



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR**  
**CARRERA DE BIOLOGÍA MARINA**

REVISIÓN SISTEMÁTICA Y CARACTERIZACIÓN DE MICROALGAS  
INCORPORADAS COMO ALIMENTO VIVO EN CULTIVOS DE  
ESPECIES BIOACUÁTICAS EN ECUADOR, 2010-2021

**TRABAJO PRÁCTICO**

Previo a la obtención del título de

**BIÓLOGO MARINO**

**Autor:**

DIERMENSON ALEXANDER SALAZAR CAMACHO

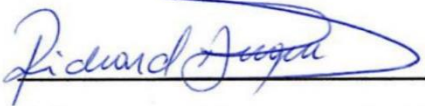
**Tutor:**

BLGA. MARÍA HERMINIA CORNEJO RODRÍGUEZ PhD.

La Libertad – Ecuador

2022

## TRIBUNAL DE GRADO



---

Blgo. Richard Duque Marín, Mgt.  
Decano  
Facultad de Ciencias del Mar



---

Ing. Jimmy Villón Moreno, M.Sc.  
Director  
Carrera de Biología Marina



---

Blga. María Cornejo Rodríguez PhD.  
Docente Tutor



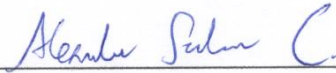
Firmado electrónicamente por:  
ISABEL JANETH  
GALARZA TIPAN

---

Blga. Janeth Galarza Tipan PhD.  
Docente de Área

## DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad de los datos, ideas y resultados expuestos en este trabajo de titulación, le pertenecen exclusivamente al autor, y el patrimonio intelectual del mismo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



---

Diarmeson Alexander Salazar Camacho

C.I. 0940682073

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por darme siempre las fuerzas para continuar en lo adverso, por guiarme en el camino del bien y darme sabiduría en las situaciones difíciles. A mis padres por darme la vida y coraje para escalar y conquistar este peldaño más en la vida.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Ciencias del Mar, Carrera de Biología Marina y a sus docentes que me formaron como profesional competente en esta hermosa carrera.

A mi querida familia, por estar ahí apoyándome en los problemas y adversidades que se me presentaron en el camino, por el apoyo incondicional moral y ser mi mayor motivación para poder luchar para que la vida nos depare un mejor futuro.

A la Blga. María Herminia Cornejo Rodríguez PhD., por haberme aconsejado e impartido sus conocimientos profesionales como tutora, también por la paciencia brindada, la confianza y apoyo, además de sus acertadas correcciones en este trabajo.

## **DEDICATORIA**

A Dios, por brindarme fortaleza y vida, permitiéndome alcanzar esta meta anhelada.

A mis padres Paul Salazar Salazar y María Camacho Vargas, y a mi querida abuelita Isi Salazar Vargas por ser el apoyo y pilar fundamental en los buenos y malos momentos de mi vida, brindándome la confianza a lo largo de mi trayectoria profesional y humana, inculcándome buenos valores y motivándome a seguir adelante, a nunca darme por vencido y alcanzar todos mis objetivos propuestos.

A mis hermanos/as y especialmente a mi querida hija, por ser el motivo de mi inspiración.

**Diermenson Alexander Salazar Camacho**

# ÍNDICE

RESUMEN .....	i
ABSTRACT .....	ii
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. JUSTIFICACIÓN .....	6
3. OBJETIVOS .....	8
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	8
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
4. MARCO TEÓRICO .....	9
4.1 Generalidades de las microalgas .....	9
4.1.1 Definición .....	9
4.1.2 Características .....	9
4.1.3 Historia y origen del cultivo de microalgas .....	10
4.1.4 Adaptaciones de las microalgas.....	10
4.1.5 Hábitat .....	11
4.1.6 Estructura Celular .....	11
4.1.7 Reproducción.....	13
4.1.8 Niveles de organización celular.....	14
4.1.9 Taxonomía de las microalgas .....	14
4.1.10 Clasificación.....	15
4.1.10.1 División Cyanophyta .....	15
4.1.10.2 División Dinophyta .....	16
4.1.10.3 División Euglenophyta .....	16
4.1.10.4 División Cryptophyta.....	17
4.1.10.5 División Heterokontophyta .....	17
4.1.10.6 División Chlorophyta .....	18
4.1.11 Rol ecológico .....	18
4.1.12 Importancia en la acuicultura .....	18
4.2 Cultivo de microalgas .....	19
4.2.1 Medios de cultivo .....	19
4.2.1.1 Medio Guillard F/2 .....	19

4.2.1.2	Medio Basal de Bold (BBM).....	20
4.2.1.3	Bayfolan o Abono Foliar .....	20
4.2.2	Técnicas de aislamiento .....	21
4.2.2.1	Aislamiento con micropipetas .....	21
4.2.2.2	Métodos basados en tactismos .....	21
4.2.2.3	Diluciones seriadas.....	21
4.2.2.4	Aislamiento en placa.....	22
4.2.3	Inoculación de microalgas.....	22
4.2.4	Parámetros a considerar en un sistema de cultivo .....	22
4.2.4.1	Parámetros Físicos.....	23
4.2.4.2	Parámetros Químicos .....	24
4.2.4.3	Parámetros Biológicos.....	26
4.2.5	Fases de crecimiento.....	27
4.2.6	Sistemas de cultivo .....	28
4.2.6.1	Sistemas abiertos: .....	28
4.2.6.2	Sistemas cerrados o fotobiorreactores: .....	29
4.2.7	Métodos de cosecha.....	29
4.3	Aspectos nutricionales de las algas .....	30
4.3.1	Valor nutricional de las microalgas.....	30
4.3.2	Composición química.....	30
4.3.2.1	Proteínas y aminoácidos .....	30
4.3.2.2	Carbohidratos .....	31
4.3.2.3	Lípidos.....	31
4.3.2.4	Ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs).....	32
4.3.2.5	Vitaminas.....	32
4.3.2.6	Minerales.....	32
4.3.2.7	Pigmentos .....	33
4.3.2.8	Ácidos nucleicos.....	33
5.	METODOLOGÍA.....	34
5.1	Área de estudio .....	34
5.2	Tipo de investigación .....	35
5.3	Delimitación de la investigación .....	35

5.4	Análisis de datos .....	35
5.5	Métodos y técnicas de investigación .....	35
5.5.1	Métodos teóricos .....	36
5.5.2	Métodos empíricos.....	36
6.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	37
6.1	Compilación de información referente a las especies de microalgas incorporadas como alimento vivo en cultivos de especies bioacuáticas en el Ecuador. ....	37
6.2	Categorización de las principales microalgas por preferencia alimenticia de las especies de cultivo pertenecientes a los grupos taxonómicos (crustáceos, moluscos y peces). ....	41
6.3	Descripción de las especies de microalgas considerando sus características biológicas y propiedades nutricionales. ....	47
6.3.1	<i>Chaetoceros gracilis</i> .....	48
6.3.2	<i>Chaetoceros calcitrans</i> .....	49
6.3.3	<i>Chaetoceros muelleri</i> .....	50
6.3.4	<i>Chlorella</i> sp.....	51
6.3.5	<i>Cyclotella</i> sp. ....	52
6.3.6	<i>Dunaliella salina</i> .....	53
6.3.7	<i>Isochrysis galbana</i> .....	54
6.3.8	<i>Nannochloropsis</i> sp. ....	55
6.3.9	<i>Navicula</i> sp. ....	56
6.3.10	<i>Pavlova lutheri</i> .....	57
6.3.11	<i>Prorocentrum</i> sp. ....	58
6.3.12	<i>Rhodomonas</i> sp.....	59
6.3.13	<i>Skeletonema costatum</i> .....	60
6.3.14	<i>Spirulina</i> sp.....	61
6.3.15	<i>Tetraselmis chuii</i> .....	62
6.3.16	<i>Tetraselmis maculata</i> .....	63
6.3.17	<i>Tetraselmis suecica</i> .....	64
6.3.18	<i>Thalassiosira pseudonana</i> .....	65
6.3.19	<i>Tisochrysis lutea</i> .....	66
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	67
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	70



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Composición bioquímica de microalgas. ....	4
<b>Tabla 2.</b> Compilación general de la información. ....	37
<b>Tabla 3.</b> Frecuencia absoluta de especies de microalgas en los trabajos compilados. .....	40
<b>Tabla 4.</b> Categoría crustáceos. ....	41
<b>Tabla 5.</b> Categoría moluscos. ....	43
<b>Tabla 6.</b> Categoría peces.....	46

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1.</b> <i>Chaetoceros gracilis</i> .....	48
<b>Fotografía 2.</b> <i>Chaetoceros calcitrans</i> . ....	49
<b>Fotografía 3.</b> <i>Chaetoceros muelleri</i> . ....	50
<b>Fotografía 4.</b> <i>Chlorella</i> sp.....	51
<b>Fotografía 5.</b> <i>Cyclotella</i> sp. ....	52
<b>Fotografía 6.</b> <i>Dunaliella salina</i> .....	53
<b>Fotografía 7.</b> <i>Isochrysis galbana</i> .....	54
<b>Fotografía 8.</b> <i>Nannochloropsis</i> sp.....	55
<b>Fotografía 9.</b> <i>Navicula</i> sp. ....	56
<b>Fotografía 10.</b> <i>Pavlova lutheri</i> .....	57
<b>Fotografía 11.</b> <i>Prorocentrum</i> sp. ....	58
<b>Fotografía 12.</b> <i>Rhodomonas</i> sp.....	59
<b>Fotografía 13.</b> <i>Skeletonema costatum</i> .....	60
<b>Fotografía 14.</b> <i>Spirulina</i> sp.....	61
<b>Fotografía 15.</b> <i>Tetraselmis chuii</i> .....	62
<b>Fotografía 16.</b> <i>Tetraselmis maculata</i> .....	63
<b>Fotografía 17.</b> <i>Tetraselmis suecica</i> .....	64
<b>Fotografía 18.</b> <i>Thalassiosira pseudonana</i> .....	65
<b>Fotografía 19.</b> <i>Tisochrysis lutea</i> .....	66

## ÍNDICE DE FIGURA

<b>Figura 1:</b> Estructura celular de una microalga. a) Célula eucariónica, b) Célula procariótica .....	12
<b>Figura 2:</b> Reproducción sexual de las microalgas. ....	13
<b>Figura 3:</b> Fases de crecimiento de microalgas. ....	27
<b>Figura 4:</b> Mapa de Ecuador .....	34

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1:</b> Especies de microalgas incorporadas como alimento vivo en crustáceos. .....	42
<b>Gráfico 2:</b> Especies de microalgas incorporadas como alimento vivo en moluscos. .....	45
<b>Gráfico 3:</b> Especies de microalgas incorporadas como alimento vivo en moluscos. .....	46

# REVISIÓN SISTEMÁTICA Y CARACTERIZACIÓN DE MICROALGAS INCORPORADAS COMO ALIMENTO VIVO EN CULTIVOS DE ESPECIES BIOACUÁTICAS EN ECUADOR, 2010-2021

Autor: Salazar Camacho Diermenson

Tutor: Blga. María Cornejo Rodríguez PhD.

## RESUMEN

La nutrición de especies de cultivo está ligada con la utilización de microalgas, en base a lo cual se establece que el valor nutricional del alimento vivo suministrado es un factor crítico que determina la calidad, alimentación y salud de los animales cultivados en cautiverio; como consecuencia, estos microorganismos son fundamentales en la comida para la asimilación de nutrientes esenciales (proteína, carbohidratos, lípidos, etc.) entre crustáceos, moluscos y peces en sus primeros estadios de vida. El objetivo de la actual investigación fue el analizar las principales microalgas incorporadas como alimento vivo en cultivos de especies bioacuáticas en el Ecuador, para lo cual se realizó una búsqueda bibliográfica de publicaciones en revistas científicas, páginas web y repositorios institucionales, durante el periodo 2010 – 2021. Se obtuvieron 12 trabajos científicos relacionados a las microalgas de preferencia alimenticia para el grupo de crustáceos, 12 para el grupo de moluscos y 2 para el grupo de peces, dando un total de 26 documentos científicos compilados, mostrando una diversidad de 23 especies de microalgas de las cuales *Chaetoceros gracilis*, *Isochrysis galbana* y *Thalassiosira sp.* fueron las microalgas más representativas dentro de la región. Se concluye que en la acuicultura es primordial el fortalecimiento de conocimientos técnicos sobre la diversificación de microalgas con gran valor real y potencial nutricional, que pueden llegar a ofrecer ciertas especies de microorganismos.

