



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TÍTULO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UN FERTILIZANTE FOLIAR
ENRIQUECIDO EN EL CRECIMIENTO DE *THALASSIOSIRA*
WEISSFLOGII Y *TETRASELMIS MACULATA* BAJO DIFERENTES
REGÍMENES NUTRICIONALES.**

AUTORA

BLGA. MARÍA PAULINA TERÁN PÁRRAGA

TRABAJO DE TITULACIÓN

**Previo a la obtención del grado académico en
MAGÍSTER EN ACUICULTURA**

TUTOR

MSC. YAHIRA PIEDRAHITA FAQUEZ.

Santa Elena, Ecuador

Año 2025

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, por su amor incondicional y por ser el soporte fundamental que me ha acompañado en cada paso de este recorrido. Su confianza en mí me ha dado fuerzas para enfrentar los desafíos y seguir adelante.

Y, especialmente, a mi ángel en el cielo Dr. Juan Santana González, cuyo aliento, sabiduría para que yo iniciara la maestría fue de gran motivación cuando estaba en vida y a lo largo de este camino el que no esté ha sido una razón más para continuar. Este logro es también suyo.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de mi tesis de maestría.

En primer lugar, agradezco a Dios por siempre darme la fortaleza de seguir avanzando en cada reto de mi vida, a mi tutor de tesis, por su apoyo constante.

A mis padres, que han sido mi pilar fundamental a lo largo de todo este proceso. Gracias por su amor, paciencia y por siempre creer en mí. Su apoyo incondicional ha sido esencial para superar los momentos difíciles y lograr este objetivo.

Agradezco también a mis compañeros de trabajo y amigos, quienes me brindaron su apoyo tanto académico como personal. Sus consejos, conversaciones y ánimo fueron fundamentales para mantenerme motivada en todo momento.

También quiero agradecer a ALGAMARBIO S.A.S, por proporcionarme los recursos y el espacio necesarios para llevar a cabo esta investigación.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de alguna manera, contribuyeron a la realización de este trabajo. Cada gesto de apoyo ha sido invaluable.

APROBACIÓN DEL TUTOR

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por **María Paulina Teran Parraga**, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Acuicultura.

Santa Elena, a los 15 días del mes de julio del año 2025.

TUTORA

MSC. YAHIRA PIEDRAHITA FAQUEZ.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Econ. Roxana Álvarez Acosta, PhD.
**COORDINADORA DEL
PROGRAMA**

MSc. Yahira Piedrahita Faquez.
TUTOR

PhD. Verónica Vera vera.
DOCENTE ESPECIALISTA 1

PhD. Jorge García Regalado.
DOCENTE ESPECIALISTA 2

Abg. María Rivera González, Mgt.
SECRETARIA GENERAL

AUTORIZACIÓN DERECHOS DE AUTOR

Yo, **María Paulina Terán Párraga**

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de artículo profesional de alto nivel con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este artículo académico dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Santa Elena, a los 15 días del mes de julio del año 2025.

EL AUTOR

Blga. María Paulina Terán Párraga

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **María Paulina Terán Párraga**

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, **María Paulina Terán Párraga**, previo a la obtención del título en Magíster en Acuicultura, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, a los 15 días del mes de julio del año 2025.

Blga. María Paulina Terán Párraga

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
APROBACIÓN DEL TUTOR	IV
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	V
AUTORIZACIÓN DERECHOS DE AUTOR.....	VI
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	VII
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO, FORMULACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	6
OBJETIVO GENERAL	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
HIPÓTESIS	9
MARCO TEÓRICO	10
<i>Thalassiosira weissflogii</i>	10
<i>Clasificación taxonómica</i>	10
<i>Características</i>	10
<i>Uso</i>	11
<i>Tetraselmis maculata</i>	11
<i>Clasificación taxonómica</i>	11
<i>Características</i>	12
<i>Uso</i>	12
Importancia de las microalgas	13
Cultivo de microalgas	14
<i>Tipos de cultivo</i>	14
<i>Medios de cultivo artificiales para el cultivo de microalgas</i>	15
<i>Parámetros a considerar en un sistema de cultivo</i>	16
Fertilizante foliar enriquecido con macro y micronutrientes	18

METODOLOGÍA	19
Enfoque de Investigación	19
Modalidad de Investigación	19
Alcance de la Investigación	19
Condiciones de cultivo	23
Análisis de Eficiencia de Crecimiento	25
Determinación de biomasa seca	26
Análisis de datos	27
Materiales y Equipos	27
RESULTADOS	31
Fases de crecimiento en tratamientos de ambas especies de microalgas	31
Sinergia o antagonismo en el rendimiento microalgal de las especies	40
Evaluación de las curvas de crecimiento	41
Cálculo del Peso Celular	44
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
Conclusiones	45
Recomendaciones	46
BIBLIOGRAFÍA	47
ANEXOS	52

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación del laboratorio Algamar.	20
Ilustración 2. Preparación de fertilizante foliar durante el proceso de filtración.	22
Ilustración 3. Siembra de microalga <i>Tetraselmis maculata</i> en biorreactores de 15 litros.	24
Ilustración 4. Siembra de microalga <i>Thalassiosira weissflogii</i>	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición del fertilizante foliar y el Medio F/2 Guillard.	4
Tabla 2. Tratamientos establecidos para los cultivos de microalgas.	21
Tabla 3. Dosificación de los nutrientes para los tratamientos establecidos para las especies <i>Thalassiosira weissflogii</i> y <i>Tetraselmis maculata</i>	22
Tabla 4. Conteos celulares promedios por etapa de siembra en cultivo industrial.	26

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Formato de registro de conteos celulares diario.	52
Anexo 2. Certificación de Antiplagio	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Crecimiento de <i>Thalassiosira weissflogii</i> con el 100% de medio Guillard's F2.	31
Gráfico 2. Crecimiento de <i>Thalassiosira weissflogii</i> con el 75% de medio Guillard's F2 y 25% de fertilizante foliar.....	32
Gráfico 3. Crecimiento de <i>Thalassiosira weissflogii</i> con el 50% de medio Guillard's F2 y 50% de fertilizante foliar.....	33
Gráfico 4. Crecimiento de <i>Thalassiosira weissflogii</i> con el 25% de medio Guillard's F2 y 75% de fertilizante foliar.....	34
Gráfico 5. Crecimiento de <i>Thalassiosira weissflogii</i> con 100% de fertilizante foliar.....	35
Gráfico 6. Crecimiento de <i>Tetraselmis maculata</i> con 100% de medio Guillard's F2.....	36
Gráfico 7. Crecimiento de <i>Tetraselmis maculata</i> con 75% de medio Guillard's F2 y 25% de fertilizante foliar.....	37
Gráfico 8. Crecimiento de <i>Tetraselmis maculata</i> con 50% de medio Guillard's F2 y 50% de fertilizante foliar.....	38
Gráfico 9. Crecimiento de <i>Tetraselmis maculata</i> con 25% de medio Guillard's F2 y 75% de fertilizante foliar.....	39
Gráfico 10. Crecimiento de <i>Tetraselmis maculata</i> con 100% de fertilizante foliar.....	40
Gráfico 11. Curvas de crecimiento de <i>Thalassiosira weissflogii</i>	42
Gráfico 12. Curvas de crecimiento de <i>Tetraselmis maculata</i>	43

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UN FERTILIZANTE FOLIAR ENRIQUECIDO EN EL CRECIMIENTO DE *Thalassiosira weissflogii* Y *Tetraselmis maculata* BAJO DIFERENTES REGÍMENES NUTRICIONALES.

Autora: Terán Párraga María Paulina

Tutora: Msc. Yahira Piedrahita

RESUMEN

Las microalgas desempeñan un papel fundamental en la acuicultura cumpliendo diferentes funciones, entre ellas la suministración de nutrientes y purificación del medio, por lo cual surge la necesidad de encontrar medios alternativos que ofrezcan un mayor crecimiento microalgal, debido a esto el trabajo evaluó el crecimiento de dos especies de microalgas, *Thalassiosira weissflogii* y *Tetraselmis maculata*, bajo el efecto de un fertilizante foliar en diferentes concentraciones, realizando 5 tratamientos para cada especie con 3 réplicas cada una, variando con el medio utilizado generalmente, medio Guillard's 2, se determinó la eficiencia de crecimiento, sinergia del producto con la microalga, curvas de crecimiento y peso celular. Los resultados indicaron que para ambas especies la mayor curva de crecimiento se presentó en los tratamientos 3 y 8, alcanzando conteos de $766,2 \times 10^3 \pm 59,4 \times 10^3$ cel/ml y $1077,3 \times 10^3 \pm 54,6 \times 10^3$ cel/ml, ambos representados por un medio de cultivo con relación de 50% de medio Guillard's F2 y 50% del fertilizante foliar, la especie *Tetraselmis maculata* presentó mayor sinergia con el fertilizante foliar, mientras que la especie *Thalassiosira weissflogii* presentó antagonismo en diversos tratamientos. Referente al peso celular, la especie *Thalassiosira weissflogii* alcanzó un peso de 61.34 pg en el tratamiento 3, mientras que la especie *Tetraselmis maculata* un peso de 61.76 pg en el tratamiento 8.

Palabras claves: *Thalassiosira weissflogii*, *Tetraselmis maculata*, fertilizante foliar, crecimiento.

EVALUATION OF THE EFFECT OF AN ENRICHED FOLIAR FERTILIZER ON THE GROWTH OF *Thalassiosira weissflogii* AND *Tetraselmis maculata* UNDER DIFFERENT NUTRITIONAL REGIMENS.

Author: Terán Párraga María Paulina

Tutor: Msc. Yahira Piedrahita

ABSTRACT

Microalgae play a fundamental role in aquaculture fulfilling different functions, among them the supply of nutrients and purification of the medium, so the need to find alternative media that offer greater microalgal growth arises, for this reason the work evaluated the growth of two species of microalgae, *Thalassiosira weissflogii* and *Tetraselmis maculata*, under the effect of a foliar fertilizer in different concentrations, performing 5 treatments for each species with 3 replicates each, varying with the medium generally used, Guillard's 2 medium, the growth efficiency, synergy of the product with the microalgae, growth curves and cell weight were determined. The results indicated that for both species the highest growth curve was presented in treatments 3 and 8, reaching counts of $766.2 \times 10^3 \pm 59.4 \times 10^3$ cell/ml and $1077.3 \times 10^3 \pm 54.6 \times 10^3$ cell/ml, both represented by a cultivation medium with a relation of 50% Guillard's F2 medium and 50% of foliar fertilizer, the species *Tetraselmis maculata* presented greater synergy with the foliar fertilizer, while the species *Thalassiosira weissflogii* presented antagonism in different treatments. Regarding cell weight, the species *Thalassiosira weissflogii* reached a weight of 61.34 pg in treatment 3, while the species *Tetraselmis maculata* reached a weight of 61.76 pg in treatment 8.

Key words: *Thalassiosira weissflogii*, *Tetraselmis maculata*, foliar fertilizer, growth.

INTRODUCCIÓN

Las microalgas son microorganismos fotoautótrofos, mismos que contienen clorofila a y otros pigmentos fotosintéticos, según Gómez (2007). La autora indica además que son capaces de realizar fotosíntesis oxigénica. Dentro de este grupo se incluyen dos tipos celulares: cianobacterias con una estructura procariota y microalgas con una estructura eucariota; no obstante, el término no presenta valor taxonómico. De igual forma, Rosendo et al., (2022) resaltan el importante papel que desempeñan las microalgas en los ecosistemas acuáticos al formar parte de la cadena alimentaria como base y ser responsables de la producción de oxígeno atmosférico, a su vez, presentan una alta capacidad de tolerancia a diversos factores y cambios en el medio acuático.

Estos microorganismos también desempeñan un papel clave en la purificación del agua en los sistemas de acuicultura. Cañavate (2011) menciona que la implicación de las microalgas como soporte trófico de especies acuícolas es muy variable, dependiendo de las necesidades de la especie cultivada, por ejemplo, en el caso de la producción de moluscos la demanda de microalgas es alta debido a que es dosificada durante todo el ciclo de vida, mientras que en otras especies de interés acuícola esta demanda se limita a un periodo corto de tiempo. La concepción sobre la producción masiva de microalgas tuvo lugar por primera vez en el siglo XX en Alemania, luego de la Segunda Guerra Mundial empezó a considerarse la biomasa microalgal como un suplemento de tal importancia capaz de sustituir las proteínas animales o vegetales, posterior a esto iniciaron los experimentos al descubrir que los contenidos de grasas y proteínas variaban según las condiciones del medio, lo que permitió un gran avance para los cultivos masivos de microalgas (Abalde et al., 1995).

Actualmente, la investigación en esta área se centra en el cultivo, optimización, mejora de métodos de producción a gran escala y su potencial como fuente de bioproductos como antioxidantes, ácidos grasos omega-33 y biomasa utilizada de diversas cepas de microalgas acuáticas como lo expresan diversos estudios, entre ellos se encuentra el estudio antioxidantes en la especie *Dunaliella salina* de Mayorga et al., (2017), obtención de compuestos fenólicos analizados por los autores Gómez et al., (2016) y Gómez y López (2014), así mismo, obtención de ácidos grasos como demostraron Valenzuela et al., (2015), mismo que se ha realizado en diferentes especies de microalgas.

