15 horas del día 20 de diciembre de 2023, se reunieron los Miembros del Jurado evaluador de la tesis titulada "**Crecimiento poblacional de *Isochrysis affinis galbana* (T-ISO) cultivada con diferentes intensidades de diodos emisores de luz (LEDs)**", designados por Resolución N° 025-2021-FCCBB-UI de fecha 12 de abril de 2021, con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

Dr. Segundo Juan López Cubas
Dr. Eduardo Julio Tejada Sánchez
MSc. Jorge Antonio Fupuy Chung
MSc. María Victoria Lora Vargas

Presidente
Secretario
Vocal
Asesora

Acto de sustentación fue autorizado por Resolución N° 324-2023-VIRTUAL-FCCBB/D, de fecha 19 de diciembre de 2023.

La Tesis presentada y sustentada por la **Bachiller RITA GIORGINA GARBOZA BARRETO** tuvo una duración de 30 minutos. Después de la sustentación y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado; se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el calificativo de (Excelente) (20) en la escala vigesimal.

Por lo que la Bachiller **RITA GIORGINA GARBOZA BARRETO** queda **APTA** para obtener el título profesional de Licenciada en Biología – Pesquería de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 9:45 se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto, con la firma de los miembros del jurado.

Firman

Dr. Segundo Juan López Cubas
Presidente

Dr. Eduardo Julio Tejada Sánchez
Secretario

MSc. Jorge Antonio Fupuy Chung
Vocal

MSc. María Victoria Lora Vargas,
Asesora

CONSTANCIA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, MSc. María Victoria Lora Vargas, Asesora de Tesis de la Bachiller Rita Giorgina Garboza Barreto.

Titulada:

Crecimiento poblacional de *Isochrysis affinis galbana* (T-ISO) cultivada con diferentes intensidades de diodos emisores de luz (LEDs), luego de la revisión exhaustiva constató que la misma tiene un índice de similitud de 15% verificable en el reporte de similitud del programa Turnitin.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.



MSc. María Victoria Lora Vargas
DNI: 16647237

Crecimiento poblacional de *Isochrysis affinis galbana* (T-ISO) cultivada con diferentes intensidades de diodos emisores de luz (LEDs).

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo


Victoria Roca





Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Rita Giorgina Garboza Barreto
Título del ejercicio: Tesis de Pregrado
Título de la entrega: Crecimiento poblacional de *Isochrysis affinis galbana* (T-ISO)...
Nombre del archivo: INFORME_DE_TESIS.pdf
Tamaño del archivo: 910.28K
Total páginas: 55
Total de palabras: 11,203
Total de caracteres: 56,199
Fecha de entrega: 23-sept.-2023 02:28a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega... 2174385467

1

 **UNIVERSIDAD NACIONAL
"PEDRO RUIZ GALLO"** 
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE PESQUERÍA Y ZOOLOGÍA

Crecimiento poblacional de *Isochrysis affinis galbana*
(T-ISO) cultivada con diferentes intensidades de
diodos emisores de luz (LEDs).

TESIS
PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
LICENCIADA EN BIOLOGÍA-PESQUERÍA

Presentada por:
Bach. Rita Giorgina Garboza Barreto

Asesora:
MSc. María Victoria Lora Vargas

LAMBAYEQUE - PERÚ
2023