**Palabras claves:** Microalgas, alimento vivo, nutrición, especies bioacuáticas.

## ABSTRACT

The nutrition of crop species is linked to the use of microalgae, so the nutritional value of the feed supplied is a critical factor that determines the quality and health of the animals. Therefore, these microorganisms are essential in feeding larvae and juveniles of crustaceans and fish in their early stages. Therefore, with the aim of describing the main microalgae incorporated as live food in crops of bioaquatic species in Ecuador, a bibliographic search of publications carried out in scientific journals, web pages and institutional repositories during the period 2010 - 2021 was carried out. 12 scientific papers about food preference microalgae for the crustacean group, 12 for the mollusk group and 2 for the fish group, giving a total of 26 compiled scientific documents, showing a diversity of 23 species of microalgae of which *Chaetoceros gracilis*, *Isochrysis galbana* and *Thalassiosira* sp. they were the most representative. Finally, it was concluded that nutrition in aquaculture is one of the most important aspects to consider, so it is essential to strengthen technical knowledge on the current diversification of microalgae with actual and great nutritional potential.

**Keywords:** Microalgae, live food, nutrition, aquaculture crops.

# 1. INTRODUCCIÓN

El principal interés por la acuicultura a nivel mundial, se debe al gran crecimiento de la población y la urgente necesidad de producir alimentos que contribuyan a la seguridad alimentaria. La migración humana que se ha producido hacia las zonas costeras ha llevado a un incremento de la población que desde el año 2000 con aproximadamente 6,200 millones de habitantes, se proyecta para el 2035 en aproximadamente 9,000 millones. Palette y colaboradores (2004) señalan, que el marcado crecimiento de la población estaba generando un gran déficit de alimentos y, agregaron que las grandes pesquerías que contribuían sustancialmente a cubrir las necesidades proteicas ya llegaron al máximo rendimiento sostenible, situación que parece replicarse hoy en día (2022).

Chow (2000) comenta que en Nicaragua se entregaron concesiones para promover y fortalecer el desarrollo de actividades acuícolas en diversas provincias costeras, sin embargo, uno de los factores limitantes es la obtención y producción de alimento vivo que cubran todos los requerimientos necesarios para las especies de cultivo. En efecto, el 30% de la producción mundial de microalgas está destinada al consumo animal aportando beneficios a la producción e implicando la necesidad de mantener disponible alimento de calidad adecuada y en la cantidad que es necesaria para el organismo que se está cultivando; no obstante, a pesar de las muchas investigaciones dirigidas a sustituirlo, son pocos los microalimentos vivos que se están generando (Hernández & Labbé, 2014). El valor nutricional del alimento suministrado es un factor crítico que determinará la calidad y salud de los organismos de cultivo en alguna etapa de su vida (Marshall et al., 2010).

Entre las microalgas más comunes utilizadas en la alimentación están: Chlorella, Tetraselmis, Isochrysis, Phaeodactylum, Chaetoceros, Nannochloropsis, Skeletonema y Thalassiosira (Trelles et al., 2017). Cabe agregar, que muchas

especies y cepas de microalgas tienen perfiles muy detallados de aminoácidos, ácidos grasos saturados e insaturados y que de varias de ellas se conocen los contenidos de vitaminas y de otros compuestos relevantes para la alimentación y nutrición de las varias especies sujetas a cultivo (tabla 1), cuyas necesidades también están conocidas o se están estudiando en mayor o menor detalle para de esta manera poder distinguir microalgas “buenas” y “malas”.

**Tabla 1.** Composición bioquímica de microalgas.

Fuente: Becker, 1994.

ESPECIE	PROTEINAS	CARBOHIDRATOS	LIPIDOS
<i>Scenedesmus obliquus</i>	50-56	10-17	12-14
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	48	17	21
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	12-17	14-22
<i>Spirogyra</i> sp.	6-20	33-64	11-21
<i>Dunaliella salina</i>	57	32	6
<i>Euglena gracilis</i>	39-61	14-18	4-20
<i>Tetraselmis maculata</i>	52	15	3
<i>Porphyridium cruentum</i>	28-39	40-57	9-14
<i>Spirulina máxima</i>	60-71	13-16	6-7
<i>Anabaena cylindrica</i>	43-56	25-30	4-7

En base a lo anterior, el objetivo del actual trabajo de investigación es describir las principales microalgas incorporadas como alimento vivo en cultivos de especies bioacuáticas en el Ecuador, para contribuir al mejoramiento del conocimiento técnico del profesional del área en lo concerniente a: la calidad de las microalgas, su composición bromatológica y sus bondades como dieta para una gran variedad de organismos de interés comercial; esto mediante la revisión sistemática y su caracterización biológica en fuentes bibliográficas de publicaciones institucionales o artículos científicos durante el periodo 2010 -2021.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la acuicultura es una de las actividades que ha tomado prestigio a nivel mundial. En Ecuador, los últimos años ha ido incrementando sus actividades acuícolas, presentando los principales grupos taxonómicos de cultivo: crustáceos sobresaliendo el camarón blanco (*Litopennaeus vannamei*), los moluscos, varios grupos son cultivados y por otro lado la cría de peces también va en aumento. Por esta razón se realizan investigaciones de carácter científico, estas investigaciones permiten llevar a cabo el buen desarrollo de estas especies que son cultivadas, siendo la alimentación, factores físicos y químicos, los principales parámetros para llevar a cabo una buena biología de cada especie cultivada. Es aquí donde interviene el potencial uso de las microalgas, estas participan directa e indirectamente en la nutrición de los organismos bioacuáticos, siendo muchas veces su principal dieta en los primeros estadios de vida. En el país existen muchos estudios sobre el uso de microalgas como alimento vivo, sin embargo, no existe una lista detallada del total de especies de microalgas, además de la preferencia en cuanto al consumo de las microalgas utilizadas como alimento entre los tres grupos principales (crustáceos, moluscos y peces). Es necesario contestar preguntas dentro de la acuicultura, una lista establecida de microalgas ayudaría a responder por qué una microalga es más usada que otra, cuáles son sus características del porque la hacen tan apetecidas por la especie, entre otras interrogantes. Solo así se podría llevar a cabo el desarrollo de la acuicultura dentro del país, por medio de las investigaciones que cada área requiera.

## 2. JUSTIFICACIÓN

En la acuicultura uno de los aspectos más importantes es la alimentación, por ello es trascendental tener conocimiento de los tipos de alimentos vivos que se le suministran a los organismos dentro los cultivos bioacuáticos. Entre los diferentes alimentos se encuentran las microalgas (Fitoplancton), productores primarios que cumplen un rol importante en la cadena alimenticia de muchas especies, desde sus primeros estadios larvarios, pasando por su desarrollo, hasta las etapas finales, complementando así los requerimientos nutricionales de cada especie (Luna, 2015). Muchas microalgas sirven como alimento para una gran variedad de especies de moluscos, crustáceos, peces marinos y dulceacuícolas, e incluso en forma indirecta ya que este grupo es importante para los consumidores primarios (Zooplancton) y este a su vez, también sirve como alimento vivo para las especies de cultivo. (Medina et al,2012) señalan que el uso adecuado de las microalgas en la alimentación tiene varios beneficios tanto en la supervivencia como el crecimiento y desarrollo de una gran variedad de especies que son cultivadas.

Por medio de este proyecto se pretende proporcionar información útil para el desarrollo de la acuicultura. Toda información proporcionada de este proyecto tiene como finalidad brindar conocimientos teóricos recopilados de investigaciones solidas que se han desarrollado durante los últimos años, es decir, a través de la revisión bibliográfica se pretende describir las microalgas desde el punto de vista biológico, sus características físicas, químicas y nutricionales, además de analizar las especies de microalgas según la preferencia alimenticia de los diferentes grupos taxonómicos (peces, moluscos y crustáceos) relevantes en la acuicultura del país. Se espera beneficiar a los diversos actores implicados en sector de la acuicultura, a través de una propuesta de diversificación del uso y tipo de microalgas como alimento vivo, relacionada a las preferencias alimenticias y requerimientos nutricionales de cada especie de cultivo. Además, este estudio pretende demostrar que existe una amplia diversidad de las microalgas como alimento vivo, siendo

utilizadas en gran territorio costero, las cuales son cultivadas y tienen múltiples beneficios no solo de alimentación y nutrición también factibles económicamente al momento de ser cultivadas en medios artificiales, a diferencia del alimento artificial que muchas veces son escasos y también más caros.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar las principales microalgas incorporadas como alimento vivo en cultivos de especies bioacuáticas en el Ecuador, para conocimiento técnico profesional del área acuícola, mediante la revisión bibliográfica y la caracterización nutricional de las mismas.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Organizar la información compilada referente a las especies de microalgas utilizadas en actividades acuícolas, mediante la revisión de la bibliografía consultada en revistas científicas, páginas web y repositorios institucionales.
- Establecer las principales microalgas por preferencia alimenticia de las especies de cultivo pertenecientes a los grupos taxonómicos (crustáceos, moluscos y peces), mediante la estructuración de la información.
- Detallar las características biológicas y nutricionales de las especies de microalgas empleadas como alimento vivo en los cultivos de organismos bioacuáticos.

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1 Generalidades de las microalgas**

#### **4.1.1 Definición**

Las microalgas son plantas microscópicas fotoautótrofas y unicelulares que tienen la capacidad de realizar la fotosíntesis, proceso por el cual generan biomasa orgánica a partir de CO<sub>2</sub> y luz, usando el agua como dador de electrones, y oxidándola a O<sub>2</sub>. Son responsables de producir aproximadamente la mitad del carbono orgánico en el planeta, siendo ésta una de las principales razones para considerarlas como organismos vivos de gran importancia (Fernández, 2014).

#### **4.1.2 Características**

Son un conjunto de microorganismos que contienen clorofila a y otros pigmentos fotosintéticos, generalmente formadas por una célula, pudiendo formar cadenas, colonias o cenobios. Organismos típicamente acuáticos que viven fijadas a un sustrato o flotando libremente en el agua. Además, son responsables también de la mayor parte del material orgánico que se encuentra en estos ecosistemas, así como también del 40% de la fotosíntesis del planeta (Cajamar, 2015). Estos microorganismos han sido empleados en diversas industrias con fines de cosmetología, purificación de aguas residuales, producción de fármacos, diversos pigmentos y, como alternativas de alimentación para el hombre y piensos de animales. Urbano (2021) señala que existen más de 30.000 especies de microalgas de las cuales aproximadamente unas 100 han sido estudiadas y sólo alrededor de 20 se explotan comercialmente con regularidad.

La comunidad científica y la sociedad en general han puesto énfasis en este grupo de microorganismos, cuya producción a nivel industrial se ha incrementado de

manera notable, debido a sus características nutricionales, las mismas que favorecen las actividades acuícolas, así ser las microalgas constituyen una de las principales fuentes de suplementos alimenticios (Espinoza, 2017).

#### **4.1.3 Historia y origen del cultivo de microalgas**

En el año 1980, el microbiólogo holandés Beijerinck establece cultivos puros de una microalga de agua dulce denominada *Chlorella vulgaris*, y años más tarde Otto Warburg obtuvo bajo condiciones controladas de laboratorio cultivos densos de *Chlorella*, e introdujo la idea de utilizar estos cultivos como una herramienta de trabajo en el estudio de la fotosíntesis. Posterior a ello, el concepto de producción masiva de microalgas se llevó a cabo por primera vez en Alemania durante la II Guerra Mundial, dirigido a la producción de lípidos, para lo cual se utilizaron las microalgas *Chlorella pyrenoidosa* y *Nitzschia palea* (Gómez, 2007).

Después de la II Guerra Mundial comenzó a considerarse a la biomasa microalgal como un suplemento importante e incluso capaz de reemplazar a las proteínas animales o vegetales convencionales para consumo directo de animales o del hombre. Posterior a ello, en la década de los 50's, en Alemania Occidental comenzaron los trabajos sobre el cultivo de *Scenedesmus acutus* en los que se planteaba la utilización del CO<sub>2</sub> producido en la región industrial del Rhur (Gómez, op. cit).

#### **4.1.4 Adaptaciones de las microalgas**

Entre los grupos de microalgas, se registran individuos con notables similitudes morfológicas, las cuales se presentan como respuestas adaptativas convergentes al medio físico en el que habitan, el cual es altamente heterogéneo con variaciones

de luz, temperatura y nutrientes. Por consiguiente, las características adaptativas que presentan, están relacionadas con la resistencia al hundimiento y con la habilidad para absorber nutrientes para almacenarlos. Estas microalgas a fin de mantenerse en la capa iluminada de la columna de agua, poseen tamaños pequeños y de morfología redondeada, mientras que las medianas y grandes muestran apéndices, prolongaciones, cuernos, espinas y otras estructuras que aumenta tanto la fricción con el agua como la relación superficie/volumen para la absorción de nutrientes, tal es el caso de la microalga *Chaetoceros calcitrans* de pequeño tamaño con forma rectangular, y que presenta una seta en cada extremo de su borde (López & Catzim, 2010).