Las microalgas marinas desempeñan un papel fundamental en la acuicultura, siendo utilizadas como alimento vivo en las etapas larvarias de diversos organismos acuáticos debido a su alto contenido nutricional y facilidad de cultivo por lo que se consideran insustituibles como primer alimento de larvicultura. Entre las especies más empleadas se encuentran las diatomeas, entre ellas la especie *Thalassiosira weissflogii* y algunas clorofitas, como la especie *Tetraselmis maculata*, reconocidas por su valor nutricional y adaptabilidad a diferentes condiciones de cultivo en especial para el cultivo de larvas de camarón *Penaeus vannamei*, que en su búsqueda por generar una producción de alta calidad ha incursionado en el uso y dosificación de diversos nutrientes que garanticen esta calidad, generando a su vez, tiempos con fases exponenciales cada vez menores. Por ello, mejorar el conocimiento sobre los diversos factores que impactan el crecimiento de estas microalgas es la base para la viabilidad a largo plazo de la producción acuícola en Ecuador.

El uso de un fertilizante foliar que enriquece los medios de cultivo con macro y micronutrientes en lugar del medio F/2 Guillard puede representar muchas ventajas, principalmente desde un enfoque de costo y disponibilidad, debido a que los fertilizantes

foliares son más accesibles y de menor costo, generando una disminución significativa en los costos de producción, como indican González et al., (2021) su disponibilidad en el mercado lo hace de fácil adquisición en comparación al medio F/2 que generalmente requiere de proveedores especializados, del mismo modo, la versatilidad de estos productos simplifica su uso en los sistemas de cultivos de microalgas, al no requerir dosificaciones exactas de diversos nutrientes (Plaza et al., 2018)

Así mismo, muchos de estos fertilizantes foliares se encuentran formulados para conseguir una rápida absorción de nutrientes, lo que resulta beneficioso en situaciones de producción, donde las microalgas necesitan un impulso rápido para alcanzar un crecimiento óptimo superando las deficiencias nutricionales. Algunas de estas formulaciones, como se ve en la Tabla 1, contienen compuestos orgánicos como aminoácidos, mismos que estimulan el crecimiento de las microalgas y mejoran su resistencia al estrés. Sin embargo, es necesario evaluar cuidadosamente la dosificación y composición de estos fertilizantes y su impacto en el crecimiento y calidad de las microalgas, debido a que una formulación inadecuada podría afectar negativamente la salud y productividad de los cultivos.

Bajo este contexto, el presente trabajo tiene como finalidad evaluar el efecto de un fertilizante foliar enriquecido en el crecimiento de *Thalassiosira weissflogii* y *Tetraselmis maculata* bajo diferentes regímenes nutricionales, se pretende determinar si este fertilizante puede ser utilizado como una alternativa viable al medio F/2, permitiendo de este modo reducir costos sin comprometer la calidad y productividad de las microalgas cultivadas.

Tabla 1.*Composición del fertilizante foliar y el Medio F/2 Guillard*

Componente	Fertilizantes Foleares comerciales	Medio F/2 Guillard
Nitrógeno (N)	Contiene Nitrógeno en forma de nitrato o amonio, en concentraciones variables según la formulación.	Nitrato de sodio (NaNO_3) a una concentración de 75 mg/L.
Fósforo (P)	Contiene Fósforo en forma de fosfato, en concentraciones variables según la formulación.	Fosfato de sodio monobásico ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) a una concentración de 5 mg/L.
Potasio (K)	Contiene Potasio, generalmente en forma de cloruro de potasio o sulfato de potasio.	No se incluye específicamente Potasio como componente en el medio F/2; se asume que el K es suficiente en otras sales.
Zinc (Zn)	Micronutriente presente en concentraciones bajas.	Sulfato de zinc heptahidratado ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) a una concentración de 0.022 mg/L.
Hierro (Fe)	Micronutriente presente en concentraciones bajas.	Cloruro férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) a una concentración de 3.15 mg/L, y EDTA disódico (Na_2EDTA) para quelación.
Manganeso (Mn)	Micronutriente presente en concentraciones bajas.	Sulfato de manganeso monohidratado ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) a una concentración de 0.18 mg/L.
Cobre (Cu)	Micronutriente presente en concentraciones bajas.	Sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) a una concentración de 0.01 mg/L.
Boro (B)	Micronutriente presente en concentraciones bajas.	Ácido bórico (H_3BO_3) a una concentración de 0.014 mg/L.

Molibdeno (Mo)	Micronutriente presente en concentraciones bajas.	Molibdato de sodio ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a una concentración de 0.0063 mg/L.
Silicio (Si)	No se incluyen	Silicato de sodio ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) a una concentración de 30 mg/L (solo en medios específicos para diatomeas).
Aminoácidos/Componentes Orgánicos	Puede contener aminoácidos o ácidos húmicos/fúlvicos.	El medio F/2 generalmente no incluye aminoácidos, pero puede ser complementado con vitaminas como la Tiamina (B1), Biotina (B7), y Cianocobalamina (B12).
Sales Traces	Variados según la formulación	Se incluye un suplemento de sales traces que contiene elementos como cobalto, níquel, y vanadio en concentraciones traza.

PLANTEAMIENTO, FORMULACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Muller (2000) menciona que el cultivo de microalgas representa una actividad primordial en la producción de alimento vivo destinado para la alimentación de larvas de organismos acuáticos, específicamente en la producción de camarones y moluscos, sin embargo, uno de sus principales obstáculos son los elevados costos de los medios de cultivo tradicionales y comúnmente utilizados en laboratorios e industrias acuícolas, como lo es el medio F/2 de Guillard.

Este medio, al estar formulado con nutrientes de grado analítico, representa un componente significativo para los costos operativos, el crecimiento óptimo de las microalgas depende en gran manera de la interacción compleja de los factores ambientales con la concentración y el tipo de nutrientes del medio, siendo el nitrógeno y fósforo de los nutrientes más esenciales (Santos et al., 2014).

Este contexto genera la necesidad de identificar alternativas más accesibles y sostenibles, sin comprometer el crecimiento ni la calidad de las microalgas. En ese sentido, los fertilizantes agrícolas, particularmente los foliares, representan una opción prometedora debido a su disponibilidad en el mercado, bajo costo y contenido de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes como detallan Osorio et al., (2023) y Suchithra et al., (2022). Varios estudios han demostrado que estos productos pueden ser utilizados exitosamente en el cultivo de microalgas, incluso incrementando la productividad celular y el contenido de biomoléculas útiles (Tejada et al., 2020).

Es debido a esta alta susceptibilidad de los cultivos de microalgas de diferentes especies a las variaciones en las dosificaciones de los nutrientes requeridos y escasa información de productos que contemplen todos los nutrientes necesarios para un crecimiento óptimo que el presente estudio pretende evaluar el crecimiento poblacional y productividad de dos especies de microalgas de alto interés acuícola a través de un enfoque de diseño experimental en el que se examinará el impacto de diferentes niveles de fertilizante foliar enriquecido con macro y micronutrientes tanto en el crecimiento de microalgas como en su productividad.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de un fertilizante foliar enriquecido con macro y micronutrientes, y sus combinaciones con el medio F/2 Guillard, en el crecimiento de *Thalassiosira weissflogii* y *Tetraselmis maculata*, para identificar la formulación más eficiente que maximice la producción en condiciones controladas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar el efecto de cuatro concentraciones diferentes del fertilizante foliar enriquecido en el crecimiento de *Thalassiosira weissflogii* y *Tetraselmis maculata* en condiciones controladas.

Comparar el rendimiento de mezclas de diferentes proporciones del fertilizante foliar enriquecido con el medio F/2 Guillard en el crecimiento de *Thalassiosira weissflogii* y *Tetraselmis maculata*, evaluando la sinergia o antagonismo entre ambos medios.

Evaluar la eficiencia de crecimiento de *Thalassiosira weissflogii* y *Tetraselmis maculata* mediante la comparación de las curvas de crecimiento, determinando la concentración celular máxima alcanzada y el tiempo requerido para alcanzarla en cada tratamiento, con el fin de identificar la formulación que maximiza la producción en el menor tiempo posible.

Calcular el peso celular de los cultivos de *Thalassiosira weissflogii* de *Thalassiosira weissflogii* y *Tetraselmis maculata* con las diferentes concentraciones del fertilizante foliar como medio de crecimiento.

HIPÓTESIS

Pregunta científica:

¿El medio de cultivo de las dos especies de microalgas con la dosificación completa del fertilizante foliar enriquecido con macro y micronutrientes presentará mayor crecimiento poblacional, producción de biomasa, y su fase exponencial será en menor tiempo comparado a las dosificadas completamente con el medio Guillard's F2?

Variable dependiente: Crecimiento poblacional, producción de biomasa y clorofila, y, fase exponencial.

Variable independiente: Fertilizante foliar enriquecido con macro y micronutrientes.

Hipótesis:

Ha: Las dos especies de microalgas cultivadas presentarán mayor crecimiento poblacional y su fase exponencial será en menor tiempo con la dosificación completa del fertilizante foliar enriquecido con macro y micronutrientes en comparación a las dosificadas completamente con el medio Guillard's F2.

Ho: Las dos especies de microalgas cultivadas presentarán menor crecimiento poblacional y su fase exponencial será en mayor tiempo con la dosificación completa del fertilizante foliar enriquecido con macro y micronutrientes en comparación a las dosificadas completamente con el medio Guillard's F2.

MARCO TEÓRICO

Thalassiosira weissflogii

Clasificación taxonómica

Reino: Chromista

Phylum: Heterokontophyta

Sub – Phylum: Bacillariophytina

Clase: Bacillariophyceae

Subclase: Coscinodiscophyceae

Orden: Thalassiosirales

Familia: Thalassiosiráceas

Género: *Thalassiosira*

Especie: *weissflogii*

Nombre científico: *Thalassiosira weissflogii* (Grunow) G. Fryxell & Hasle,
(1977)

Características

Estos microorganismos de forma céntrica se encuentran en cualquier cuerpo de agua y se distribuyen en varias regiones del mundo, encontrándose así en aguas marinas, salobres o dulces. Dentro de su morfología, los autores Kociolek et al., (2015) mencionan que esta especie presenta un diámetro de 6 – 15 μm y 20 μm de alto aproximadamente, presenta válvulas circulares con superficies planas con estrías radiales, en la cara de las válvulas existen varias fultopórtulas que van a variar en número dependiendo del diámetro de las

válvulas. A su vez, indican que las especies pertenecientes a este género son consideradas frecuentemente como invasivas en medios de agua dulce, siendo solo esta especie junto a la especie *T. gessneri* aquellas que han sido analizadas filogenéticamente demostrando que son especies parafiléticas.

Uso

Arenas (2023) indica que esta especie ha sido utilizada como fuente de alimento vivo para diferentes especies, como reproductores de moluscos bivalvos, en combinación con otras especies de microalgas, además de su uso constante como alimento vivo para el cultivo del camarón blanco (*Penaeus vannamei*), camarón tigre (*Penaeus monodon*) y el camarón de la India (*Penaeus indicus*), y, como enriquecedor de otros alimentos vivos como los rotíferos y artemia.

La microalga *Thalassiosira weissflogii* se considera por varios criaderos como la mejor alga para larvas de camarón, y ha sido ampliamente utilizada en el cultivo de diversas especies de interés para el sector larvicultor y en la alimentación de copépodos y artemia. Su cultivo se da en sistemas intensivos y semi-intensivos, y dentro de los parámetros óptimos para su crecimiento diversos autores como García et al., (2012) indican que esta microalga presenta mejor crecimiento en medios con salinidades entre 25 a 35 psu.

Tetraselmis maculata

Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

División: Chlorophyta

Clase: Chlorodendrophyceae

Orden: Chlorodendrales

Familia: Chlorodendraceae

Género: *Tetraselmis*

Especie: *maculata*

Nombre científico: *Tetraselmis maculata* Butcher, (1959)

Características

Levine y Fleurence (2018) mencionan que son flagelados unicelulares verdes, sus células son casi esféricas y ligeramente aplanadas con cuatro flagelos iguales en dos pares opuestos. Actualmente, se han descrito múltiples especies marinas y dulceacuícolas pertenecientes a este género logrando encontrarse en el plancton.

Uso

Tetraselmis sp. se ha utilizado con frecuencia como cepa modelo de laboratorio para estudiar sus efectos en crecimiento, supervivencia y adaptación siendo sometida a diversas condiciones alterando su ambiente natural, entre ellos, diversificando su salinidad o concentración de compuestos como el nitrógeno (Gómez A. L. et al., 2016).

A su vez, estas especies se utilizan constantemente en la acuicultura debido a su alto valor nutricional en términos de proteínas y ácidos grasos, y su contenido en otros compuestos biológicos. Del mismo modo, diferentes cepas de *Tetraselmis* sp. han sido evaluadas dentro

de un método innovador, eficiente y sostenible para la supresión de sustancias tóxicas como metales pesados que se encuentran en aguas residuales y otros ecosistemas acuáticos (Espinoza, 2017).

Importancia de las microalgas

Son organismos fotosintéticos con un potencial multifacético en la industria acuícola, debido al alto valor nutricional que poseen y su facilidad para ser un medio de cultivo eficiente, rentable y adaptable como indican Sidari y Tofalo (2019). Por sus propiedades nutricionales son fuente de alimento de diversas especies en sus primeros estadios de crecimiento y desarrollo, nutren con creces a larvas de peces y crustáceos, proporcionando una tasa de supervivencia elevada, factor esencial para el éxito de una producción (Cheng et al, 2023).

Hernández y Labbé (2014) expresan que, además de ser un componente nutricional eficiente, ejercen una función depuradora en los ecosistemas en los que interactúan. Su capacidad de absorber ciertos componentes que pueden ser perjudiciales, tales como fosforo y nitrógeno, y funcionar como un filtro natural, ayuda a evitar la eutrofización, manteniendo una buena calidad de agua y la estabilidad del sistema (Sirakov et al, 2015).

Ramírez et al, (2015) afirman que la versatilidad de las microalgas se manifiesta en la capacidad para generar compuestos bioactivos aprovechables en la industria. Un elemento característico que poseen la especie *Haematococcus pluvialis*, es la astaxantina, un pigmento carotenoide que tiñe de rosa al salmón y la trucha, potenciando las múltiples aplicaciones que pueden diversificar la industria a partir de estos componentes. Laboratorios de cultivos de fitoplancton generan la producción masiva en relación a estos elementos aprovechando el uso de carotenos, lo cual les otorga un valor considerable a sus propiedades biológicas.

También son potencialmente buenas fuentes para la producción de biocombustible debido a su alto contenido de aceite y la rápida producción de biomasa, la cual tiende a ser un medio de cultivo de rápida proliferación y propagación (Escobedo y Calderón, 2021).

Cultivo de microalgas

Zafra et al. (2017) indican que en la acuicultura las microalgas se utilizan como alimento de estados larvarios de peces y crustáceos y moluscos filtradores, entre los más comunes destacan microalgas del género *Chlorella*, *Tetraselmis*, *Chaetoceros*, *Isochrysis*, *Nannochloropsis* y *Thalassiosira*, mismas que son consumidas vivas. No obstante, son muchos los factores que van a influir en el crecimiento del cultivo y muchas de las variables susceptibles a ser modificadas son los parámetros físico – químicos del medio y el tipo de sistema de cultivos utilizados.

Tipos de cultivo

Según la forma de cosecharlo se clasifica en cultivo discontinuo, continuo y semicontinuo. García et al., (2017) describen al cultivo discontinuo como aquel donde la población va pasando por las distintas fases de crecimiento, ajustándose generalmente a una función logística, generando cambios fisiológicos de la población a medida que transcurre el tiempo de cultivo, estos operan en sistemas de cultivo cerrado y se realizan para bioensayos o transferencias a volúmenes mayores. Por otra parte, el cultivo continuo es donde se mantiene la fase exponencial por largo tiempo y los parámetros de cultivo son constantes durante todo el periodo de cultivo, de tal forma que las muestras tomadas sean siempre iguales. Por último, el cultivo semidiscontinuo lo expresan como la combinación de los dos cultivos

mencionados anteriormente; en este tipo del cultivo se cosecha una parte para utilización y el volumen es reemplazado por medio de cultivo fresco.

Sistemas de cultivo

Con el avance de la producción microalgal se han ido desarrollando sistemas de cultivos específicos, estos son sistemas abiertos y sistemas cerrados. El primero hace referencia a un cultivo que se encuentra expuesto a la atmósfera donde no se pueden controlar los parámetros físico – químicos, mientras que en el segundo no existe interacción con la atmósfera manteniendo los parámetros de cultivo deseados para el cultivo y reduciendo riesgos de contaminación (Hernández y Labbé, 2014).

Medios de cultivo artificiales para el cultivo de microalgas

FAO (2015) indica que durante los últimos años se han desarrollado diferentes medios de cultivo de microalgas que abarcan un gran rango desde fórmulas que enriquecen el agua de mar natural hasta medios artificiales que generan resultados constantes en comparación con los resultados que se obtiene al usar el agua de mar que varía debido a múltiples factores y parámetros físico – químicos. Estos medios se utilizan principalmente para fines experimentales debido a la constancia de resultados que brinda, sin embargo, hay varias especies que no crecen en estos medios artificiales. Entre medios artificiales utilizados más comunes se encuentran el medio de cultivo Walne/Conway y Guillard's F/2, ambas específicas para familias.

Medio de cultivo Wayne/Conway. Este medio de cultivo permite el crecimiento óptimo de microalgas y consta de tres soluciones: solución principal, metales y vitaminas. La solución principal está conformada por nitrato de sodio (NaNO_3), ácido bórico (H_3BO_3), dihidrógeno fosfato de sodio (NaH_2PO_4), cloruro de manganeso ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y cloruro de hierro ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Por otra parte, la solución de metales se compone de cloruro de zinc (ZnCl_2), cloruro de cobalto ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), heptamolibdato de amonio ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (Robayo López, 2005). Todos los compuestos son pesados según el requerimiento e introducidos en matraces del volumen deseado con agua destilada, a su vez, deben mantenerse tapados y alejados de la luz.

Medio de cultivo Guillard's F/2. Este es un medio mineral estándar para el cultivo de microalgas y cianobacterias marinas para procedimientos de microbiología y biotecnología, su naturaleza inorgánica facilita su uso como medio de mantenimiento de cultivos anéxicos. Esta mezcla se compone de macronutrientes, los cuales son: nitrato de sodio (NaNO_3), cloruro de calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), fosfato dipotásico (K_2HPO_4), sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y cloruro de sodio (NaCl) (Algae bank, 2018).

Parámetros de consideración en un sistema de cultivo

Especies de microalgas. Es de suma importancia conocer la composición de las microalgas y el perfil detallado de aminoácidos, ácidos grasos saturados e insaturados de la especie y cepa de microalga que se va a cultivar. En algunos casos puede existir información de vitaminas y otros compuestos relevantes para la posterior alimentación y nutrición de estas especies microalgales (Voltolina et al., 1998).

Luz. Las microalgas presentan dos etapas completamente marcadas durante el proceso de la fotosíntesis: etapa luminosa y etapa oscura. En la etapa luminosa es donde captan la energía del sol a través de la clorofila y desencadenan diversas reacciones bioquímicas para la biosíntesis de ATP y NADH, por lo cual, sin importar la fuente de la energía lumínica, las microalgas necesitan estar expuestas a la radiación (RFA) para iniciar con el proceso, entendiéndolo a su vez, como la necesidad de intensidad de luz mínima para su crecimiento, siendo este parámetro de vital importancia para alcanzar la fase exponencial en un cultivo microalgal (Mendieta, 2021).

Temperatura. Es un factor, que para alcanzar su rango óptimo va a variar dependiendo de la especie cultivada, obteniendo diversos rangos. Sin embargo, este parámetro genera el aumento de la respiración y la productividad global. Es importante determinar que en un sistema de cultivo cerrado la temperatura se puede controlar fácilmente con diversos equipos (calentadores, serpentines, etc.), mientras que en sistemas abiertos el control es más complejo. No obstante, con acciones como la cobertura de los tanques con materiales que impidan la salida del calor pueden ayudar a mantener la temperatura en su rango óptimo (Moronta et al., 2006).

Nutrientes. Amay (2022) describe que el cultivo microalgal demanda un suministro constante de determinados nutrientes inorgánicos, entre ellos se encuentra el nitrógeno, fósforo y carbono para mantener una alta productividad de algas. Sin embargo, un incremento desmesurado de nutrientes puede ocasionar que el medio se eutrofice, afectando así a la ecología presente. Cada uno de estos nutrientes es requerido en concentraciones

determinadas, siendo el carbono el de mayor requerimiento, seguido del nitrógeno cuya baja en las concentraciones conlleva a una disminución del crecimiento.

pH y CO₂. La remoción de nutrientes, como lo son el nitrógeno y el fósforo, no solo es regulada por la absorción de células, sino también por el pH que influye directamente en la disponibilidad de nutrientes. A su vez, se debe comprender el uso óptimo de la adición de CO₂, que al igual que el pH deriva en la asimilación de nutrientes seguido de la producción de biomasa microalgal (Beltrán - Rocha et al., 2017).

Salinidad. La salinidad es un factor de igual importancia que los antes mencionados, debido a que una concentración elevada de sal inhibe el proceso de fotosíntesis y reduce la productividad de biomasa microalgal.

Fertilizante foliar enriquecido con macro y micronutrientes

Los fertilizantes foliares son ampliamente utilizados, principalmente en la agricultura, con el fin de mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas, mismas que están formuladas a base de compuestos inorgánicos, como cobre, cobalto, hierro, zinc, entre otros nutrientes esenciales y micronutrientes, mismos son absorbidos por las hojas. La utilización de los fertilizantes complementa el suministro de nutrientes necesarios del suelo, asegurando la calidad y el rendimiento de los cultivos.

METODOLOGÍA

Enfoque de Investigación

El estudio se realizó bajo un enfoque de investigación cuantitativo, esto debido a que se utilizaron herramientas de análisis matemáticos y estadísticos para describir los resultados obtenidos durante la evaluación del impacto del uso de un fertilizante foliar en diferentes concentraciones para la producción de microalgas.

Modalidad de Investigación

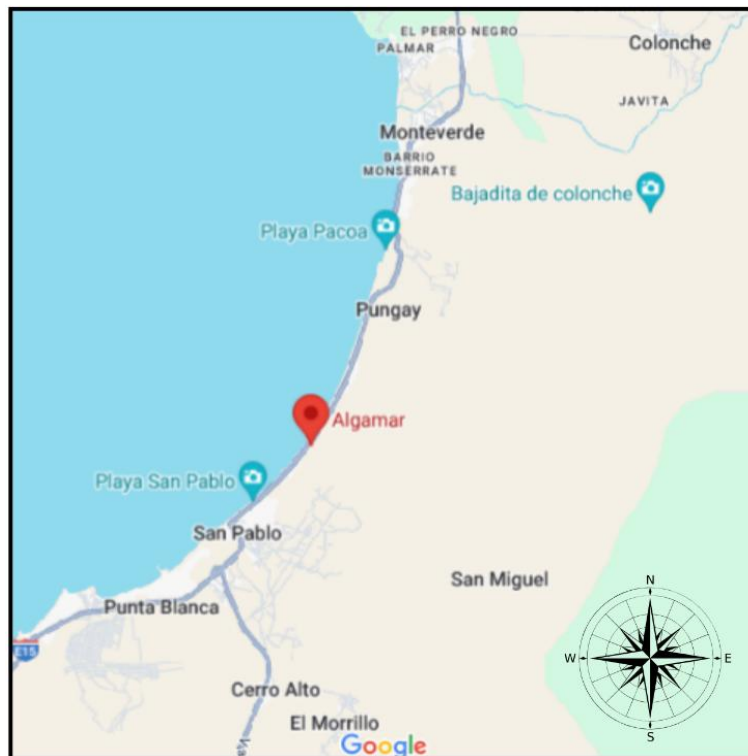
El presente trabajo se efectuó bajo el lineamiento del tipo de investigación experimental según la manipulación de variables. Ramos (2021) explica que este tipo de investigación es un método científico en el que se controlan y manipulan variables y se observan sistemáticamente los efectos resultantes, con el objetivo de establecer relaciones de causa y efecto o comprender un fenómeno particular en un ambiente controlado.

Alcance de la Investigación

El estudio se diseñó para evaluar el impacto de diferentes concentraciones de un fertilizante foliar enriquecido con macro y micronutrientes y sus combinaciones con el medio F/2 Guillard en el crecimiento de *Thalassiosira weissflogii* y *Tetraselmis maculata*, dos especies de microalgas de gran relevancia industrial.

Ilustración 1.

Ubicación del laboratorio Algamar.



La investigación se realizó en el Laboratorio Algamar, Comuna San Pablo, Santa Elena, Ecuador (Ilustración 1). Cada especie (*Thalassiosira weissflogii* y *Tetraselmis maculata*) fue cultivada en medios con diferentes porcentajes de concentraciones del nutriente a evaluar y el nutriente comúnmente utilizado en el laboratorio (Tabla 2). Paralelamente, se sembró un grupo control para cada especie cultivada, el cual fue dosificado únicamente con los nutrientes previamente establecidos por el laboratorio, obteniendo un total de 5 tratamientos por especie con 3 réplicas cada uno para mayor confiabilidad de los datos obtenidos. La preparación del medio de cultivo se realizó con agua salada a 33ppm y la adición de los nutrientes fue la correspondiente a cada tratamiento establecido previamente según la tabla 3.

Las cepas fueron cultivadas en cajas Petri durante 6 a 8 días. Después de esto el inóculo fue llevado a botellas con 200 ml de capacidad de siembra durante 3 días. Pasado estos días el inóculo fue llevado a biorreactores plásticos con capacidad de trabajo de 15 L, donde se iniciaron sus conteos durante 6 días.

Tabla 2.

Tratamientos establecidos para los cultivos de microalgas.

Tratamiento	Especie	Concentración de medio Guillard´s F2	Concentración de fertilizante foliar
T1	<i>Thalassiosira weissflogii</i>	100% (Grupo control)	-
T2	<i>Thalassiosira weissflogii</i>	75%	25%
T3	<i>Thalassiosira weissflogii</i>	50%	50%
T4	<i>Thalassiosira weissflogii</i>	25%	75%
T5	<i>Thalassiosira weissflogii</i>	-	100%
T6	<i>Tetraselmis maculata</i>	100% (Grupo Control)	-
T7	<i>Tetraselmis maculata</i>	75%	25%
T8	<i>Tetraselmis maculata</i>	50%	50%
T9	<i>Tetraselmis maculata</i>	25%	75%
T10	<i>Tetraselmis maculata</i>	-	100%

Los medios de cultivo se prepararon siguiendo procedimientos estandarizados para garantizar la consistencia en todos los tratamientos, como mencionan Richmond y Hu (2013). La formulación del medio F/2 Guillard siguió los protocolos descritos por Guillard

y Ryther (1962), ajustando las concentraciones de nutrientes para mantener condiciones óptimas para el crecimiento de microalgas. El fertilizante foliar se disolvió en agua destilada (Ilustración 2) y se incorporó a los medios en las concentraciones indicadas la Tabla 3.

Ilustración 2.

Preparación de fertilizante foliar durante el proceso de filtración.



Tabla 3.