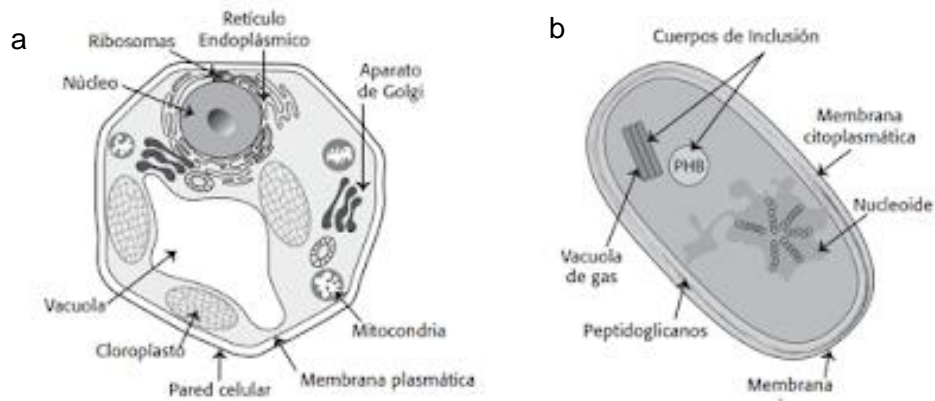
#### **4.1.5 Hábitat**

Las microalgas están presentes en casi todos los ecosistemas acuáticos conocidos; no obstante la mayor parte de estas habitan en cuerpos de agua tales como: lagos, mares, estuarios y ríos, pero no están supeditados solo al agua ya que también se encuentran presentes en el suelo y la mayoría de los ambientes terrestres incluso en los más extremos como aquellos expuestos a la desecación sobre rocas desnudas, fuentes termales, nieves y glaciares, es decir, que están ampliamente distribuidas en la biósfera y adaptadas a una gran cantidad de condiciones (Urbano, 2021).

#### **4.1.6 Estructura Celular**

Hay dos tipos de células algales: las primitivas con organización procariota denominadas cianobacterias y que carecen de organelos de doble membrana; y las más complejas denominadas eucariotas que a menudo están rodeadas por una pared celular, la cual toma diferentes nombres de acuerdo a la microalga; en euglenoides se la conoce como película, teca en dinoflagelados, periplasto en las

criptomonas y frústulo en las diatomeas (Figura 1). En general, la pared celular está compuesta de una estructura esquelética y una matriz amorfa. El componente esquelético más común es la celulosa; aunque también pueden estar presentes otras macromoléculas como la pectina, peptidoglicano y proteínas (López, 2017).



**Figura 1:** Estructura celular de una microalga. a) Célula eucariótica, b) Célula procariótica  
**Fuente:** Lee, 1980 (Modificadas de Ghershman, 2006)

De igual forma, el protoplasto o contenido interno de una célula está rodeado por una membrana celular que consiste en uno o más núcleos y un citoplasma generalmente esférico o elipsoidal, dicha membrana celular está compuesta de lípidos y proteínas, siendo delgada, elástica y permeable, el núcleo con uno o más nucleólos presenta una doble membrana nuclear, y en el citoplasma se pueden encontrar orgánulos celulares como cloroplastos, mitocondrias, aparatos de Golgi, retículo endoplásmico, vacuolas y, en algunos casos, mancha ocular o estigma (Figura 1) (López, op. cit.).

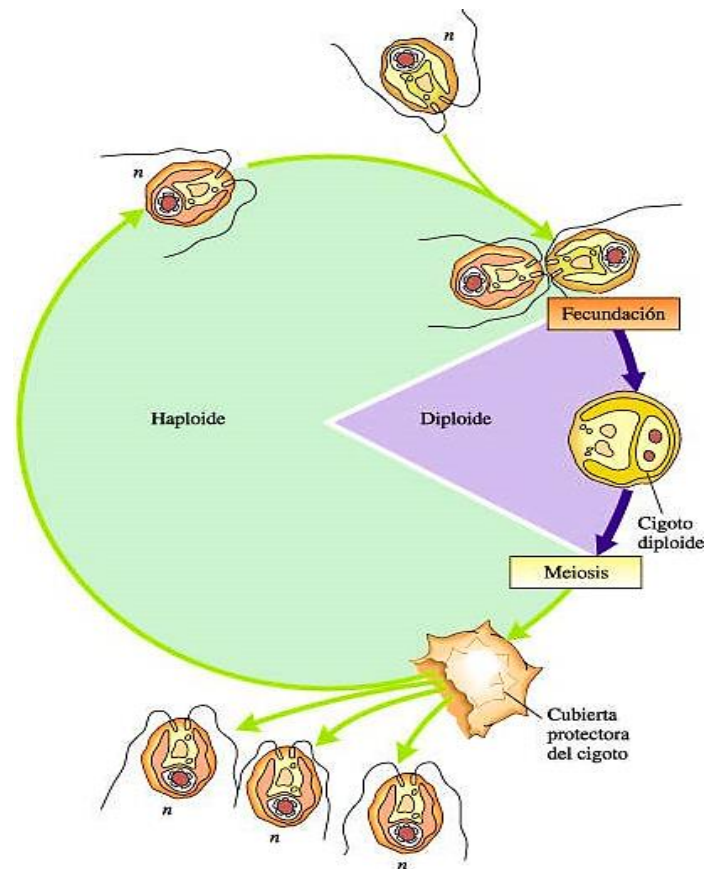


### 4.1.7 Reproducción

Las microalgas presentan dos tipos de reproducción:

**Asexual.** - se da generalmente por bipartición, donde la célula se divide en dos células aproximadamente iguales, y los tiempos de duplicación suelen ser de 1 hora o menos para las procariotas (cianobacterias) y de 8 a 24 horas para las eucariotas.

**Sexual.** - Menos frecuente que la asexual y ocurre generalmente cuando las condiciones ambientales se tornan desfavorables. En ese momento las células vegetativas pueden producir gametos que, más tarde, se fusionan para originar una célula denominada cigoto que puede originar nuevas células vegetativas o se convertir en quistes que reanudan la vida vegetativa cuando se encuentren en condiciones óptimas para su desarrollo (Figura 2) (Urbano, 2021).



**Figura 2:** Reproducción sexual de las microalgas.  
**Fuente:** Urbano, 2021.

#### **4.1.8 Niveles de organización celular**

El nivel de organización se define como el grado de complejidad morfológica y fisiológica de un organismo, pudiendo ser clasificados de acuerdo al incremento en complejidad estructural:

##### **Unicelular**

- Unicélulas: microalgas solitarias móviles con flagelos acronemáticos o pleuronemáticos en diferentes posiciones; o no móviles.

##### **Multicelular**

- Cenobios: las células no móviles pueden organizarse en cenobios con un número fijo de células.
- Colonia: forman un agregado de células, móviles o no móviles.
- Filamento: presentan células cilíndricas dispuestas una después de otra, pueden ser ramificadas o no ramificadas (Dreckmann *et al.*, 2013).

#### **4.1.9 Taxonomía de las microalgas**

La clasificación de las algas como parte del reino vegetal, ha presentado variadas modificaciones a través del tiempo, hace 200 años se denominaba “algas” al conjunto de plantas, musgos, hongos y helechos, basándose en su carácter sexual. Posteriormente este término se delimitó en base a rasgos microscópicos y coloración, para luego incorporar las formas flageladas pigmentadas al sistema de clasificación (Cáceres, 2009).

Las algas presentan una mayor diversidad vegetativa, reproductiva y de hábitat en relación a los otros grupos de plantas. Su clasificación está determinada por

caracteres estables como: naturaleza de los pigmentos fotosintéticos, productos metabólicos de reserva, naturaleza química de la pared celular, número y posición de los flagelos, tipos de reproducción, ciclo de vida y hábitat (Cáceres, op. cit).

#### **4.1.10 Clasificación**

##### **4.1.10.1 División Cyanophyta**

Microorganismos procariotas denominados cianofitas, cianobacterias o algas verdes azuladas, que no poseen un núcleo diferenciado, pero con clorofila “a” al igual que en las algas y plantas superiores. Constituyen un grupo de algas muy primitivo puesto a que se han encontrado en materiales precámbricos, participando en la formación de rocas calcáreas y de la atmosfera primitiva, además, pueden desarrollarse en diversos ambientes tolerando condiciones extremas de salinidad o temperatura por lo que pueden ser encontradas en el plancton y bentos en las aguas oceánicas y continentales (Díaz, 2008).

Las cianofitas no poseen estructuras membranosas que compartimentan el contenido interno tales como el núcleo, los plastos o las mitocondrias, poseen una pared celular gram-negativa. El ADN se encuentra en el centroplasma mientras que el resto de estructuras se sitúan dispersas en el protoplasma y los pigmentos fotosintéticos aparecen en estructuras membranosas semejantes a tilacoides, en cuyo interior está la clorofila “a”. Las tres familias mayormente representativas de este grupo son: Oscillatoriaceae, Pseudanabaenaceae y Nostocaceae (Díaz, op.cit.).

#### **4.1.10.2 División Dinophyta**

Es un grupo principalmente marino, constituido por más de 2.000 especies que comúnmente se conocen como dinoflagelados, se encuentran sobre la columna de agua formando parte del plancton abarca una gran variedad de formas unicelulares que se caracterizan por su morfología asimétrica y por poseer dos flagelos diferentes en forma y función. Singularmente, existen ciertos dinoflagelados cuya evolución los asemeja a animales. Aunque son eucariotas poseen un núcleo de características primitivas, y su ADN, a diferencia del de los demás eucariotas no posee histonas encargadas de su compactación con el núcleo. Por otro lado, su distribución en el mar es muy amplia, poseyendo la capacidad de formar las llamadas “mareas rojas” cuando proliferan excesivamente, pudiendo ser altamente tóxicas para los consumidores directos como peces o moluscos, o de manera indirecta para el ser humano (Díaz, 2008).

#### **4.1.10.3 División Euglenophyta**

La división Euglenophyta contiene al menos 900 especies principalmente dulceacuícolas, aunque hay algunas marinas. La mayor parte de sus especies son heterótrofas en su modo de alimentación, mientras que un tercio del total es fotosintética. Su variabilidad en el modo de alimentación, dado que muchas de ellas utilizan la estrategia fotosintética y la heterótrofa, hace que las euglenofitas sean muy abundantes en aguas cargadas de materia orgánica, y hay muchas especies adaptadas a alimentarse en el sedimento en ausencia de luz (Cáceres, 2009). este grupo abarca a un amplio número de algas unicelulares libres, móviles y flageladas, siendo algunas de ellas, fijas. Esta división está representada únicamente por la clase Euglenophyceae que posee dos órdenes: el orden Euglenales y el orden Colaciales (Díaz, op. cit.).

#### **4.1.10.4 División Cryptophyta**

Uno de los grupos menos numerosos que alberga un poco más de 200 especies de microalgas distribuidas tanto en aguas dulce como marinas, suelen ser unicelulares y flageladas, o en ciertos casos cocoides. Las células poseen uno o dos plastos los cuales contienen la clorofila "a" y "c", con la presencia o ausencia de pirenoides, almacenándose alrededor de ellos almidón como reserva cuando están presentes, no obstante los pigmentos accesorios las criptofitas pueden tener diversos carotenoides y xantofilas, entre las que abunda la aloxantina, por lo que también influye en el color de estas algas la presencia de ficobilinas variando desde tonos verdes a verdes azulados, colores amarillos, rojizos y marrones (Díaz, 2008).

#### **4.1.10.5 División Heterokontophyta**

Son un grupo variado de algas que presentan gran afinidad por utilizar sílice para construir sus estructuras de protección, en su aparato plastidial se distinguen cuatro membranas cuya disposición es característica del grupo. Por otro lado, no poseen almidón como sustancia de reserva y entre sus pigmentos está la clorofila, carotenoides y xantofilas. Es también característico del grupo la presencia de especies unicelulares móviles biflageladas que portan dos flagelos distintos o heterocontos. Una característica general en las heterocontofitas es su capacidad de formar quistes de resistencia a condiciones desfavorables. En ellas, la célula se rodea por una estructura silíceo de diversa morfología según la clase. Dentro de esta división veamos tres clases: Chrysophyceae, Xantophyceae y Bacillariophyceae (Díaz, op.cit.).

#### **4.1.10.6 División Chlorophyta**

Constituye el grupo más diverso de las microalgas con más de 7.000 especies colonizando hábitats muy variados, incluso estar presentes en las masas de aire húmedas. Las clorofitas pueden habitar en el mar, pero principalmente son dulceacuícolas. Incluye más especies bentónicas que planctónicas, pero dada la elevada cantidad de especies, suelen constituir uno de los principales componentes del fitoplancton. Presentan clorofilas “a” y “b”, y diversos carotenos y xantofilas, la membrana celular tiene una alta proporción de celulosa y la reserva energética se produce en forma de almidón (Cáceres, 2009).