*Dosificación de los nutrientes para los tratamientos establecidos para las especies *Thalassiosira weissflogii* y *Tetraselmis maculata*.*

Tratamiento	Especie	N° de réplicas	Medio Guillard F/2				Fertilizante foliar
			Sol #1	Sol #2	Sol #3	Sol #4	Sol Stimufol

1	<i>Thalassiosira</i>	3	10	10	15	15	0
2	<i>Thalassiosira</i>	3	7,5	10	11,25	11,25	3,75
3	<i>Thalassiosira</i>	3	5	10	7,5	7,5	7,5
4	<i>Thalassiosira</i>	3	2,5	10	3,75	3,75	11,25
5	<i>Thalassiosira</i>	3	0	10	0	0	15
6	<i>Tetraselmis</i>	3	10	0	15	15	0
7	<i>Tetraselmis</i>	3	7,5	0	11,25	11,25	3,75
8	<i>Tetraselmis</i>	3	5	0	7,5	7,5	7,5
9	<i>Tetraselmis</i>	3	2,5	0	3,75	3,75	11,25
10	<i>Tetraselmis</i>	3	0	0	0	0	15

Condiciones de cultivo

Las microalgas fueron cultivadas en biorreactores cerrados para minimizar la evaporación y la contaminación externa (Ilustración 3 y 4). La concentración inicial de microalgas se ajustó a 1×10^5 células/ml para *Thalassiosira weissflogii* y *Tetraselmis maculata* en todos los tratamientos para asegurar condiciones iniciales uniformes en los biorreactores de plásticos de 18 litros, con un volumen de trabajo de 15 litros. Cada tratamiento fue replicado tres veces para asegurar la validez estadística de los resultados, manteniendo las siguientes condiciones descritas por Becker, (1994) y Richmond & Hu, (2013) como ideales para el cultivo de microalgas:

1. Fotoperiodo: 24 horas de iluminación, utilizando iluminación LED de $100 \mu \text{mol m}^2/\text{s}$ (4000Lux) para proporcionar una intensidad de luz constante.
2. Temperatura: la temperatura fue mantenida constante en una sala de cultivo isotérmica a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ mediante un sistema de control de temperatura.

3. Agitación y aireación: Los cultivos fueron aireados continuamente con aire filtrado enriquecido con un 2% de CO₂ para asegurar la disponibilidad de dióxido de carbono y prevenir su estratificación.

Ilustración 3.

Siembra de microalga Tetraselmis maculata en biorreactores de 15 litros.



Ilustración 4.

*Siembra de microalga *Thalassiosira weissflogii*.*



Se realizaron conteos inter diarios (cada 12 horas) para medir la densidad celular tomando muestras de 1 ml utilizando un contador de células de Neubauer, mediante conteo directamente bajo el microscopio. Se realizó 16 conteos en las cuadrículas de los extremos, registrando los conteos en un registro diario (Anexo 1), expresando el resultado en células/ml (Richmond y Hu, 2013).

Análisis de Eficiencia de Crecimiento

Con los datos obtenidos en el conteo celular se elaboraron las curvas de crecimiento correspondiente a cada ensayo en la herramienta estadística TableCurve 2D v5.01, las mismas que fueron comparadas entre especies y medios de cultivo. A su vez, se analizó el tiempo en el que la producción alcanza la concentración objetivo dentro de su fase

exponencial, determinando de igual manera su eficacia, la misma que se define en base a los conteos esperados (Tabla 4).

Tabla 4.

Conteos celulares promedios por etapa de siembra en cultivo industrial.

Tipo de fundas	Conteos celulares objetivos
FUNDAS A (Siembra)	700.000 a 1'000.000 cel/ml
FUNDAS B (Resiembra)	600.000 a 800.000 cel/ml

La eficiencia del crecimiento se evaluó mediante la comparación de las curvas de crecimiento de los diferentes tratamientos en la fase de cultivo de fundas A, que se interpreta como la siembra directa. Obteniendo primero la concentración celular máxima, determinada a partir del punto más alto en la curva de crecimiento; segundo, el tiempo para alcanzar la concentración máxima; y, por último, la comparación entre los diferentes tratamientos para identificar qué formulación permite cultivo optimizado en tiempo y concentración celular.

Determinación de biomasa seca

Una vez culminado el período de cultivo se determinó la biomasa seca de microalgas sometidas a las diferentes de las concentraciones del fertilizante foliar como medio de cultivo, para ello se realizaron los siguientes pasos:

1. Muestreo y Tamizado:

En este paso se colectó una muestra de 1 litro de volumen homogeneizada de los biorreactores plásticos de cultivo de 15 litros, la misma que se dividió en cuatro fracciones de 250 ml cada una. Cada fracción se filtró mediante un filtro de fibra de vidrio de 1,2 μm (previamente pesado) utilizando una bomba de vacío.

2. Lavado:

El filtro se enjuagó con agua destilada para eliminar minerales y sales residuales del medio de cultivo que pudieran interferir con el peso final de la biomasa seca.

3. Secado y Pesaje:

Los filtros con la biomasa rentada previamente pesados se colocaron en una estufa de secado a 110°C durante 30 minutos. Posterior a esto se dejó enfriar en un desecador por 30 minutos y se volvió a pesar.

4. Cálculo del Peso celular:

Al peso final obtenido se restó el peso inicial del filtro para obtener el peso de la biomasa seca de los 250 ml filtrados; luego se sumaron los 4 pesos de biomasa seca de cada tratamiento y el valor se multiplicó por 15 para calcular la biomasa seca de los 15 litros de cultivo. Por último, el valor de la biomasa seca del biorreactor de 15 litros se dividió con la densidad celular previamente calculada para obtener el peso celular.

Análisis de datos

La información recolectada fue analizada mediante el uso de software estadístico IBM SPSS Statistics, con el objetivo de llevar a cabo análisis descriptivos y comparativos entre los distintos tratamientos (Zar, 1999).

Materiales y Equipos

Tabla 5.

Materiales y equipos utilizados durante la fase experimental.

Cepas de producción	<i>Thalassiosira weissflogii</i>	
	<i>Tetraselmis maculata</i>	
Materiales	Reactivos químicos	Nitrato de sodio

	Fosfato de potasio
	Metasilicato de sodio
	Fertilizante foliar
	Hipoclorito de sodio
	Alcohol industrial (96%)
Productos de limpieza y desinfección	Filtros para aire de 1µm
	Filtros para agua de mar de 1µm
	Filtros de papel de 0,45µm y 0,2µm
Materiales de Vidrio	Matraz
	Pipetas Pasteur
	Pipetas graduadas
	Frascos ámbar
	Placas Petri
	Tubos de ensayo con y sin tapas
	Beakers
	Probetas
	Cámara Neubauer
	Termómetros
Materiales de plástico, silicona y fibra de vidrio	Baldes
	Jarras
	Vasos graduados

	Pipetas
	Gradillas
	Biorreactores plásticos de 15 Lt. de capacidad
	Embudos
	Cilindros con capacidad de 7 toneladas
	Papel aluminio
	Toallas absorbentes
	Asa bacteriológica
	Mascarillas
Otros materiales	Algodón
	Lentes de protección
	Mandiles
	Cinta adhesiva, teflón y aislante
	Microscopio óptico con binoculares de 4X- 10X- 40X- 100X
	Destilador de agua
	Balanza analítica
Equipos	Centrífuga
	Estufa
	Campana de siembra

Multiparámetro (Ph, O₂,

Salinidad y temperatura)

Refractómetro

Equipos de luz

ultravioleta

Equipos de aire

acondicionado

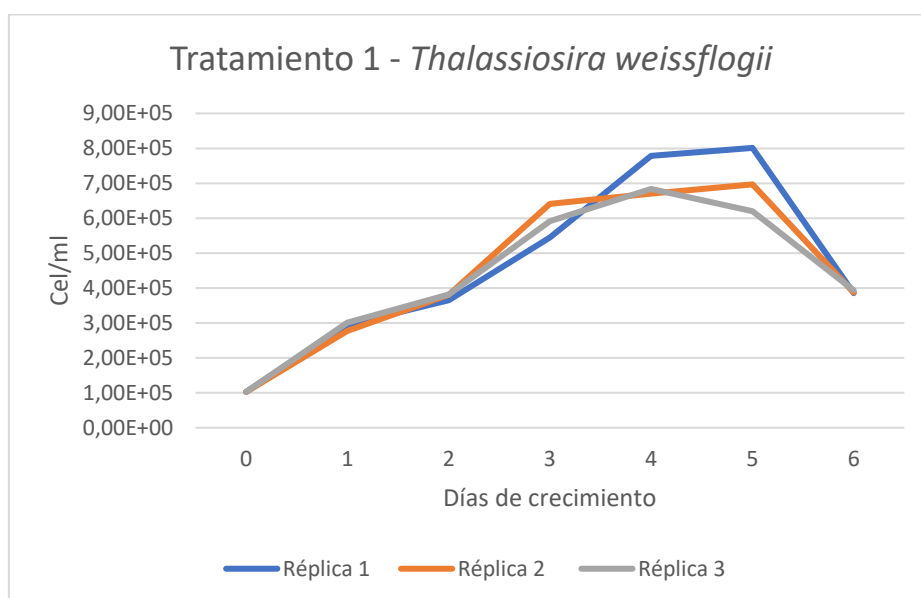
RESULTADOS

Fases de crecimiento en tratamientos de ambas especies de microalgas

El registro y promedio de datos de los conteos celulares de cada réplica de los primeros cinco tratamientos correspondientes a los cultivos realizados de la especie *Thalassiosira weissflogii* se visualizan en las Gráfica 1 - 5, mismos que muestran las fases de crecimiento microalgal según la concentración de los diferentes medios en cada una de las réplicas.

Gráfico 1.

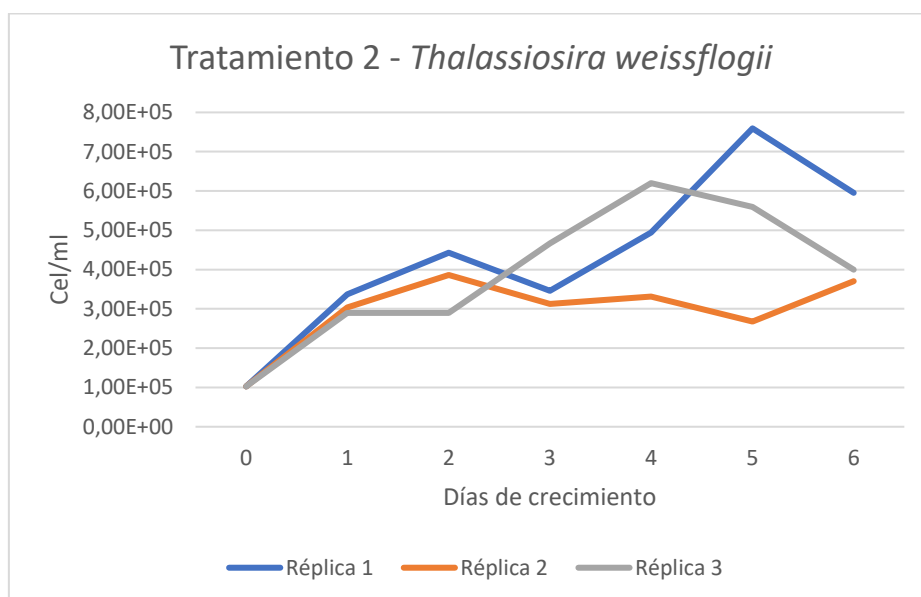
Crecimiento de Thalassiosira weissflogii con el 100% de medio Guillard's F2.



El tratamiento 1, correspondiente al grupo control (100% medio Guillard F/2), obtuvo resultados homogéneos para sus 3 réplicas. Presentó su fase de crecimiento exponencial del día 2 hasta día 4, llegando a conteos de $778,1 \times 10^3 \pm 42,1 \times 10^3$, $670,6 \times 10^3 \pm 42,97 \times 10^3$ y $683,7 \times 10^3 \pm 42,6 \times 10^3$ cel/ml para cada réplica, respectivamente, donde se determinó la declinación relativa del crecimiento, mantuvo su fase estacionaria hasta el día 5, y en el día 6 decayeron los conteos iniciando su fase de muerte.

Gráfico 2.

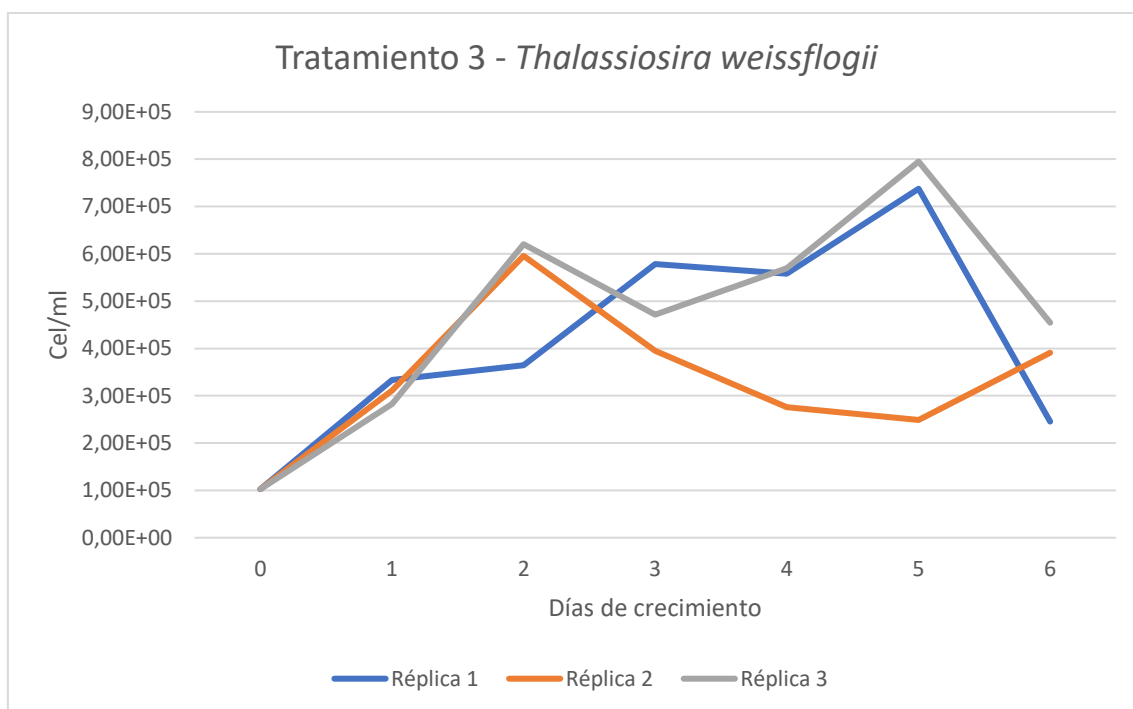
Crecimiento de *Thalassiosira weissflogii* con el 75% de medio Guillard's F2 y 25% de fertilizante foliar.



Por otro lado, el tratamiento 2, que tuvo una relación 75- 25 del medio Guillard F/2 y fertilizante foliar, respectivamente, presentó su fase de crecimiento exponencial hasta el día 5, para la primera réplica, con un conteo de $759,4 \times 10^3 \pm 37,5 \times 10^3$ cel/ml. Posteriormente presentó una fase de declinación relativa del crecimiento sin fase estacionaria, y al día 6 decayó su conteo a $595 \times 10^3 \pm 68,2 \times 10^3$ cel/ml. La réplica 2 no presentó una marcada fase de crecimiento exponencial, teniendo como conteo máximo el día 2 con $386,3 \times 10^3 \pm 23,3 \times 10^3$ cel/ml. La réplica 3 si presentó una fase de crecimiento exponencial desde el día 2 al 4, alcanzando un conteo de $620 \times 10^3 \pm 23,9 \times 10^3$ cel/ml, seguida de una fase estacionaria hasta el día 5 con $559,4 \times 10^3 \pm 32,3 \times 10^3$ cel/ml y su posterior decaimiento en el día 6 con un conteo de $400 \times 10^3 \pm 14,1 \times 10^3$ cel/ml.

Gráfico 3.

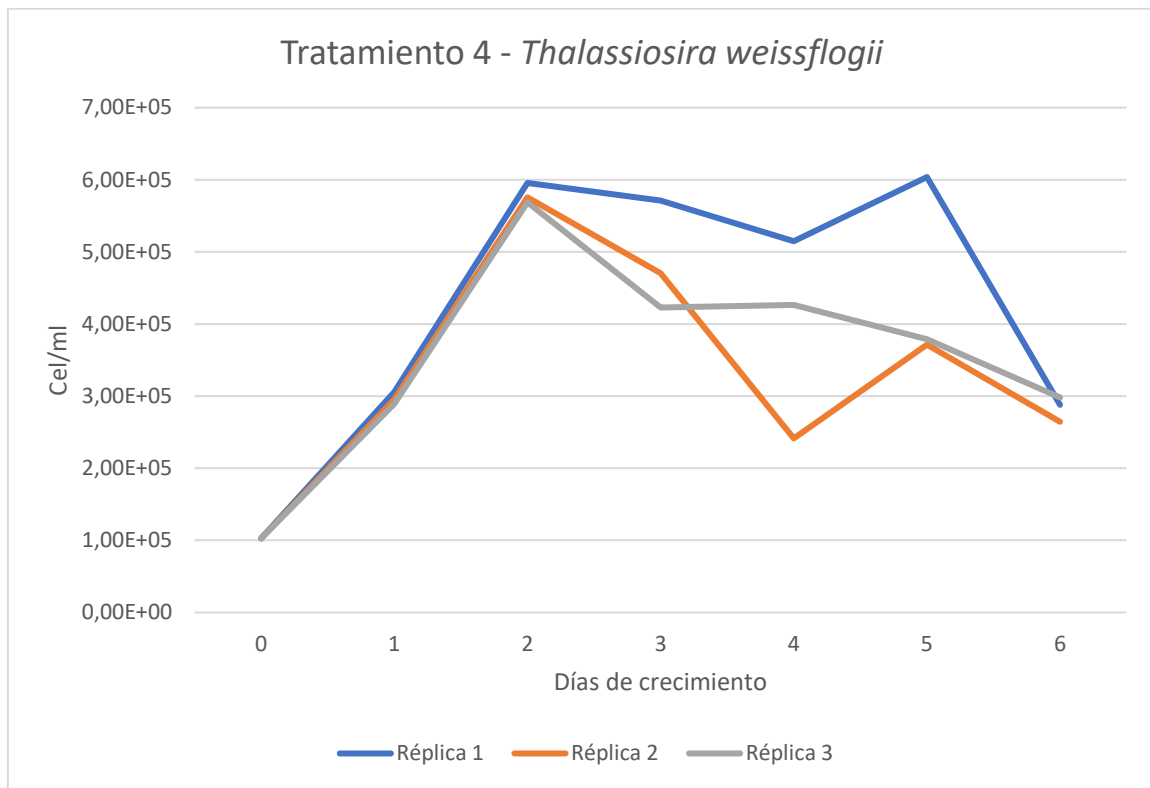
Crecimiento de *Thalassiosira weissflogii* con el 50% de medio Guillard's F2 y 50% de fertilizante foliar.



El tratamiento 3, correspondiente al tratamiento con una relación 50-50 del medio Guillard F/2 y fertilizante foliar, presentó el mayor crecimiento celular para la especie *Thalassiosira weissflogii*, manteniendo su fase de crecimiento exponencial del día 2 hasta el día 5, para las réplicas 1 y 3, alcanzando conteos de $737,5 \times 10^3 \pm 71,7 \times 10^3$ cel/ml y $795 \times 10^3 \pm 47,2 \times 10^3$ cel/ml, respectivamente, para su posterior decaimiento en el día 6. Por otra parte, la réplica 2 presentó diferencias con un decaimiento de la fase exponencial del día 2 hasta el día 5, pasando de $595,6 \times 10^3 \pm 57,7 \times 10^3$ cel/ml a $248,7 \times 10^3 \pm 33,2 \times 10^3$ cel/ml.

Gráfico 4.

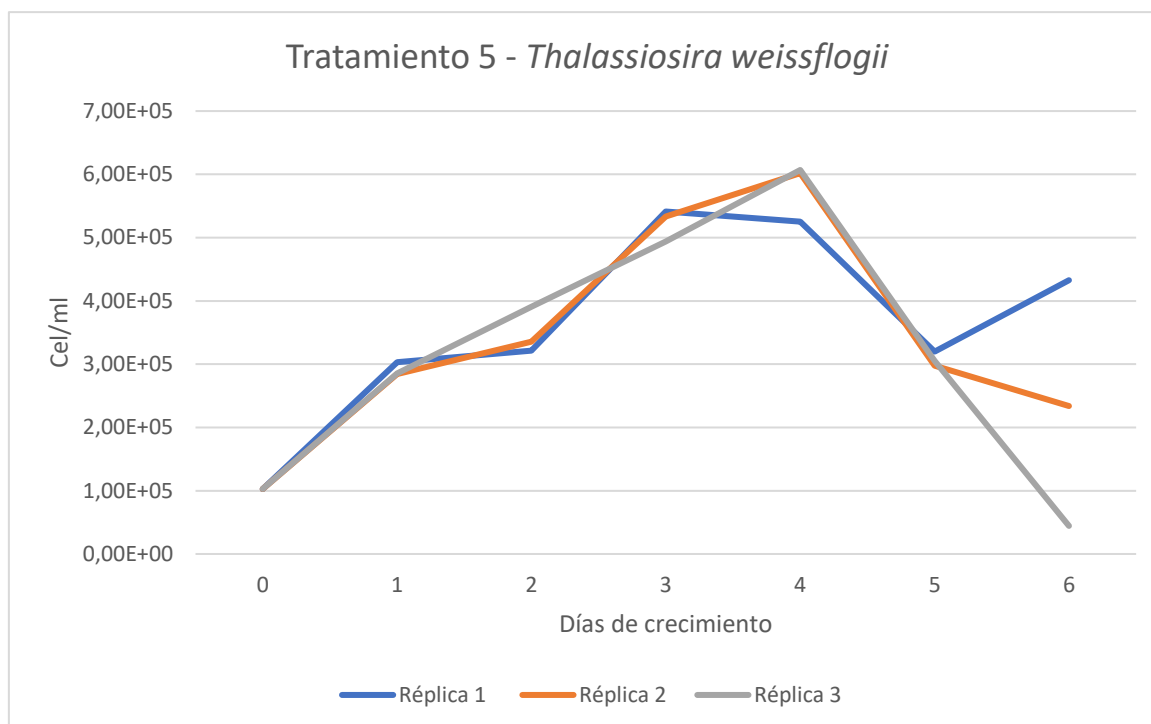
Crecimiento de *Thalassiosira weissflogii* con el 25% de medio Guillard's F2 y 75% de fertilizante foliar.



Las microalgas del tratamiento 4, que presentaban una relación 25 – 75 del medio Guillard F/2 y fertilizante foliar, respectivamente, presentaron una fase exponencial corta hasta el día 2, con conteos de $595,6 \times 10^3 \pm 26,6 \times 10^3$, $575,6 \times 10^3 \pm 47,04 \times 10^3$ y $568,8 \times 10^3 \pm 38,6 \times 10^3$ cel/ml, para cada réplica. Sin embargo, las réplicas 2 y 3 presentaron una fase de decaimiento prolongado hasta el día 6, mientras que la réplica 1 se mantuvo hasta el día 5 con un conteo de $603,7 \times 10^3 \pm 79,7 \times 10^3$ cel/ml, posterior a esto decayó en conteos el día 6 con $288,1 \times 10^3 \pm 25,9 \times 10^3$ cel/ml.

Gráfico 5.

Crecimiento de *Thalassiosira weissflogii* con 100% de fertilizante foliar.

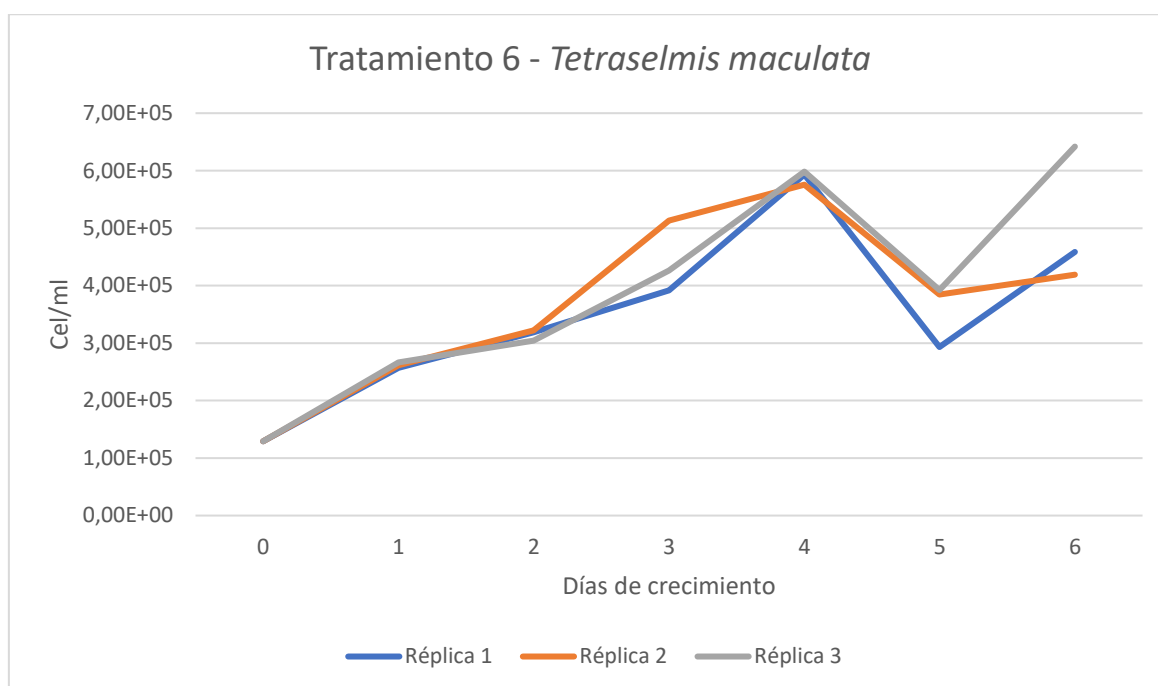


Por último, el tratamiento 5, el cual solo presentaba el fertilizante foliar como medio de crecimiento para la especie *Thalassiosira weissflogii*, mantuvo su fase de crecimiento exponencial hasta el día 4 para las réplicas 2 y 3, alcanzando conteos de $601,9 \times 10^3 \pm 25,6 \times 10^3$ y $606,9 \times 10^3 \pm 21,8 \times 10^3$ cel/ml, respectivamente. Posterior a esto no presentaron una fase estacionaria sino un decaimiento directo hasta el día 6, teniendo conteos de $233,7 \times 10^3 \pm 25 \times 10^3$ cel/ml y $443,8 \times 10^3 \pm 43,6 \times 10^3$ cel/ml, respectivamente, mientras que la réplica 1 mantuvo su fase exponencial hasta el día 3 con un conteo máximo de $541,2 \times 10^3 \pm 46,02 \times 10^3$ cel/ml. A partir de este punto, mantuvo una fase estacionaria hasta el día 4, manteniendo un conteo de $525 \times 10^3 \pm 61,4 \times 10^3$ cel/ml, seguido de su decaimiento en el día 5 con un conteo de $320 \times 10^3 \pm 37,8 \times 10^3$ cel/ml.