#### **4.1.11 Rol ecológico**

La importancia de las microalgas radica en su papel como productoras primarias de la cadena trófica, siendo la base de las redes tróficas. En este sentido las especies que habitan en los ecosistemas marinos y dulceacuícolas dependen del equilibrio entre los diferentes niveles de la trama trófica y en el caso de los organismos que predan sobre ellas, asegurando su desarrollo y supervivencia. Los aminoácidos y ácidos grasos esenciales, entre otros elementos, favorecen el crecimiento y la sobrevivencia de una gran gama de especies acuáticas (Canavate, 2011).

#### **4.1.12 Importancia en la acuicultura**

El plancton es un grupo con características nutricionales que representan la fertilidad de los ambientes acuáticos, es decir que su presencia en diversidad y abundancia determina la calidad del mismo, determinándose la existencia de una relación directa que favorece el buen desarrollo de las especies en cultivo (Prieto, 2014). Dado el interés que existe por la producción de especies de cultivo de gran

importancia comercial en ambientes controlados en sistemas de cultivo semi-intensivo e intensivo, es indispensable conocer las diferentes alternativas de producción de alimento vivo. Se refuerza entonces, en concepto de que las microalgas constituyen la base de la alimentación de estadios larvarios de crustáceos, postlarvas de peces y las diferentes fases de desarrollo de los moluscos, en donde se destacan principalmente las diatomeas y las clorofitas. Sin embargo, en las últimas décadas se ha procedido a sustituir los alimentos vivos por dietas micro encapsuladas con resultados poco alentadores para la mayoría de las especies; o en su defecto, implementar técnicas que permitan el almacenamiento del alimento mediante congelación o liofilización por tiempo indefinido las mismas que en términos generales resultan incosteables y no resuelven el problema real, que es la demanda constante de alimento vivo (Abalde et al., 1995).

## **4.2 Cultivo de microalgas**

### **4.2.1 Medios de cultivo**

Es la composición de fórmulas establecidas para un uso correcto para cultivo de microalgas, donde se consideran todos los factores físicos y químicos, un medio de cultivo puede ser natural, cuando está compuesto por agua natural enriquecida con sales minerales, también un medio de cultivo puede ser sintético, cuando está compuesto por agua destilada, sales minerales y componentes naturales del agua ya sea dulce o de mar (Alfonso & Leal, 1998). Existen varios tipos de medios de cultivos entre los principales se destacan los siguientes:

#### **4.2.1.1 Medio Guillard F/2**

Medio de cultivo comercial, utilizado para el crecimiento y propagación de las microalgas, este medio está conformado por los siguientes compuestos: Silicatos

(1ml), Nitratos (1ml), Fosfatos (1ml) y una solución de metales traza (1ml) (Guillard & Ryther, 1962).

#### **4.2.1.2 Medio Basal de Bold (BBM)**

Es un medio para microalgas de agua dulce por lo general para el cultivo de una gran variedad de algas verdes (PhytoTech, 2021). Este medio de cultivo está compuesto por micro y macro nutrientes disueltos en agua destilada esterilizada. La composición de los micronutrientes es: sulfato de zinc, sulfato de cobre, nitrato de cobalto, óxido de molibdeno y cloruro de manganeso, la composición de los macronutrientes es: nitrato de sodio; cloruro de calcio, cloruro de sodio, fosfato de potasio, fosfato de magnesio; sulfato férrico e hidróxido de boro (Bush, 2015).

#### **4.2.1.3 Bayfolan o Abono Foliar**

Los componentes de este medio de cultivo son absorbidos con gran facilidad por las microalgas. Este medio está compuesto por micro y macro nutrientes, además este abono foliar tiene varios propósitos aportando N, P y K y otros componentes como fitohormonas, vitaminas, además regula el pH a neutro en el cultivo. La composición de macronutrientes es: Nitrógeno (110g/l), Anhídrido fosfórico (80g/l) y Oxido de potasio (60g/l); para los micronutrientes su composición es: Hierro (190 mg/l), Manganeso (162 mg/l), Boro (102 mg/l), Zinc (61mg/l), Molibdeno (9 mg/l), Cobalto (3.5 mg/l), Vitamina B1 (1 mg/l) y hormonas de crecimiento (4ppm) (Bayer Cropscience, 2017).



## **4.2.2 Técnicas de aislamiento**

### **4.2.2.1 Aislamiento con micropipetas**

Técnica que permite aislar una especie en particular desde una muestra donde hay variedad poblacional de microalgas, para llevar a cabo el aislamiento, se parte desde una muestra concentrada previamente centrifugada y que se haya mantenido en cultivo por lo menos 48 horas, se coloca una gota de la muestra en un extremo de un portaobjetos, se lo coloca en el microscopio y con ayuda de una micropipeta estéril, se separa las células de interés en un extremo del portaobjetos donde se podrán recoger con mayor facilidad con ayuda de un microcapilar. Sin embargo, esta técnica no asegura que el cultivo sea axénico (una sola especie) (Abalde et al., 1995).

### **4.2.2.2 Métodos basados en tactismos**

Excelente para aislar células móviles, a través de fototactismo, que consiste crear condiciones combinadas de luz, salinidad y temperatura, en un tubo, donde se añade una muestra que se desea aislar, las células móviles se desplazaran hacia la luz, lo que permite su recolección, esta técnica no asegura que el cultivo sea axénico (Abalde et al., 1995).

### **4.2.2.3 Diluciones seriadas**

Consiste en diluir la muestra original varias veces (seriadamente) en un medio de cultivo estéril, donde se toman volúmenes de cada dilución para transferirlos e incubarlos en el medio de cultivo con luz y temperatura adecuada. Por lo general esta técnica se realiza en tubos de ensayo con medio de cultivo, el primer tubo se pone una gota de la muestra que se quiere aislar, se agita y se pasa una gota al

segundo tubo y así sucesivamente, con el fin de obtener disoluciones más puras, facilitando el aislamiento de las células, separando las células de interés mediante el análisis microscópico (Agudelo, 2020).

#### **4.2.2.4 Aislamiento en placa**

Esta técnica se realiza en placa petri o tubos de ensayo con agar al 1-2%, se siembra la cepa original, con la ayuda de un asa curvo se siembra median método estrías sobre la superficie del agar, luego se incuba con la luz y temperatura adecuada, pasado uno días se habrán formado colonias de microalgas, las cuales se retiran y se transfiere a un medio de cultivo estéril (Abalde et al., op. cit).

#### **4.2.3 Inoculación de microalgas**

El tamaño del inocuo es un factor importante para el desarrollo del cultivo, una concentración muy baja puede morir a causa de la fotoxidación, mientras que concentraciones muy altas hace que no todas las células capten la energía lumínica de manera uniforme a causa del “asombramiento celular” y empieza a colapsar la cepa. Es primordial que la inoculación sea desde un inocuo totalmente axénico (Abalde et al.,1995).

#### **4.2.4 Parámetros a considerar en un sistema de cultivo**

Dentro de un sistema de cultivo es importante tomar en cuenta los parámetros físicos, químicos y biológicos en todo momento, las microalgas necesitan CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N, S y P, además de la luz, salinidad y el pH, para su crecimiento, además de una fuente de energía lumínica ya sea natural o artificial. Entre los biológicos se encuentran los depredadores y los competidores. Los organismos de cultivo poseen

gran adaptabilidad a las condiciones ambientales que se puedan presentar, sin embargo, se recomienda tener un monitoreo estricto para controlar los parámetros en el sistema (Agudelo, 2020). A continuación, se mencionan los parámetros físicos y químicos que se deben tomar en cuenta en un sistema de cultivo de microalgas:

#### **4.2.4.1 Parámetros Físicos**

- **Luz**

La intensidad de luz es uno de los parámetros más importantes en los sistemas de cultivo, las microalgas producen fotosíntesis con el aumento de la intensidad luz y alcanzan un crecimiento máximo específico, esto puede llegar a un punto de saturación lumínica, en donde si pasa de este punto, se produce la foto-inhibición que es perjudicial para cultivo, de manera que se atrofia la capacidad fotosintética de las microalgas y por ende la productividad de cultivo provocando una muerte celular (Richmond, 2004).

- **Temperatura**

Dentro de un sistema de cultivo, la temperatura juega un papel importante en la producción de las microalgas, mientras aumenta equitativamente la temperatura también aumenta la producción hasta llegar a una temperatura óptima que dependerá de cada especie. Si se pasa de este punto óptimo, aumenta el proceso de fotosíntesis y respiración celular, reduciendo la producción del cultivo, una temperatura adecuada oscila entre los 28° a 35°C, esto también va a depender de la especie en particular (Park et al., 2011).

- **Salinidad**

Son las sales minerales disueltas en un medio acuoso, este medio puede ser de origen marino o de agua dulce, y la concentración de salinidad interviene en la función osmótica de las microalgas, por lo general la salinidad en un cultivo de microalgas es de 0.37‰, la salinidad está relacionada con otros factores físicos como la temperatura y la intensidad de luz y factores químicos como la concentración de nutrientes y nitrógeno. Para las microalgas Chlorophytas la salinidad en el cultivo ronda entre los 25 a 35 ‰ (Romo, 2002).

#### 4.2.4.2 Parámetros Químicos

- **Nutrientes**

Los nutrientes más importantes en un sistema de cultivo de microalgas son el nitrógeno, carbono y fósforo. El nitrógeno, se incorpora tanto en nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) como en amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Grobbelaar, 2004). El nitrógeno tiene la capacidad de regular el contenido lipídico de las microalgas, sin embargo, al aumentar el contenido de lípidos con ayuda del nitrógeno puede convertirse en una limitación reduciendo la producción algas del cultivo como lo señalan Park y colaboradores (2011). El fósforo actúa en los procesos celulares, tales como la fotosíntesis para la transferencia energética, y sobre todo en la formación de ácidos nucleicos, el contenido de fósforo en las microalgas por lo general es menor o igual al 1%, sin embargo, su deficiencia en el cultivo puede influir, principalmente limitando el crecimiento (Grobbelaar, op. cit).

- **pH**

El pH ayuda a que el cultivo tenga un crecimiento óptimo y esto dependerá de las necesidades de la especie de microalga: por lo general las especies dulceacuícolas crecen en un pH de 8, pero si este valor asciende o desciende, la productividad se verá afectada (Park et al., 2011). Este factor está relacionado con otros factores como la productividad de las microalgas, respiración celular, composición iónica del agua, la alcalinidad, CO<sub>2</sub> y la actividad microbiana; todos estos factores influyen en los valores de pH, por lo que no pueden ser tratados en forma aislada (Martínez, 2008).

- **Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub>**

El CO<sub>2</sub> en un cultivo de microalgas es de gran importancia: se ha demostrado que mejora la productividad de las microalgas comerciales y el tratamiento de aguas residuales de los cultivos (Martínez, op. cit). Sin embargo, los costos para la suministrarlo son muy elevados, lo que lleva a buscar nuevas fuentes de suministros más económicas y eficientes. Una de las ventajas que tiene el cultivo de microalgas, es la capacidad que tienen la mayor parte de las especies de microalgas de fijar CO<sub>2</sub> de cualquier tipo de fuente gaseosa con resultados positivos en el cultivo (Ho et al., 2001).

- **Oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>)**

Los niveles de oxígeno disuelto en el sistema de cultivo dependerán de la capacidad fotosintética de las microalgas, durante el día donde hay mayor actividad se puede alcanzar niveles muy altos de oxígeno hasta un 200%, lo que provoca una saturación oxígeno en el cultivo, disminuyendo la productividad hasta en un 17%; por lo contrario durante la noche ocurre la respiración celular y de no tener un control estricto del oxígeno disuelto en el medio de cultivo, se puede producir la muerte

celular. Importante recalcar que los valores de oxígeno dependerán de la capacidad de carga de los cultivos de microalgas (Park et al., 2011).