El registro y promedio de datos de los conteos celulares de cada réplica de los cinco tratamientos siguientes, correspondientes a los cultivos realizados de la especie *Tetraselmis maculata* se visualizan en las Gráficas 6-10, mismo que muestra las fases de crecimiento microalgal según la concentración de los diferentes medios.

Gráfico 6.

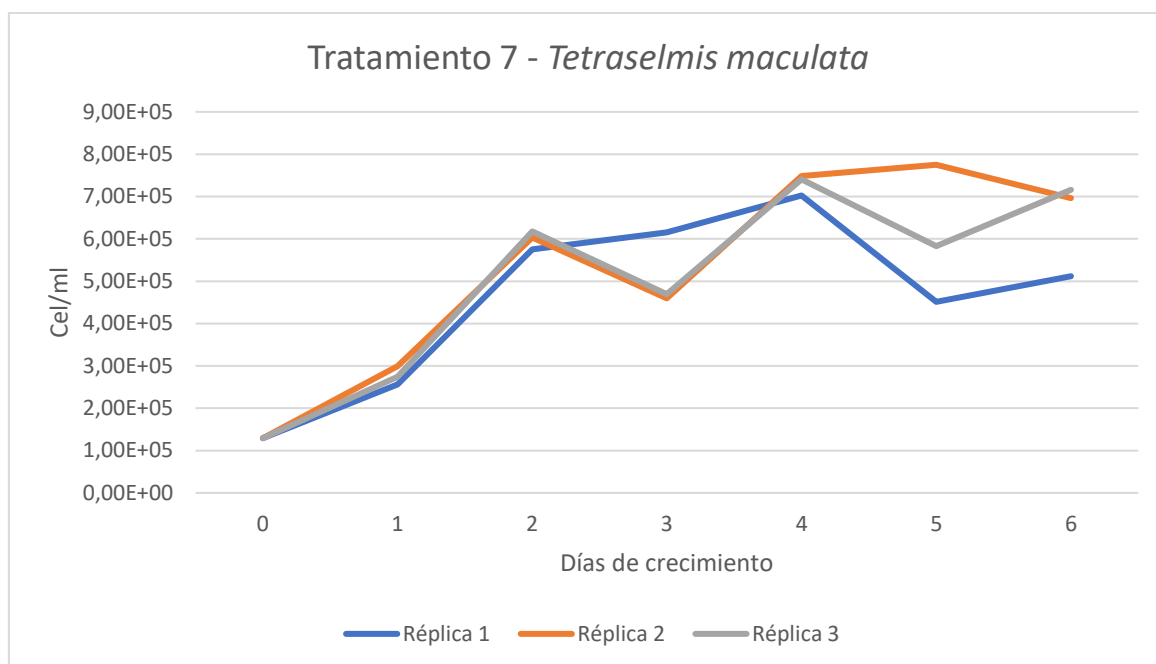
Crecimiento de Tetraselmis maculata con 100% de medio Guillard's F2.



El tratamiento 6 correspondiente al grupo control (100% medio Guillard F/2) presentó su fase de crecimiento exponencial hasta el día 4 para todas las réplicas, alcanzando conteos de $593,1 \times 10^3 \pm 46 \times 10^3$, $575,6 \times 10^3 \pm 41,1 \times 10^3$, y $598,1 \times 10^3 \pm 22,3 \times 10^3$ cel/ml, respectivamente. Posteriormente, las tres réplicas mostraron un decaimiento en el día 5 y un aumento en el día 6, pasando de conteos de $293,1 \times 10^3 \pm 36,1 \times 10^3$ a $458,7 \times 10^3 \pm 42,6 \times 10^3$ cel/ml para la réplica 1, de $384,4 \times 10^3 \pm 26,1 \times 10^3$ a $418,7 \times 10^3 \pm 36,8 \times 10^3$ cel/ml para la réplica 2, y, de $392,5 \times 10^3 \pm 25,4 \times 10^3$ a $641,9 \times 10^3 \pm 61,99 \times 10^3$ cel/ml para la réplica 3.

Gráfico 7.

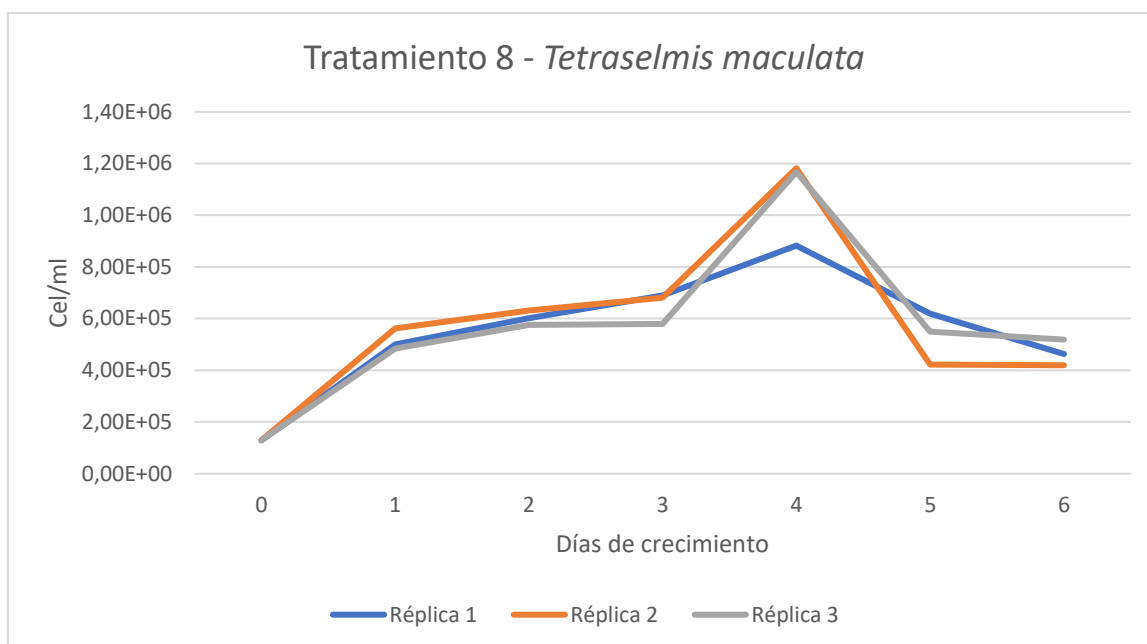
Crecimiento de Tetraselmis maculata con 75% de medio Guillard's F2 y 25% de fertilizante foliar



Del mismo modo, el tratamiento 7 correspondiente al medio con una relación de 75 – 25 de Guillard F/2 y fertilizante foliar, respectivamente, alcanzó su fase de crecimiento exponencial hasta el día 4, con conteos de $702,5 \times 10^3 \pm 20,2 \times 10^3$ cel/ml $748,7 \times 10^3 \pm 28,7 \times 10^3$ cel/ml y $740,6 \times 10^3 \pm 29,99 \times 10^3$ cel/ml, para cada réplica. Sin embargo, del día 2 al día 3 se observó un decaimiento donde se contabilizó $459,4 \times 10^3 \pm 37,8 \times 10^3$ cel/ml y $469,4 \times 10^3 \pm 38 \times 10^3$ cel/ml para las réplicas 2 y 3, solo la réplica 2 presentó una fase estacionaria del día 4 al día 5, mientras que la réplica 1 y 3 directamente presentaron una fase de decaimiento con conteos de $451,2 \times 10^3 \pm 82,2 \times 10^3$ cel/ml y $583,1 \times 10^3 \pm 56,2 \times 10^3$ cel/ml, seguido de un leve incremento con conteos de $511,9 \times 10^3 \pm 48,1 \times 10^3$ cel/ml y $716,2 \times 10^3 \pm 36,5 \times 10^3$ cel/ml.

Gráfico 8.

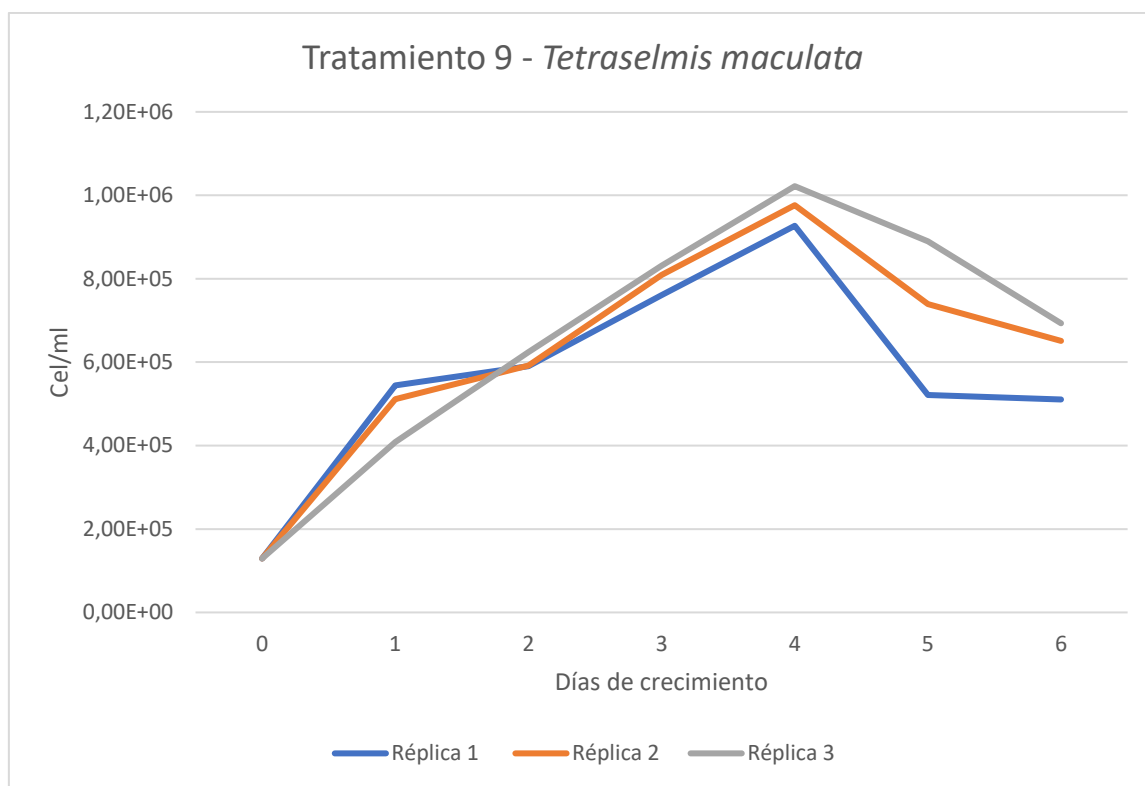
Crecimiento de Tetraselmis maculata con 50% de medio Guillard's F2 y 50% de fertilizante foliar



El tratamiento 8 correspondiente al medio con una relación de 50 – 50 de Guillard F/2 y fertilizante foliar, presentó una fase de crecimiento exponencial del día 1 al día 4 para todas sus réplicas. Fue un tratamiento bastante homogéneo, alcanzando conteos máximos de $882,5 \times 10^3 \pm 49,7 \times 10^3$ cel/ml, $1181,9 \times 10^3 \pm 50,9 \times 10^3$ cel/ml y $1667,5 \times 10^3 \pm 63,2 \times 10^3$ cel/ml, para las réplicas 1, 2 y 3, respectivamente, siendo los conteos más altos para esta especie, seguido de una fase de decaimiento bastante marcada hasta el día 6, culminando con conteos de $462,5 \times 10^3 \pm 41,2 \times 10^3$ cel/ml, $420 \times 10^3 \pm 32,2 \times 10^3$ cel/ml y $518,7 \times 10^3 \pm 72,6 \times 10^3$ cel/ml.

Gráfico 9.

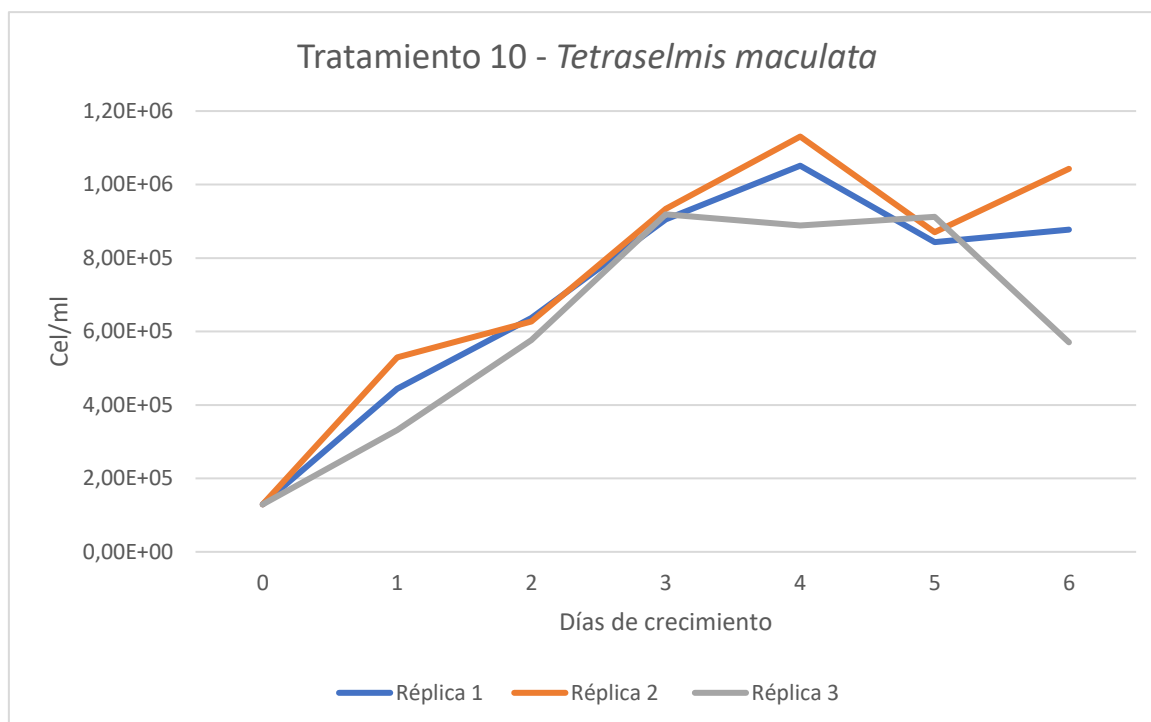
Crecimiento de Tetraselmis maculata con 25% de medio Guillard's F2 y 75% de fertilizante foliar.



El tratamiento 9 correspondiente al medio con una relación de 25 – 75 de Guillard F/2 y fertilizante foliar, respectivamente, presentó un crecimiento de una fase exponencial desde el día 1 hasta el día 4. Al igual que el tratamiento 8 fueron conteos homogéneos para las 3 réplicas, logrando conteos de $926,9 \times 10^3 \pm 34,97 \times 10^3$ cel/ml, $976,2 \times 10^3 \pm 52,8 \times 10^3$ cel/ml y $1021,9 \times 10^3 \pm 91,6 \times 10^3$ cel/ml, seguido de una fase de decaimiento hasta el día 6, culminando con conteos de $510,6 \times 10^3 \pm 83,3 \times 10^3$ cel/ml, $650,6 \times 10^3 \pm 41,1 \times 10^3$ cel/ml y $693,1 \times 10^3 \pm 75,2 \times 10^3$ cel/ml.

Gráfico 10.

Crecimiento de Tetraselmis maculata con 100% de fertilizante foliar.



Por último, el tratamiento 10, correspondiente al cultivo con un medio 100% de fertilizante foliar alcanzó su fase de crecimiento exponencial del día 1 hasta el día 4, para las réplicas 1 y 2, con conteos máximos de $1051,2 \times 10^3 \pm 67,6 \times 10^3$ cel/ml y $1130,6 \times 10^3 \pm 67,97 \times 10^3$ cel/ml. Por otra parte, la réplica 3 alcanzó su punto máximo en el día 3 con un conteo de $918,7 \times 10^3 \pm 27,8 \times 10^3$ cel/ml. seguido de una fase estacionaria asta el día 5 para su posterior decaimiento en el día 6 con un conteo de $570 \times 10^3 \pm 60,3 \times 10^3$ cel/ml. Las réplicas 1 y 2 presentaron alta similitud en sus fases de crecimiento, incluyendo su leve incremento del día 5 al día 6.

Sinergia o antagonismo en el rendimiento microalgal de las especies.

La especie *Thalassiosira weissflogii* presentó mayor disparidad en el rendimiento y crecimiento de algas, observando en para el tratamiento 1 y 5, el punto máximo de

crecimiento sucedió en el día 4, mientras que para el tratamiento 2 y 3 sucedió en el día 5, y, para el tratamiento 4 sucedió en el día 2. Del mismo modo, el mayor conteo se registró en el tratamiento 3, superando al tratamiento control, mostrando sinergia en un medio equitativo (50 – 50) de ambos nutrientes, Guillard F/2 y el fertilizante foliar. Por el contrario, presentó antagonismo en medios donde el fertilizante foliar aumentaba o disminuía en comparación a la cantidad del medio Guillard, tal es el caso del tratamiento 2 y 4, donde los conteos máximos alcanzados fueron bajos comparados al tratamiento 1 (control) y 3.

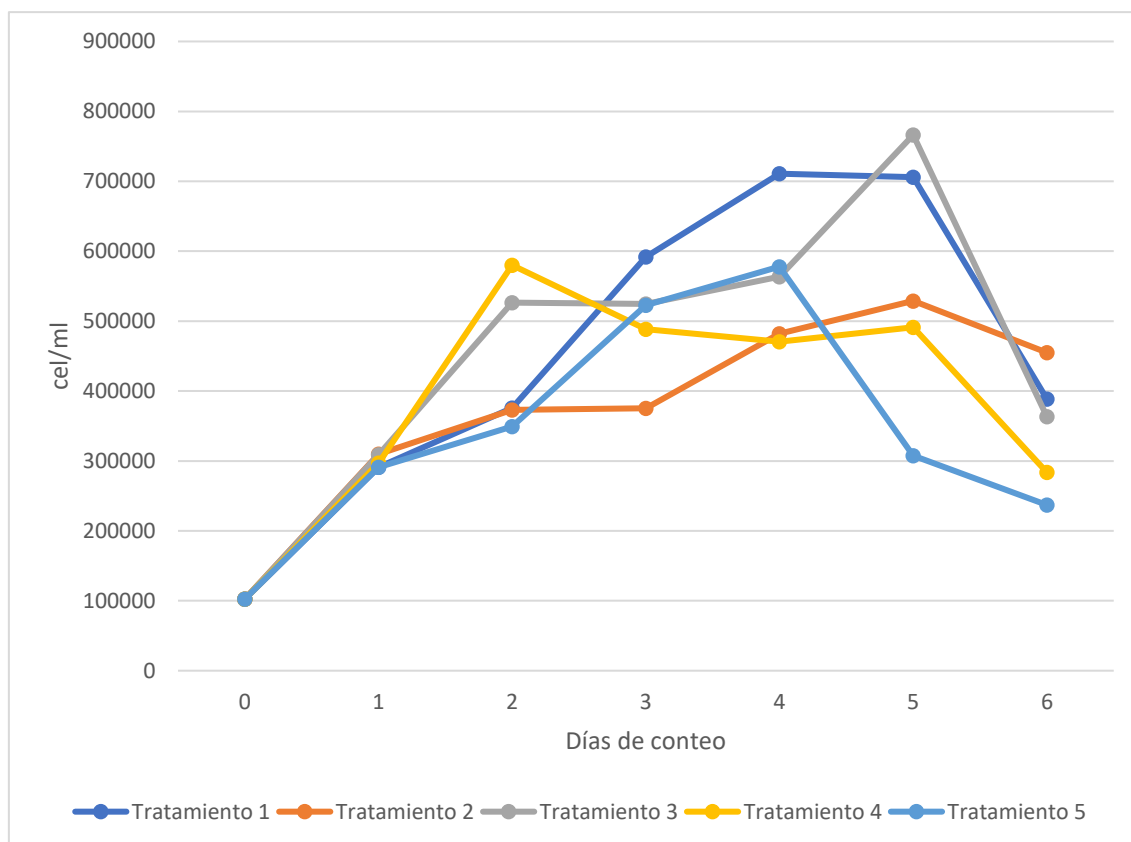
La especie de microalga *Tetraselmis maculata* presentó mayor paridad en sus resultados con las diferentes concentraciones establecidas en el medio de cultivo, dando como resultado que en todos los tratamientos la fase de crecimiento exponencial se alcanza en el día 4. Esta especie mostró una alta sinergia con el fertilizante foliar debido a que los tratamientos 7, 8, 9 y 10 presentaron mayores valores de conteos en comparación al tratamiento 6 (control), siendo mayor para el tratamiento 8, el cual presentó una relación 50 – 50 del medio Guillard F/2 y el fertilizante foliar, seguido del tratamiento 10 que solo fue nutrido con el fertilizante foliar.

Evaluación de las curvas de crecimiento

Respecto a las curvas de crecimiento, este crecimiento en cultivo inició por la fase de adaptación en donde todas las células inoculadas fueron viables y en condiciones de dividirse. Los datos fueron promediados para obtener una curva de crecimiento estandarizada por tratamiento, mismos que podemos observar en los Gráficos 11 y 12.

Gráfico 11

Curvas de crecimiento de *Thalassiosira weissflogii*.



Nota: El tratamiento 1 hace referencia al grupo control que es 100% medio Guillard's F2, el tratamiento 2 al cultivo con 75% medio Guillard's F2 y 25% fertilizante foliar, el tratamiento 3 al cultivo con 50% medio Guillard's F2 y 50% fertilizante foliar, el tratamiento 4 al cultivo con 25% medio Guillard's F2 y 75% fertilizante foliar, por el último, el tratamiento 5 al cultivo con 100% de fertilizante foliar en su medio.

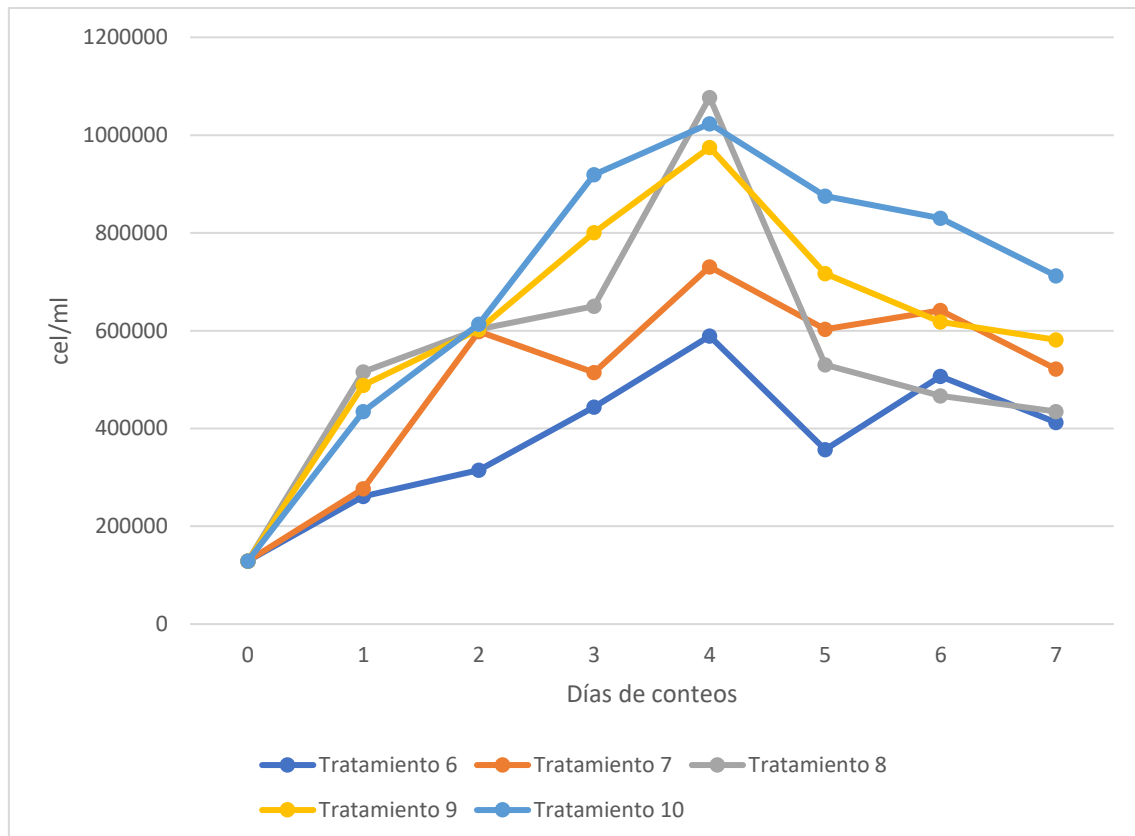
En el gráfico 11 se observa que la especie *Thalassiosira weissflogii* registró curvas de crecimiento continuo hasta los días 2, 4 y 5 de cultivo, en sus diferentes tratamientos.

La mayor curva y fase exponencial se presenta en el tratamiento 3, presentando mayor crecimiento y uniformidad, a diferencia del tratamiento 4, donde se observan dos puntos de crecimiento, la segunda posterior a un declive. Solo un tratamiento, el correspondiente a la relación 50 – 50 del medio Guillard F/2 y fertilizante foliar, presentó una curva de

crecimiento similar al del grupo control (100% medio Guillard F/2), representando un medio viable para el crecimiento celular de la especie *Thalassiosira weissflogii*.

Gráfico 12.

Curvas de crecimiento de *Tetraselmis maculata*



Nota: El tratamiento 6 hace referencia al grupo control que es 100% medio Guillard's F2, el tratamiento 7 al cultivo con 75% medio Guillard's F2 y 25% fertilizante foliar, el tratamiento 8 al cultivo con 50% medio Guillard's F2 y 50% fertilizante foliar, el tratamiento 9 al cultivo con 25% medio Guillard's F2 y 75% fertilizante foliar, por el último, el tratamiento 10 al cultivo con 100% de fertilizante foliar en su medio.

En el gráfico 12, se diferencia que la especie *Tetraselmis maculata* registró curvas de crecimiento hasta el día 4 de cultivo, posterior a esto presentó fases estacionarias y de decaimiento en sus diferentes tratamientos. Referente a la altura de las curvas de

crecimiento, estas fueron mayores en los conteos de las diferentes concentraciones experimentales con el fertilizante foliar de la especie *Tetraselmis maculata*, superando los conteos bases ya establecidos por el laboratorio. La mayor altura de las curvas de crecimiento la presentó el tratamiento 8 correspondiente a la relación 50-50, superando significativamente a la altura de la curva de crecimiento celular del grupo control.

Cálculo del Peso Celular

En los datos obtenidos de peso celular de la especie *Thalassiosira weissflogii*, el tratamiento 1 referente al grupo control tuvo un peso celular de 61.15 pg, seguido del tratamiento 2 con un peso de 60.50 pg, el tratamiento 3 con un peso celular de 61.34 pg, el tratamiento 4 con un peso celular de 61.07, y, el tratamiento 5 con un peso de 61.08 pg, demostrando un mejor resultado en el tratamiento 3, cuando se cultivó en un medio enriquecido con 50% del fertilizante foliar y 50% del medio Guillard's F2.