#### **4.2.4.3 Parámetros Biológicos**

- **Depredadores**

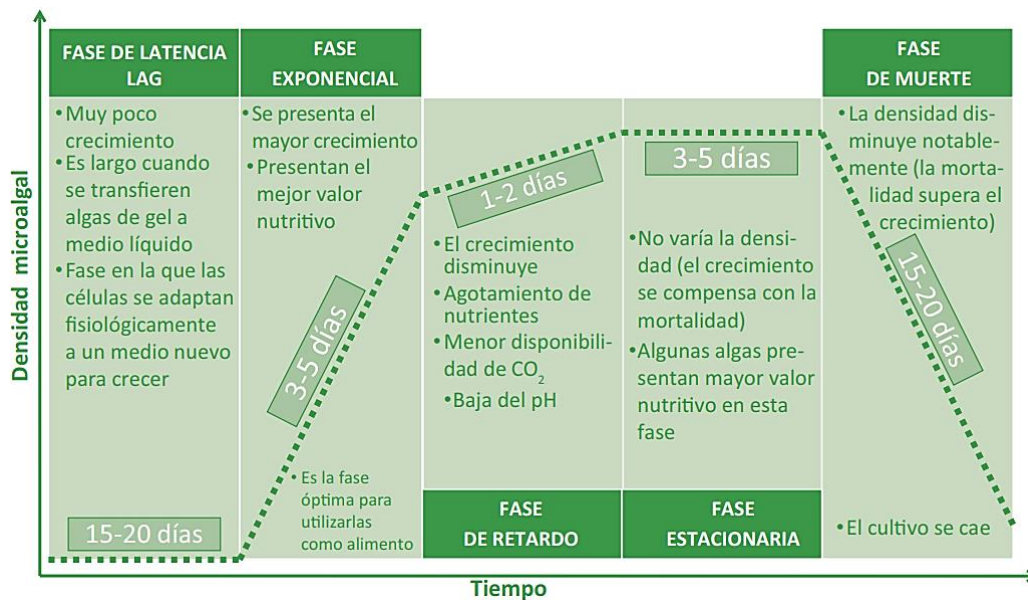
La presencia de depredadores se genera más en sistemas de cultivos abiertos, donde son estas las microalgas son susceptibles a organismos zooplanctónicos que pastorean y depredan sobre ellas, en sitio de cultivo. Entre estos zooplanctones, los rotíferos y cladóceros, son capaces de reducir la productividad entre el 90 y el 100% en muy pocos días dentro de un sistema de cultivo, razón por la cual Park y colaboradores (2011) recomiendan tener un control o plan de contingencia para controlar la densidad de estos últimos organismos. En el caso de sistemas cerrados la presencia de depredadores es muy baja porque hay un mayor control en el mismo.

- **Control de depredadores**

Para reducir la presencia de los organismos depredadores, se aplican tratamientos físicos y/o químicos, dependiendo del tipo de depredador. En el caso de los tratamientos químicos, se aplican hormonas miméticas para la reducción de invertebrados. También es recomendable el aumento del pH y de la concentración de amonio. Mientras que en los tratamientos físicos se utiliza filtración, centrifugación y como última instancia reducir la concentración de Oxígeno disuelto (OD) del sistema de cultivo (Hernández-Pérez & Labbé, 2014), tratando de afectar los requerimientos de oxígeno del depredador y no de la presa, que se asume en el caso de este último.

### 4.2.5 Fases de crecimiento

Un sistema de cultivo presenta varias fases de crecimiento microalgal como se muestra en la Figura 3. La cinética de crecimiento de las microalgas por lo general tiene una duración de 30 días o más, dependiendo de la especie de microalga que se esté cultivando; la fase Lag o fase de adaptación dura de 15 a 20 días, si se inicial el conteo después del aislamiento y adaptación en un medio de cultivo, una vez que se pasa a un medio de cultivo más grande para su crecimiento la fase de adaptación dura entre 1 a 3 días; la fase log o exponencial dura entre 3 a 5 días; la fase de declinación o retardo dura de 1 a 2 días; la fase estacionaria dura entre 3 a 5 días y la última fase de muerte celular tiene una duración de 15 a 20 días (Ospina et al., 2011).



**Figura 3:** Fases de crecimiento de microalgas.  
**Fuente:** Ospina et al., 2011.

A continuación, se presentan las fases de crecimiento microalgal descritas por Romo (2002):

- **Fase lag o de adaptación:** el inocuo inicial pasa por un corto lapso de adaptabilidad donde no ocurre un incremento en el número de células.
- **Fase log o exponencial:** una vez que el inocuo inicial se adapta, comienza la división celular de manera exponencial.
- **Fase de declinación:** una vez que el crecimiento alcanza su punto máximo, los nutrientes disminuyen y ocurren cambios en los factores físicos y químicos, lo que provoca la disminución de la división celular.
- **Fase estacionaria:** ya no ocurre división celular y se mantiene constante el número de células por un cierto tiempo que dura días a semanas.
- **Fase de muerte:** posterior a la fase estacionaria comienza la muerte celular en el cultivo de microalgas.

#### **4.2.6 Sistemas de cultivo**

Los sistemas de cultivo de microalgas se dividen en dos grandes grupos; sistema de cultivo abierto y sistema de cultivo cerrado.

##### **4.2.6.1 Sistemas abiertos:**

Ocupan grandes espacios naturales con disponibilidad al recurso hídrico o también adaptan el suelo del sitio para la construcción de estanques artificiales, teniendo como ventaja que son sistemas económicos y fáciles de construir y presentan bajos costos de mantenimiento durante el cultivo. Sin embargo, la productividad es mucho menor en comparación a la de un sistema cerrado, debido a que el cultivo está expuesto a organismos indeseados como bacterias e incluso otras microalgas que no son de interés para el cultivo y que compiten por los nutrientes del medio. Además, algunos factores ambientales como la luz, temperatura, CO<sub>2</sub> entre otros, no pueden ser controlados o son difíciles de controlar en el cultivo (Agudelo, 2020). Cuando la finalidad es producir microalgas de forma masiva, los sistemas abiertos



son la mejor opción para producir en grandes cantidades y a un menor costo de producción (Buono et al., 2014).

#### **4.2.6.2 Sistemas cerrados o fotobiorreactores:**

Ocupan un menor espacio para el cultivo, y las condiciones del medio están estrictamente controladas, permitiendo mantener las condiciones necesarias para el cultivo con resultados que prometen una mayor productividad y eficacia de la microalga de interés. No obstante, estos sistemas son más costosos y, se necesita personal capacitado para el mantenimiento estricto de los fotobiorreactores y del cultivo (Agudelo, 2020).

#### **4.2.7 Métodos de cosecha**

Los métodos de cosecha son considerados costosos y complejos de realizar, existen varios métodos de cosecha que dependerán de las características de la especie de microalga, entre los principales métodos están: centrifugación, sedimentación por gravedad, filtración, flotación de biomasa y floculación convencional (Hernández-Pérez & Labbé, 2014). Entre estos se encuentran:

- **Centrifugación:** separa la biomasa de una manera rápida y eficaz, económicamente no viable para la separación a gran escala, se necesita mucha energía para el funcionamiento de equipos usados durante la cosecha.
- **Sedimentación por gravedad:** separa diferentes tipos de microalgas, método eficiente y de bajo costo.
- **Filtración:** eficiente para separar células grandes como la Spirulina, económicamente no viable por el elevado consumo de energía.
- **Flotación de la biomasa:** eficiente recolectando células pequeñas, método innovador que incorpora gas ozono que interactúa con las paredes celulares

de las microalgas y permite su flotación. Este es un método costoso por la utilización de ozono.

- **Floculación convencional:** se adicionan sales metálicas que permiten la agregación de la biomasa de las microalgas debido a la interacción de cargas entre las sales y la carga negativa de las microalgas, provocando una dispersión de cargas, este método se puede combinar con otros, para una mayor eficiencia en la cosecha.

### **4.3 Aspectos nutricionales de las algas**

#### **4.3.1 Valor nutricional de las microalgas**

Las microalgas se caracterizan por poseer grandes atributos nutricionales convirtiéndose en un alimento funcional que contiene oligoelementos beneficiosos, que complementan la dieta de muchas especies de cultivos acuícolas, las microalgas generan grandes cantidades de nutrientes importantes como lípidos, carbohidratos, proteínas, aminoácidos, ácidos grasos poliinsaturados y otros micronutrientes como vitaminas y carotenoides (Agudelo, 2020; González & Quintana, 2010).

#### **4.3.2 Composición química**

##### **4.3.2.1 Proteínas y aminoácidos**

Estos organismos poseen un contenido elevado de proteínas, dependiendo de la especie y la fuente de nitrógeno asimilado varía el valor proteico, si el nitrógeno disminuye, el contenido proteico también lo hará, otro factor que influye es el carbono, si este es deficiente, disminuye el contenido proteico y aumenta las cenizas (Abalde et al., 1995). En lo que corresponde a los aminoácidos, la

conformación de estos, dan origen a la formación de una proteína, la composición de los aminoácidos determina la funcionalidad y valor nutricional de la proteína, se clasifican en aminoácidos esenciales y no esenciales que se encuentra entre el 90 al 98% en las proteínas de las microalgas. (Abalde et al, op. cit) señalan, que debe haber una distribución de aminoácidos equilibrada donde se incluyen en su totalidad los aminoácidos esenciales.

#### **4.3.2.2 Carbohidratos**

Los carbohidratos cumplen un rol importante actuando como reserva y formando parte de la pared celular de las microalgas, los carbohidratos totales están conformados por polisacáridos (45-97%), monosacáridos y oligosacáridos. Los niveles de carbohidratos varían según las especies de microalgas (Abalde et al., 1995). *Chlorella vulgaris*, por ejemplo, contiene hasta 50% de carbohidratos, mientras que *Dunaliella salina* contiene hasta un 40% de carbohidratos (Agudelo, 2020).

#### **4.3.2.3 Lípidos**

El contenido lipídico de las microalgas en la gran mayoría de las especies es del 20%; sin embargo, esta cantidad puede variar entre menos del 1% hasta más del 40%. Cabe indicar que la cantidad de lípidos está influenciada por el nitrógeno; en el caso de las diatomeas si el nitrógeno en el cultivo es bajo, la cantidad de lípidos en sus células puede llegar hasta un 80% (Abalde et al., op.cit.; Park et al., 2011). *Chlorella vulgaris* y *Dunaliella salina*, presentan el 26% y 17% de carbohidratos totales respectivamente (Agudelo, op.cit.).

#### **4.3.2.4 Ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs)**

Las PUFAs conforman gran parte de lípidos en las microalgas, entre un 20 al 40% de lípidos totales, formando ésteres de glicerol, además se encuentran en los diglicéridos, triglicéridos, fosfolípidos y glicolípidos (Abalde et al., 1995). Las microalgas son fuentes potenciales de ácidos grasos beneficiosos para los organismos que lo consumen, disminuyendo la cantidad de triglicéridos, colesterol total y previniendo enfermedades cardiovasculares (Hernández-Pérez & Labbé, 2014).

#### **4.3.2.5 Vitaminas**

Las microalgas presentan una fuente importante de varios tipos de vitaminas, haciendo de las microalgas un alimento idóneo para los cultivos bioacuáticos, los valores y tipos de vitaminas varían según las especies de microalgas ya sean de agua dulce o de mar. La biomasa algal presente diferentes tipos de vitaminas como: Provitamina A, vitaminas del grupo B (B1, B2, B6, B12), vitamina C, biotina, ácido fólico, ácido nicotínico y ácido pantoténico (Abalde et al., 1995).

#### **4.3.2.6 Minerales**

El contenido en minerales es importante en las microalgas que se utilizan en acuicultura. No obstante, dada la capacidad que tienen de acumular metales pesados resulta ser una desventaja. Se conoce que las microalgas pueden presentar los elementos necesarios en las dietas de invertebrados, tales como: P, Ca, Mg, Fe, etc. Por ello, se ha sugerido la incorporación de microalgas marinas

secas en dietas de peces que puedan sustituir, al menos en parte, la adición de minerales a la dieta (Prieto, 2014).

#### 4.3.2.7 Pigmentos

Los pigmentos de las algas están localizados dentro de las células en asociación con las membranas fotosintéticas o tilacoidales de los cloroplastos. Y se deriva en tres principales grupos de moléculas: clorofilas, carotenoides y ficobilinas (Urbano, 2021).

- **Clorofila:** Existen cuatro tipos de clorofilas (a, b, c y d). La clorofila a se encuentra en todas las algas como el principal pigmento fotosintético, mientras que las otras clorofilas funcionan como pigmentos accesorios y tienen una distribución limitada en los diferentes grupos algales.
- **Carotenoides:** pueden ser divididas en dos principales grupos: carotenos (hidrocarbonos libres de oxígeno) y las xantofilas. De los cuatro carotenos presentes en las algas, el  $\beta$ -caroteno es el que está presente en todos los grupos de algas.
- **Ficobilinas:** son pigmentos rojos o azules solubles en agua localizados en, o dentro de las membranas fotosintéticas.