Referente a la especie *Tetraselmis maculata*, el tratamiento 6 (grupo control) obtuvo un peso celular de 61.12 pg, el tratamiento 7 un peso celular de 61.32 pg, el tratamiento 8 un peso celular de 61.76, el tratamiento un peso celular de 61.54 pg, y, por último, el tratamiento 10 obtuvo un peso celular de 61.55 pg, demostrando un mejor resultado en el tratamiento 10, el cual presentó un medio nutrido en un 100% con el fertilizante foliar.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- De las 5 concentraciones probadas utilizando el fertilizante foliar y el medio Guillard's F2, la especie *Thalassiosira weissflogii* presentó mayor efecto en el crecimiento y proximidad al grupo control (tratamiento 1) en el tratamiento 3, el cual fue un medio nutrido con una relación 50 – 50 del medio Guillard F/2 y el fertilizante foliar. Del mismo modo, la especie *Tetraselmis maculata* tuvo un mayor efecto en el crecimiento en el tratamiento 8, que representa la misma relación de nutrientes en el medio de cultivo que el tratamiento 3, siendo esta relación la óptima para el crecimiento de ambas especies.
- A pesar de que el mayor crecimiento para ambas especies se dio en una relación que incluye ambos medios, la especie *Thalassiosira weissflogii* presentó antagonismo con el fertilizante foliar cuando este era total, mayor o menor en proporción al medio Guillard F/2, mientras que la especie *Tetraselmis maculata* presentó una alta sinergia con el fertilizante foliar como medio nutritivo de cultivo, siendo mayor en una relación 50 – 50 con el medio Guillard F/2.
- En base a las curvas de crecimiento, las de la especie *Thalassiosira weissflogii* fueron muy dispares en relación a los días de alcance de su fase exponencial, siendo mayor en el tratamiento 3, seguido del tratamiento 1 (grupo control) con conteos promedios similares, de $766,2 \times 10^3 \pm 59,4 \times 10^3$ cel/ml y $710,8 \times 10^3 \pm 42,6 \times 10^3$ cel/ml, respectivamente, mientras que la especie *Tetraselmis maculata* presentó completa uniformidad en su fase exponencial y fue mayor en

el tratamiento 8 aumentando el crecimiento casi en un 100% con un conteo promedio de $1077,3 \times 10^3 \pm 54,6 \times 10^3$ cel/ml comparado al grupo control (tratamiento 6) que alcanzó un conteo promedio máximo de $588,9 \times 10^3 \pm 36,5 \times 10^3$ cel/ml.

- En los datos obtenidos de peso celular el valor fue mayor para el tratamiento 8 y 10 correspondientes a la especie *Tetraselmis maculata*, con un peso de 61.76 pg y 61.55pg, respectivamente. Mientras que para la especie *Thalassiosira weissflogii* fue mayor en los tratamientos 3 y 1, con pesos de 61.34 pg y 61.15 pg, respectivamente.

Recomendaciones

- Realizar réplicas del diseño experimental planteado en el presente documento, en biorreactores de mayor capacidad volumétrica con el fin de estimar una producción masiva y el efecto del fertilizante en cantidades mayores.
- Comparar diferentes fertilizantes foliares que presenten una composición nutricional similar al estudiado en el presente trabajo, con el fin de determinar los nutrientes que desencadenan un óptimo crecimiento microalgal.
- Replicar la metodología aplicada en el cultivo de otras especies de microalgas de interés para el sector acuícola, entre ellas destacan las especies del género *Chlorella* y *Chaetoceros*, fortaleciendo así las bases de datos existentes sobre el crecimiento de microalgas.
- Reelaborar las concentraciones establecidas analizándolo desde un enfoque económico, evaluando el costo – beneficio de la aplicación del fertilizante foliar en comparación al uso del medio Guillard´s F2.

BIBLIOGRAFÍA

- Abalde, J., Cid, A., Fidalgo, P., Torres, E., y Herrero, C. (1995). *Microalgas: Cultivo y Aplicaciones*. Universidad de La Coruña .
<https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497695>
- Algae bank. (2018). *Medio Guillard F/2*.
- Amay, J. L. (2022). *Importancia de los principales parámetros físico químicos que influyen en el cultivo de microalgas marinas*. Machala : Universidad Técnica de Machala.
- Arenas, Y. (2023). Composición bioquímica de las diatomeas *Phaeodactylum tricornutum* y *Thalassiosira weissflogii* en cultivo estático y semicontinuo.
- Becker, E. W. (1994). *Microalgae: Biotechnology and Microbiology*. Cambridge University Press .
- Beltrán - Rocha, J. C., Guajardo - Barbosa, C., Barceló - Quintal, I. D., y López - Chuken, U. J. (2017). Biotratamiento de efluentes secundarios municipales utilizando microalgas: Efecto del pH, nutrientes (C, N y P) y enriquecimiento con CO₂. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52(3), 417-427. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572017000300001>
- Butcher, R. (1959). An introductory account of the smaller algae of British coastal waters. Part I: Introduction and Chlorophyceae. *Fisheries Investigations*, 4(1), 1-74.
- Cañavate, J. P. (2011). Funciones de las Microalgas en Acuicultura. *Las algas como recurso: valorización. Aplicaciones industriales y tendencias*, 193-205.
- Espinoza, S. (2017). *Efecto de las concentraciones de plomo en el crecimiento de la microalga marina tetraselmis suecica*. Universidad Nacional del Santa.

Food and Agriculture Organization . (2015). *Cultivo de microalgas* .

García - Romeral, J., Pavía - Gómez, M., García Sanz, T., Chirivella - Martorell, J., y Serrano - Aroca, Á. (2017). Principios de Biotecnología y Bioingeniería en el cultivo de microalgas: importancia, problemas tecnológicos, tipos y sistemas de cultivos, crecimiento, factores limitantes, selección, aislamiento, escalado y caracterización bioquímica. *Nereis. Revista Iberoamericana Interdisciplinar de Métodos, Modelización y Simulación*(9), 15-129.

García, N., López, J. A., Miranda, A., Martínez, M., y Huerta, N. G. (2012). Effect of salinity on growth and chemical composition of the diatom *Thalassiosira weissflogii* at three culture phases . *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40(2), 435-440. <https://doi.org/10.3856/vol40-issue2-fulltext-18>

Gómez, A. L., López, J. A., Rodríguez, A., Fortiz, J., Martínez, L. R., Apolinar, A., y Enríquez, L. F. (marzo de 2016). Producción de compuestos fenólicos por cuatro especies de microalgas marinas sometidas a diferentes condiciones de iluminación. *Latin american journal of aquatic research*, 44(1). <https://doi.org/10.3856/vol44-issue1-fulltext-14>

Gómez, A. L., y López, J. A. (2014). *Evaluación de la concentración celular, biomasa y contenido de compuestos fenólicos de cuatro especies de microalgas marinas cultivadas en contenedores de diferente material*. Universidad de Sonora .

Gómez, L. M. (2007). Microalgas: Aspectos ecológicos y biotecnológicos . *Revista Cubana de Química*, 19(2), 3-20.

González, B. K., Rivas, A. M., Valdez, A., y Gayosso, M. A. (2021). Microalgae as biostimulants: a new approach in agriculture . *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 38(4). <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03192-2>

- Guillard, R. R., y Ryther, J. H. (1962). Studies of marine planktonic diatoms: I. *Cyclotella nana* hustedt, and *detonula confervacea* (cleve) gran. *Canadian Journal of Microbiology* . <https://doi.org/10.1139/m62-029>
- Hasle, G. F. (1977).
- Hernández, A., y Labbé, J. I. (2014). Revista Iberoamericana Interdisciplinar de Métodos, Modelización y Simulación. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49(2), 157-173. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572014000200001>
- Kociolek, J. P., Theriot, E. C., Williams, D. M., Julius, M., Stoermer, E. F., y Kingston, J. C. (2015). Centric and Araphid Diatoms. *Freshwater Algae of North America (Second Edition). Ecology and Classification. Aquatic Ecology*, 653-708. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385876-4.00015-3>
- Levine, I. A., y Florence, J. (2018). *Microalgae in health and disease prevention* . Academic Press.
- Mayorga, C., Murillo, E., y Manso, L. (2017). Luteína y B-caroteno como principales antioxidantes acumulados en la microalga *Dunaliella salina*. *Prisma Tecnológico* , 8(1), 34-38.
- Mendieta, B. A. (2021). *Efectos de la absorción de diferentes espectros de luz sobre el crecimiento y síntesis bioquímica en las microalgas Tetraselmis spp. y Rhodomonas spp, mediante revisión bibliográfica*. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Moronta, R., Mora, R., y Morales, E. (2006). Respuesta de la microalga *Chlorella sorokiniana* al pH, salinidad y temperatura en condiciones axénicas y no axénicas. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23(1), 28-43.

- Muller, A. (2000). The role of microalgae in aquaculture: situation and trends . *Journal of Applied Phycology* , 12(3), 527-534.
- Orantes, P. D. (2022). *Optimización del cultivo de microalgas en agua residual sintética para la producción de biodiésel*.
- Osorio, J., Valenzuela, H., Pizaña, J., Ramírez, D., Meléndez, E., López, M., . . . Martínez, M. (2023). Microalgae-Based Biotechnology as Alternative Biofertilizers for Soil Enhancement and Carbon Footprint Reduction: Advantages and Implications. *Marine Drugs*, 21(2), 93. <https://doi.org/10.3390/md21020093>
- Plaza, B. M., Gómez, C., Acién, F. G., y Jimenez, S. (2018). Effect of microalgae hydrolysate foliar application (*Arthrospira platensis* and *Scenedesmus* sp.) on *Petunia x hybrida* growth. *Journal of Applied Phycology* , 30, 2359-2365. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1427-0>
- Ramos, C. (2021). Diseños de investigación experimental . *CienciAmérica*, 10(1), 1-7. <https://doi.org/file:///C:/Users/HP/Downloads/Dialnet-Editorial-7890336.pdf>
- Richmond, A., y Hu, E. (2013). *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118567166>
- Robayo López, C. M. (2005). *Aplicación del probiótico Roseobacter 27-4 a la mejora del cultivo larvario de robadallo (*Scophthalmus maximus* Linnaeus, 1758) bajo la presencia del patógeno *Vibrio anguillarum**. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Rosendo, P. C., Goldner, A., y Mendes, M. P. (2022). Importancia ambiental, ecológica, y económica de las microalgas: Una secuencia didáctica para la educación media. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*, 17(4), 275-297.

- Santos, A. M., González, Y., y Martín, C. (2014). *Uso y aplicaciones potenciales de las microalgas* .
- Suchithra, M. R., Murugan, D., Suba, M., Usha, R., Rasheeq, A., Preethi, B., y Dineshkumar, R. (2022). Effectiveness of green microalgae as biostimulants and biofertilizer through foliar spray and soil drench method for tomato cultivation. *South African Journal of Botany*, 146, 740-750. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.12.022>
- Tejada, S., Gonzalez, C., Rojas, E., y Jiménez, S. (2020). Effect of the Foliar Application of Microalgae Hydrolysate (*Arthrospira platensis*) and Silicon on the Growth of *Pelargonium hortorum* L.H. Bailey under Salinity Conditions. *Agronomy*, 10(11), 1713. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111713>
- Valenzuela, A., Sanchueza, J., y Valenzuela, R. (2015). Las microalgas: una fuente renovable para la obtención de ácidos grasos omega-3 de cadena larga para la nutrición humana y animal. *Revista chilena de nutrición* , 42(3), 306-310. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182015000300013>
- Voltolina, D., Nieves, M., y Piña, P. (1998). Calidad de microalgas para la acuicultura. . *Avances en Nutrición Acuícola* .
- Zafra, A., Díaz, M., Dávila, F., Bopp, G., Vela, K., López, M., y Colchado, J. (2017). Cultivo de microalgas marnas potenciales para la acuicultura del litoral entre Puerto Salaverry y Puerto Chicama, La Libertad, Perú. *Arnaldoa*, 24(2), 567-582.
- Zar, J. H. (1999). Data transformations . *Biostatistical analysis* .

ANEXOS

Anexo 1. Formato de registro de conteos celulares diario.

Conteos celulares (cel/ml) (Fecha: / /)										
N° de conteos	<i>Thalassiosira weissflogii</i>					<i>Tetraselmis maculata</i>				
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado “EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UN FERTILIZANTE FOLIAR ENRIQUECIDO EN EL CRECIMIENTO DE THALASSIOSIRA WEISSFLOGII Y TETRASELMIS MACULATA BAJO DIFERENTES REGÍMENES NUTRICIONALES.”, presentado por la estudiante, BLGA. MARÍA PAULINA TERÁN PÁRRAGA, fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 5%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

 INFORME DE ANÁLISIS
magister

Tesis PAULINA TERÁN - 30 mayo

5%
Textos sospechosos

< 1% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas

3% Idiomas no reconocidos

1% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: Tesis PAULINA TERÁN - 30 mayo.docx	Depositante: SONNYA PATRICIA MENDOZA LOMBANA	Número de palabras: 3975
ID del documento: b643bf7b41ff669661e9f9d75c4c922a44e96cea	Fecha de depósito: 30/5/2025	Número de caracteres: 25.997
Tamaño del documento original: 63,12 kB	Tipo de carga: interface	
	fecha de fin de análisis: 30/5/2025	

Ubicación de las similitudes en el documento:

MSC. YAHIRA PIEDRAHITA FAQUEZ.
TUTORA