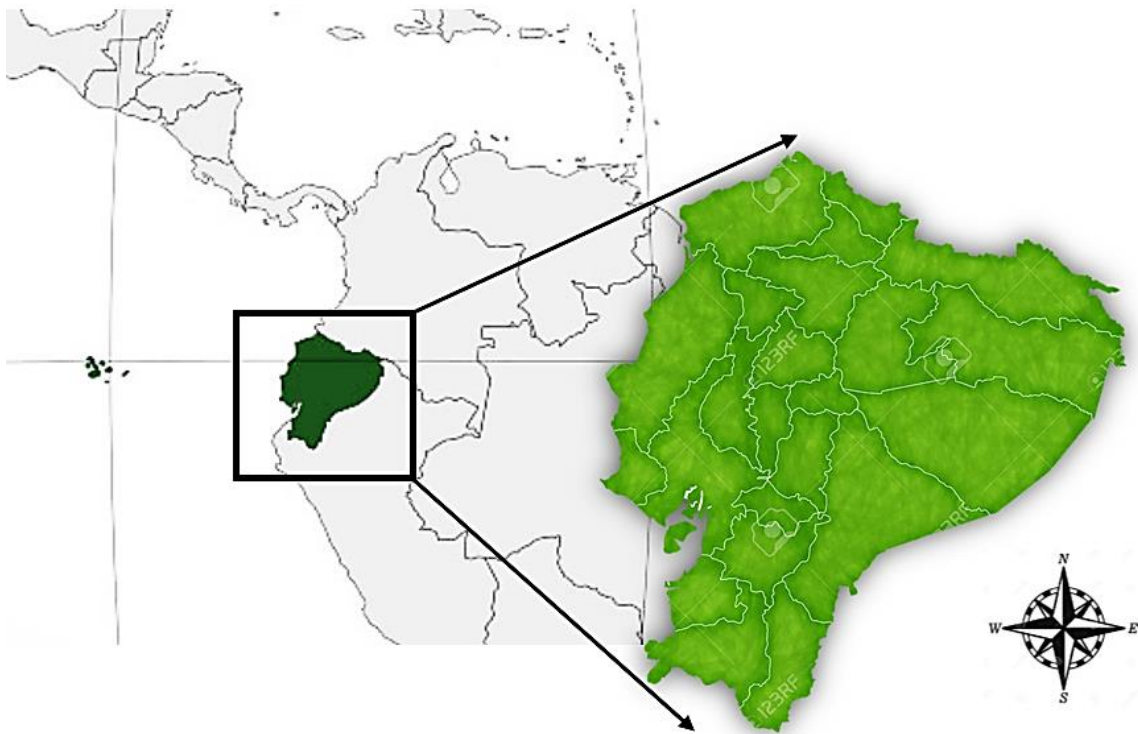
#### 4.3.2.8 Ácidos nucleicos

La fracción de ácidos nucleicos puede variar del 1 al 10%, aunque el rango usual es 4-6%. La relación RNA: DNA es aproximadamente 3: 1. Cuando las algas crecen en condiciones favorables la relación puede ser 5 0-200: 1 (debido a la síntesis proteica). El nivel de ácidos nucleicos es mayor en las microalgas (4-7%) que en las plantas superiores (1-2%), pero es menor que en las levaduras (10-12%) y bacterias (hasta el 20%) (Cáceres, 2009).

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 Área de estudio

Ecuador está ubicado en la región noroccidental de América del Sur, limita al norte con Colombia, al sur y al este con Perú y al oeste con el océano Pacífico. Ecuador es un país que tiene 24 provincias, por lo cual, se realizó una búsqueda bibliográfica de las investigaciones publicadas en la zona costera del territorio ecuatoriano, donde existe mayor actividad acuícola. Ecuador es un país que actualmente le está dando prioridad a la acuicultura, presentando varias actividades en zonas costeras y también en sierra y oriente, pero en menor cantidad.



**Figura 4:** Mapa de Ecuador  
**Fuente:** Brito, 2017.

## **5.2 Tipo de investigación**

- Desde el punto de vista de los objetivos de la investigación es descriptiva porque pretende compilar información referente a las especies de microalgas incorporadas como alimento vivo en cultivos de especies subacuáticas en el Ecuador, mediante la exploración de publicaciones realizadas en revistas científicas, repositorios digitales de universidades ecuatorianas y bibliotecas virtuales del Ecuador, posterior a ello, evaluar las principales microalgas por preferencia alimenticia de las especies de cultivo y describir las características biológicas y propiedades físicas, químicas y nutricionales de dichas especies.

## **5.3 Delimitación de la investigación**

La investigación se delimitó teniendo en cuenta el periodo de tiempo que abarcan las publicaciones científicas enmarcados en el periodo 2010 – 2021.

## **5.4 Análisis de datos**

El análisis de los datos compilados de las principales especies de microalgas incorporadas como alimento vivo en cultivos de especies subacuáticas en el Ecuador durante el periodo 2010 – 2021, se llevó a cabo mediante el uso de hoja de cálculo de Excel, a través de la construcción de tablas para organizar y categorizar las especies según la preferencia alimenticia de los organismos de cultivo pertenecientes a: crustáceos, moluscos y peces

## **5.5 Métodos y técnicas de investigación**

### 5.5.1 Métodos teóricos

- **Inductivo – Deductivo:** Establece las bases para abordar criterios teóricos conceptuales en base a las publicaciones que mencionen especies de microalgas incorporadas como alimento vivo en cultivos de especies subacuáticas y organizar en los resultados los datos obtenidos de la investigación.
- **Analítico sintético:** Establece la relación y coherencia existente entre las materias teóricas, fundamentos y criterios con el objeto de investigación.

### 5.5.2 Métodos empíricos

- **Análisis documental:** para abordar los aspectos teóricos-conceptuales de la investigación se realizó una revisión y análisis de la literatura y de esta forma, establecer relaciones para la confección de dicho trabajo investigativo.



## 6. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 Compilación de información referente a las especies de microalgas incorporadas como alimento vivo en cultivos de especies bioacuáticas en el Ecuador.

Una vez concluida la búsqueda bibliográfica y el cribado de la bibliografía, se obtuvieron un total de 26 trabajos, detallados en la tabla 2.

**Tabla 2.** Compilación general de la información.

Elaborado por: Salazar, 2021.

Año	Especie de cultivo	Grupo taxonómico	Especie de Microalga como alimento vivo	Referencia
2010	<i>Acartia</i> spp.	Crustáceo (copépodo)	<i>Chaetoceros gracilis</i>	Cambefort (2010)
			<i>Tetraselmis</i> sp.	
			<i>Isochrysis galbana</i>	
2010	<i>Litopenaeus vannamei</i>	Crustáceo	<i>Thalassiosira</i> sp	Martin & Rivera (2010)
			<i>Navicula</i> sp.	
2011	<i>Brachionus</i> sp.	Crustáceo (rotífero)	<i>Tetraselmis maculata</i>	Cobo et al. (2011)
2012	<i>Crassostrea iridescens</i>	Molusco	<i>Isochrysis galbana</i>	Loor (2012)
			<i>Chaetoceros gracilis</i>	
2012	<i>Striostrea prismática</i>	Molusco	<i>Chaetoceros gracilis</i>	Loor (2012)
			<i>Isochrysis galbana</i>	
			<i>Tetraselmis maculata</i>	
2012	<i>Spondylus</i> sp.	Molusco	<i>Chaetoceros</i> sp.	Melena (2012)
			<i>Isochrysis</i> sp.	
2013	<i>Crassostrea gigas</i>	Molusco	<i>Isochrysis galbana</i>	Montufar & Montufar (2013)
			<i>Chaetoceros gracilis</i>	

2013	<i>Striostrea prismatica</i>	Molusco	<i>Isochrysis galbana</i> <i>Chaetoceros gracilis</i>	Arguello-Guevara (2013)
2014	<i>Litopenaeus vannamei</i>	Crustáceo	<i>Chaetoceros</i> sp. <i>Thalassiosira</i> sp.	Murillo (2014)
2015	<i>Acartia tonsa</i> <i>Oithona nana</i> <i>Euterpina acutifrons</i>	Crustáceo (copépodos)	<i>Tetraselmis suecica</i> <i>Thalassiosira</i> sp.	Suárez (2015)
2015	<i>Litopenaeus vannamei</i>	Crustáceo	<i>Thalassiosira</i> sp.	Luna (2015)
2015	<i>Anadara tuberculosa</i>	Molusco	<i>Isochrysis galbana</i> <i>Pavlova lutheri</i> <i>Chaetoceros gracilis</i> <i>Chaetoceros calcitrans</i> <i>Thalassiosira</i> sp.	MAGAP (2015)
2016	<i>Oreochromis</i> sp.	Peces	<i>Navicula</i> sp. <i>Prorocentrum</i> sp. <i>Cyclotella</i> sp.	Rivera (2016)
2016	<i>Spondylus limbatus</i>	Molusco	<i>Isochrysis galbana</i> <i>Chaetoceros gracilis</i>	Loor et al. (2016)
2016	<i>Brachionus plicatilis</i>	Crustáceo	<i>Tetraselmis</i> sp. <i>Isochrysis</i> sp.	CENAIM (2016)
2017	<i>Litopenaeus vannamei</i>	Crustáceo	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Chaetoceros gracilis</i> <i>Chaetoceros calcitrans</i> <i>Isochrysis</i> sp. <i>Thalassiosira</i> sp.	Echeverría (2017)
2017	<i>Litopenaeus vannamei</i>	Crustáceo	<i>Isochrysis</i> sp. <i>Tetraselmis</i> sp. <i>Chaetoceros</i> sp. <i>Skeletonemas costatum</i> <i>Thalassiosira</i> sp.	Ordoñez (2017)

			<i>Isochrysis galbana</i>	
2018	<i>Pteria sterna</i>	Molusco	<i>Chaetoceros gracilis</i>	Treviño (2018)
			<i>Tetraselmis sp.</i>	
2019	<i>Penaeus vannamei</i>	Crustáceo	<i>Thalassiosira sp.</i>	Ibarra et al. (2019)
2019	<i>Oreochromis sp.</i>	Peces	<i>Chlorella sp.</i>	Peñafiel & Quillay (2019)
2019	<i>Nodipecten subnodosus</i>	Molusco	<i>Isochrysis galbana</i>	Revilla et al. (2019)
			<i>Chaetoceros gracilis</i>	
			<i>Chaetoceros muelleri</i>	
			<i>Isochrysis galbana</i>	
			<i>Tetraselmis chuii</i>	
2019	<i>Spondylus limbatus</i>	Molusco	<i>Tetraselmis maculata</i>	Marquez et al. (2019)
			<i>Pavlova lutheri</i>	
			<i>Dunaliella salina</i>	
			<i>Rhodomonas sp.</i>	
			<i>Nannochloropsis sp</i>	
2020	<i>Crassostrea gigas</i>	Molusco	<i>Isochrysis galbana</i>	Rodríguez-Pesantes (2020)
			<i>Tisochrysis lutea</i>	
2020	<i>Crassostrea gigas</i>	Molusco	<i>Thalassiosira pseudonana</i>	Hakamada (2020)
			<i>Tetraselmis suecica</i>	
2021	<i>Litopenaeus vannamei</i>	Crustáceo	<i>Spirulina sp.</i>	Moncayo (2021)
2021	<i>Litopenaeus vannamei</i>	Crustáceo	<i>Spirulina sp.</i>	Castellano (2021)

Se obtuvieron 12 trabajos científicos acerca de las microalgas de preferencia alimenticia para el grupo de crustáceos, 12 para el grupo de moluscos y 2 para el grupo de peces, dando un total de 26 documentos científicos compilados.

En la tabla 3 se muestran las especies de microalgas incorporadas como alimento vivo en cultivos de especies bioacuáticas en el Ecuador con un total de 23 especies, y ordenadas de forma descendentes de acuerdo a su frecuencia absoluta dando una sumatoria total de 66. Del mismo modo, se puede observar que, las principales microalgas incorporadas como alimento vivo son *Chaetoceros gracilis* y *Isochrysis galbana* con frecuencia 11, seguidas de *Thalassiosira* sp con frecuencia 8 y luego *Isochrysis* sp. con frecuencia 4. Otras especies presentaron valores inferiores.

**Tabla 3.** Frecuencia absoluta de especies de microalgas en los trabajos compilados.

Elaborado por: Salazar, 2021.

Especies	Frecuencia absoluta
<i>Chaetoceros gracilis</i>	11
<i>Isochrysis galbana</i>	11
<i>Thalassiosira</i> sp.	8
<i>Isochrysis</i> sp.	4
<i>Tetraselmis</i> sp	4
<i>Chaetoceros</i> sp.	3
<i>Tetraselmis maculata</i>	3
<i>Chaetoceros calcitrans</i>	2
<i>Navicula</i> sp.	2
<i>Pavlova lutheri</i>	2
<i>Skeletonema costatum</i>	2
<i>Spirulina</i> sp.	2
<i>Tetraselmis suecica</i>	2
<i>Chaetoceros muelleri</i>	1
<i>Chlorella</i> sp.	1
<i>Cyclotella</i> sp.	1
<i>Dunaliella salina</i>	1
<i>Nannochloropsis</i> sp.	1
<i>Prorocentrum</i> sp.	1
<i>Rhodomonas</i> sp.	1
<i>Tetraselmis Chuii</i>	1
<i>Thalassiosira pseudonana</i>	1
<i>Tisochrysis lutea</i>	1
Total	66

## 6.2 Categorización de las principales microalgas por preferencia alimenticia de las especies de cultivo pertenecientes a los grupos taxonómicos (crustáceos, moluscos y peces).

Se presentan los datos en forma independiente para cada grupo biológico, es así que en el caso de crustáceos se determina que, de la variedad de especies que son cultivadas la más representativa es *Litopenaeus vannamei*, la cual es alimentada comúnmente con *Thalassiosira* sp. Esto demuestra que dicha microalga cumple mayormente con los requerimientos nutricionales de la especie (ver tabla 4)

### CRUSTACEOS

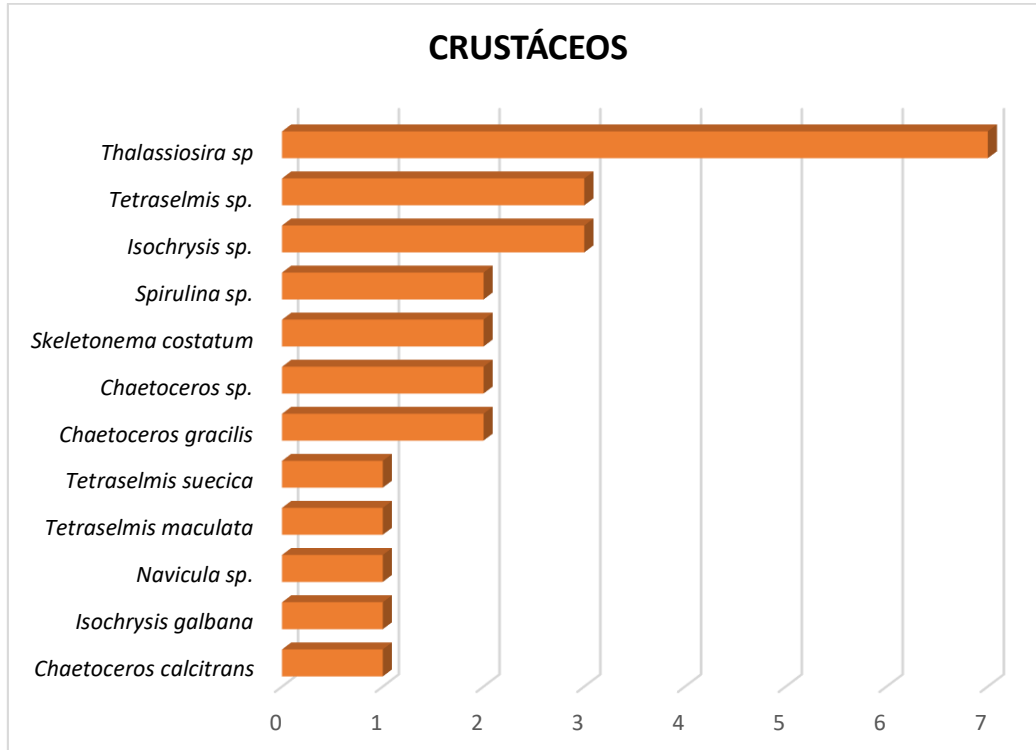
Tabla 4. Categoría crustáceos.

Elaborado por: Salazar, 2021.

Año	Especie de cultivo	Especie de Microalga como alimento vivo	Referencia
2010	<i>Acartia</i> spp.	<i>Chaetoceros gracilis</i>	Cambefort (2010)
		<i>Tetraselmis</i> sp.	
		<i>Isochrysis galbana</i>	
2010	<i>Litopenaeus vannamei</i>	<i>Thalassiosira</i> sp.	Martin & Rivera (2010)
		<i>Navicula</i> sp.	
2011	<i>Brachionus</i> sp.	<i>Tetraselmis maculata</i>	Cobo et al. (2011)
2014	<i>Litopenaeus vannamei</i>	<i>Chaetoceros</i> sp.	Murillo (2014)
		<i>Thalassiosira</i> sp.	
2015	<i>Acartia tonsa</i>	<i>Tetraselmis suecica</i>	Suárez (2015)
	<i>Oithona nana</i>		
	<i>Euterpina acutifrons</i>		
2015	<i>Litopenaeus vannamei</i>	<i>Thalassiosira</i> sp.	Luna (2015)
2016	<i>Brachionus plicatilis</i>	<i>Tetraselmis</i> sp.	CENAIM (2016)
		<i>Isochrysis</i> sp.	
2017	<i>Litopenaeus vannamei</i>	<i>Skeletonema costatum</i>	Echeverria (2017)
		<i>Chaetoceros gracilis</i>	

		<i>Chaetoceros calcitrans</i>	
		<i>Isochrysis sp.</i>	
		<i>Thalassiosira sp.</i>	
		<i>Isochrysis sp.</i>	
		<i>Tetraselmis sp.</i>	
2017	<i>Litopenaeus vannamei</i>	<i>Chaetoceros sp.</i>	Ordoñez (2017)
		<i>Skeletonemas costatum</i>	
		<i>Thalassiosira sp.</i>	
2019	<i>Penaeus vannamei</i>	<i>Thalassiosira sp.</i>	Ibarra et al. (2019)
2021	<i>Litopenaeus vannamei</i>	<i>Spirulina sp.</i>	Moncayo (2021)
2021	<i>Litopenaeus vannamei</i>	<i>Spirulina sp.</i>	Castellano (2021)

En el gráfico 1 se observa que, de las 12 especies de microalgas incorporadas como alimento vivo para crustáceos, la más empleada es *Thalassiosira sp.* seguida de *Tetraselmis sp.* e *Isochrysis sp.*



**Gráfico 1:** Especies de microalgas incorporadas como alimento vivo en crustáceos.  
**Elaborado por:** Salazar, 2021

## MOLUSCOS

En la tabla 5 se muestran los datos para el grupo de los moluscos determinándose que, de la variedad de especies que son cultivadas la más representativa es la especie *Crassostrea sp.*, el cual es alimentado comúnmente con *Isochrysis galbana*, demostrando que dicha microalga es la más utilizadas y puede cumplir con los requerimientos nutricionales de la especie.

**Tabla 5.** Categoría moluscos.

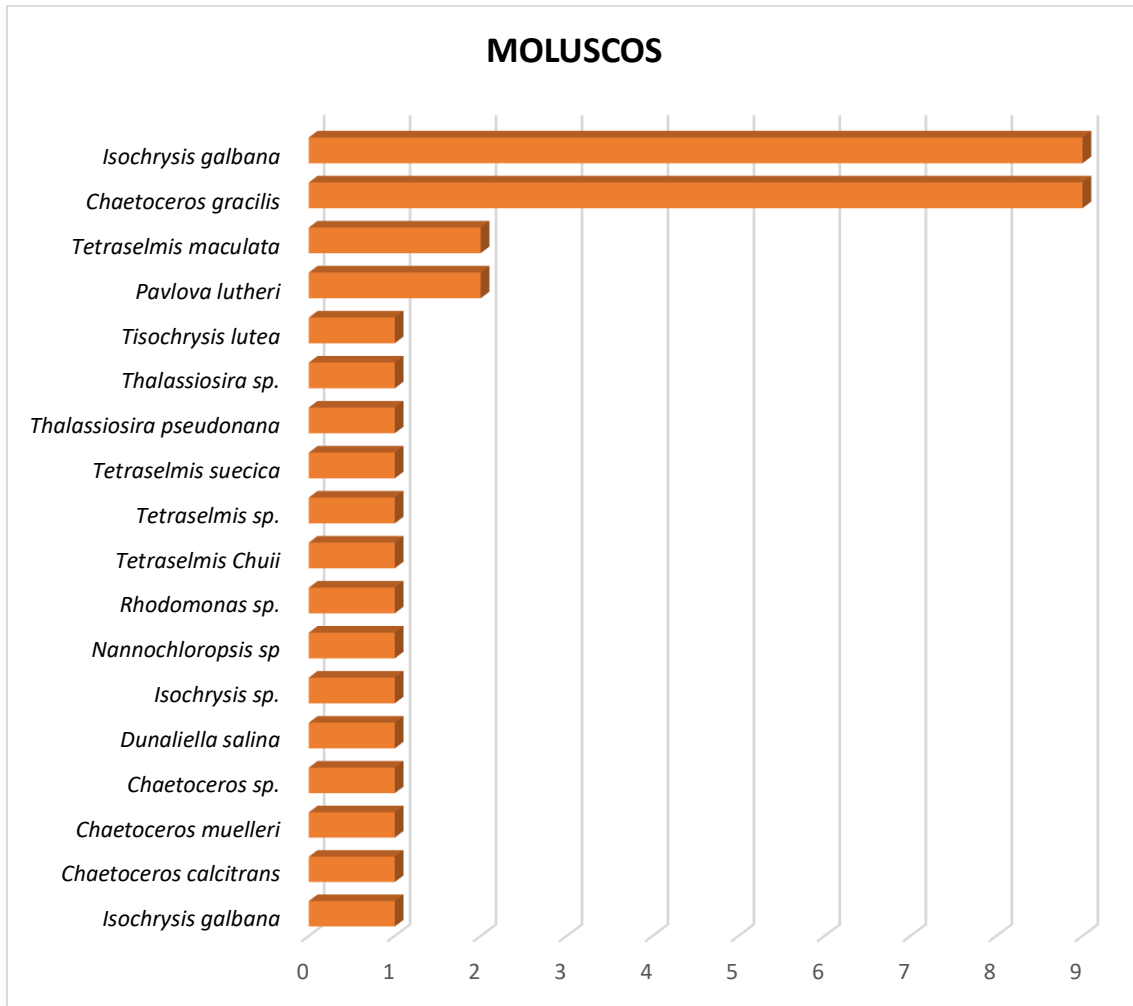
**Elaborado por:** Salazar, 2021.

<b>Año</b>	<b>Especie de cultivo</b>	<b>Especie de Microalga como alimento vivo</b>	<b>Referencia</b>
2012	<i>Crassostrea iridescens</i>	<i>Isochrysis galbana</i>	Loor (2012)
		<i>Chaetoceros gracilis</i>	
2012	<i>Striostrea prismatica</i>	<i>Chaetoceros gracilis</i>	Loor (2012)
		<i>Isochrysis galbana</i>	
2012	<i>Spondylus sp.</i>	<i>Tetraselmis maculata</i>	Melena (2012)
		<i>Chaetoceros sp.</i>	
2013	<i>Crassostrea gigas</i>	<i>Isochrysis sp.</i>	Montufar & Montufar (2013)
		<i>Chaetoceros gracilis</i>	
2013	<i>Striostrea prismatica</i>	<i>Isochrysis galbana</i>	Arguello-Guevara (2013)
		<i>Chaetoceros gracilis</i>	
2015	<i>Anadara tuberculosa</i>	<i>Isochrysis galbana</i>	MAGAP (2015)
		<i>Pavlova lutheri</i>	
		<i>Chaetoceros gracilis</i>	
		<i>Chaetoceros calcitrans</i>	
2016	<i>Spondylus limbatus</i>	<i>Thalassiosira sp.</i>	Loor et al. (2016)
		<i>Isochrysis galbana</i>	
2018	<i>Pteria sterna</i>	<i>Chaetoceros gracilis</i>	Treviño (2018)
		<i>Isochrysis galbana</i>	

		<i>Chaetoceros gracilis</i>	
		<i>Tetraselmis sp.</i>	
2019	<i>Nodipecten subnodosus</i>	<i>Isochrysis galbana</i> <i>Chaetoceros gracilis</i>	Revilla et al. (2019)
		<i>Chaetoceros gracilis</i>	
		<i>Chaetoceros muelleri</i>	
		<i>Isochrysis galbana</i>	
		<i>Tetraselmis Chuii</i>	
2019	<i>Spondylus limbatus</i>	<i>Tetraselmis maculata</i> <i>Pavlova lutheri</i> <i>Dunaliella salina</i> <i>Rhodomonas sp.</i> <i>Nannochloropsis sp</i>	Marquez et al. (2019)
2020	<i>Crassostrea gigas</i>	<i>Isochrysis galbana</i> <i>Tisochrysis lutea</i>	Rodríguez-Pesantes (2020)
2020	<i>Crassostrea gigas</i>	<i>Thalassiosira pseudonana</i> <i>Tetraselmis suecica</i>	Hakamada (2020)

En el gráfico 2 se observa que, de las 18 especies de microalgas incorporadas como alimento vivo para crustáceos, la más empleada es *Isochrysis galbana* seguida de *Chaetoceros gracilis* y *Tetraselmis maculata*





**Gráfico 2:** Especies de microalgas incorporadas como alimento vivo en moluscos.  
**Elaborado por:** Salazar, 2021.

## PECES

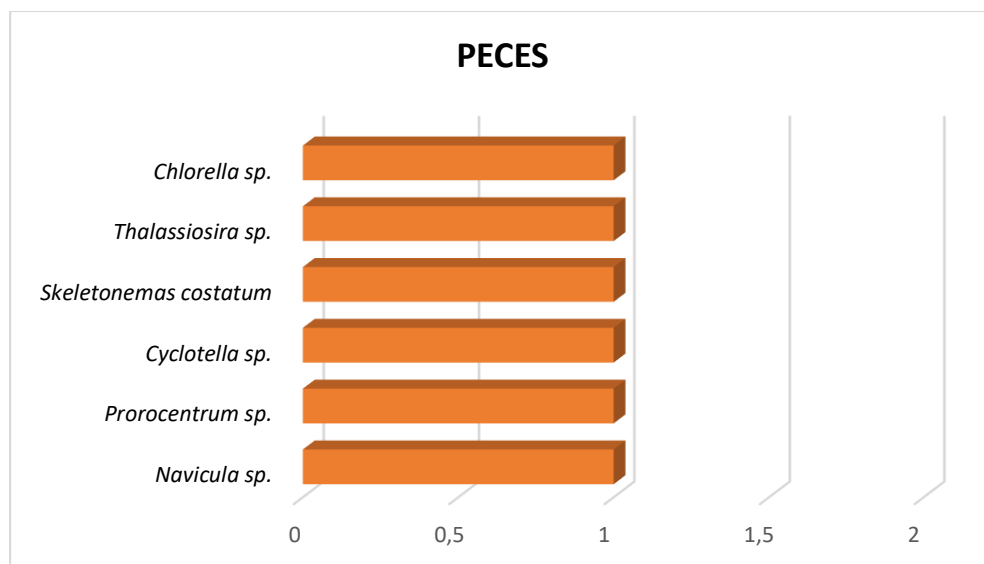
Dos publicaciones fueron registradas para el grupo peces, en donde la especie de cultivo es *Oreochromis sp.* la misma que es alimentada con una variedad de microalgas dulceacuícolas, detalladas en la tabla 6.

**Tabla 6.** Categoría peces.

Elaborado por: Salazar, 2021.

Año	Especie de cultivo	Especie de Microalga como alimento vivo	Referencia
2016	<i>Oreochromis sp.</i>	<i>Navicula sp.</i>	Rivera (2016)
		<i>Prorocentrum sp.</i>	
		<i>Cyclotella sp.</i>	
		<i>Skeletonemas costatum</i>	
		<i>Thalassiosira sp.</i>	
2019	<i>Oreochromis sp.</i>	<i>Chlorella sp.</i>	Peñafiel & Quillay (2019)

En el gráfico 3 se observa que los trabajos recopilados de peces se centran en la especie *Oreochromis sp.*, los mismos que durante sus primeras fases de vida son alimentados con una variedad de microalgas, tales como: *Chlorella sp.*, *Thalassiosira sp.*, *Skeletonemas costatum*, entre otras.



**Gráfico 3:** Especies de microalgas incorporadas como alimento vivo en moluscos.

Elaborado por: Salazar, 2021.

### **6.3 Descripción de las especies de microalgas considerando sus características biológicas y propiedades nutricionales.**

De acuerdo a la descripción de las de microalgas incorporadas como alimento vivo en los cultivos de organismos bioacuáticos, se tomó en cuenta las características biológicas y las propiedades nutricionales de cada una de las microalgas citadas en el estudio. La importancia de destacar a través de las características de cada especie (es decir, de conocer sus estructuras, tipos, tamaños, entre otros aspectos), reside en proporcionar información sobre el alimento adecuado a los cultivos de interés. Además, las propiedades nutricionales aportan datos importantes sobre el contenido de proteínas, lípidos y carbohidratos, que toda especie de cultivo necesita en su dieta. También se adicionaron datos de los tipos de vitaminas y pigmentos fotosintéticos que tienen estas microalgas, lo cual es una ventaja adicional, de acuerdo a los intereses que se tiene para cada especie de cultivo. Es así que a continuación se describen las especies de microalgas más destacadas durante la actual investigación.

### 6.3.1 *Chaetoceros gracilis*

**Diatomea**

***Chaetoceros gracilis*** (Ehrenberg, 1844)

#### Clasificación taxonómica

**Reino:** Chromista

**Filo:** Bacillariophyta

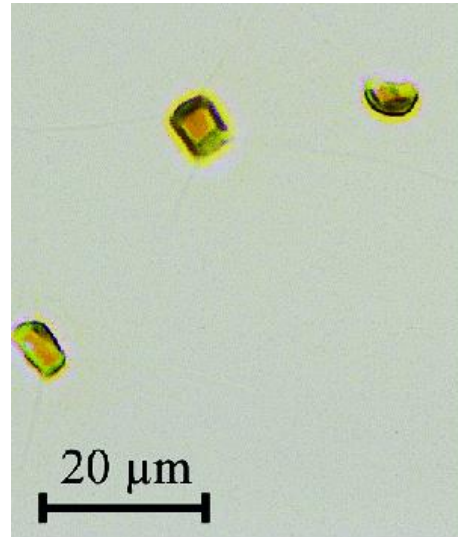
**Clase:** Mediophyceae

**Orden:** Chaetocerotales

**Familia:** Chaetocerotaceae

**Género:** *Chaetoceros*

**Especie:** *gracilis*.



**Fotografía 1.** *Chaetoceros gracilis*.  
**Fuente:** Tachihana et al. 2020.

#### Características

Microalga marina, es una diatomea solitaria, su célula tiene forma rectangular con dimensiones de 8-12  $\mu\text{m}$  x 7-10  $\mu\text{m}$ , con dos flagelos en cada extremo de los ejes apicales de la célula, miden de 4-9  $\mu\text{m}$ , vista lateralmente la célula se observa de con una forma rectangular y desde la vista valvar se observa una forma elíptica. Presenta paredes ligeramente rígidas con láminas que cubren el exterior, su pared celular o frústula presenta pectina impregnada de sílice, esta frústula está compuesta por dos valvas unidas (González & Quintana, 2010; Gómez et al., 2015).

#### Valor nutricional

Proteínas	23,94 %	Vitaminas	Pigmentos
Lípidos	8,69 %	Vitamina C	Fucoxantina Clorofila A Clorofila B
Carbohidratos	19,01 %		

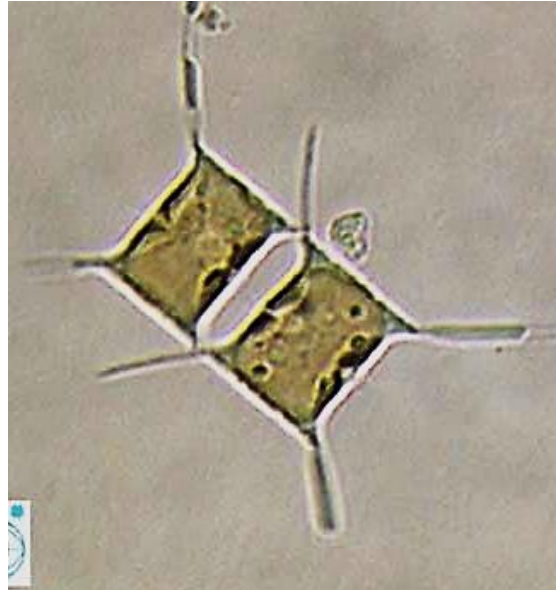
### 6.3.2 *Chaetoceros calcitrans*

**Diatomea**

***Chaetoceros calcitrans*** (Takano, 1968)

#### Clasificación taxonómica

**Reino:** Chromista  
**Filo:** Bacillariophyta  
**Clase:** Mediophyceae  
**Orden:** Chaetocerotales  
**Familia:** Chaetocerotaceae  
**Género:** *Chaetoceros*  
**Especie:** *calcitrans*.



**Fotografía 2.** *Chaetoceros calcitrans*.  
**Fuente:** Hoppenrath, 2021.

#### Características

*Chaetoceros calcitrans* es una diatomea de pequeño tamaño y rápido crecimiento en su cultivo, con un alto valor nutricional para los organismos filtradores, moluscos y crustáceos principalmente. Esta microalga tiene una forma rectangular, presenta un tamaño de 3 a 8  $\mu\text{m}$ , con cuatro setas (uno en cada extremo) más cortos que las otras especies del mismo género, tiene tonalidades marrones y amarillas en sus plastos, otra característica principal es que su célula tiene una cubierta de sílice (Takano, 1968; Villa et al., 2014).

#### Valor nutricional

<b>Proteínas</b>	36,4 %	<b>Vitaminas</b>	<b>Pigmentos</b>
<b>Lípidos</b>	15,5 %	Vitamina C	$\beta$ -caroteno
<b>Carbohidratos</b>	27,4 %	Vitamina E	Fucoxantina

### 6.3.3 *Chaetoceros muelleri*

**Diatomea**

***Chaetoceros muelleri*** (Lemmermann, 1898).

#### Clasificación taxonómica

**Reino:** Chromista

**Filo:** Bacillariophyta

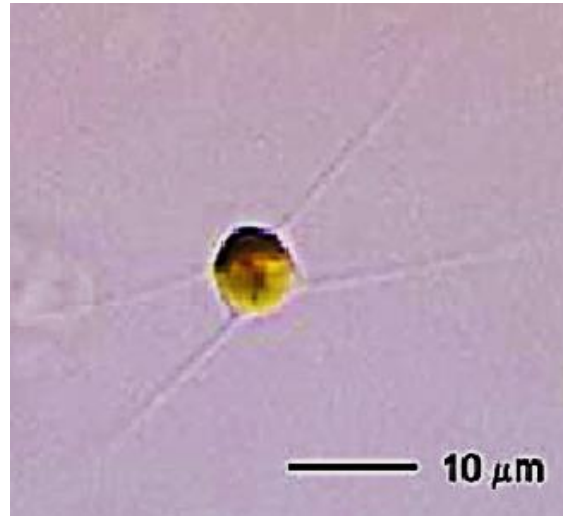
**Clase:** Mediophyceae

**Orden:** Chaetocerotales

**Familia:** Chaetocerotaceae

**Género:** *Chaetoceros*

**Especie:** *muelleri*.



**Fotografía 3.** *Chaetoceros muelleri*.

**Fuente:** Johansen, 2021.

#### Características

*Chaetoceros muelleri* es una diatomea marina que se utiliza mucho en la acuicultura, presenta células individuales o solitarias, con poca sílice en la pared celular, tienen forma elíptica y mide entre 4.5  $\mu\text{m}$  a 20  $\mu\text{m}$  de diámetro, su coloración es amarillo-marrón, la frústula posee cuatro setas alargadas, las setas tienen forma circular a subcircular en la sección transversal y la longitud de las setas varían entre 15  $\mu\text{m}$  a 35  $\mu\text{m}$ . (Reinke, 1984).

#### Valor nutricional

Proteínas	3-21 %	Vitaminas	Pigmentos
Lípidos	8-18,4 %	Vitamina B1	Clorofila A Clorofila C Fucoxantina
Carbohidratos	4,1-18 %		

### 6.3.4 *Chlorella* sp.

#### Chlorophyta

#### *Chlorella* sp. (Beijerinck, 1890)

#### Clasificación taxonómica

**Reino:** Plantae

**Filo:** Chlorophyta

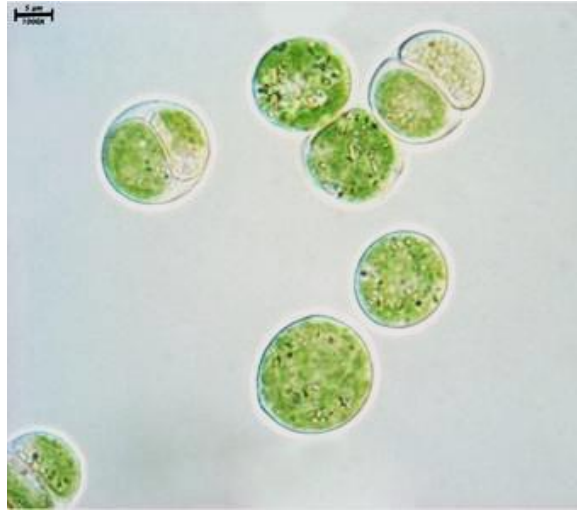
**Clase:** Trebouxiophyceae

**Orden:** Chlorellales

**Familia:** Chlorellaceae

**Género:** *Chlorella*

**N. científico:** *Chlorella* sp.



Fotografía 4. *Chlorella* sp.  
Fuente: UTEX, 2021.

#### Características

*Chlorella* sp es una microalga unicelular pequeña de forma esférica y elipsoidal, tiene un diámetro entre 2 a 10  $\mu\text{m}$ , se caracteriza por no presentar flagelo, posee una coloración verde que obtiene a partir de la actividad fotosintética con ayuda de los cloroplastos. Esta microalga es de agua dulce, y se encuentra en ríos, arroyos, lagunas y charcos en el suelo (Tello, 2018).

#### Valor nutricional

Proteínas	48,5 %	Vitaminas	Pigmentos
Lípidos	17,7 %	Vitamina B1, B2, B6 Y B12	Clorofila A Clorofila B
Carbohidratos	23,8 %	Vitamina C Vitamina E	$\beta$ -carotenos

### 6.3.5 *Cyclotella* sp.

#### Diatomea

***Cyclotella* sp.** (Kützing) Brébisson, 1838.

#### Clasificación taxonómica

**Reino:** Chromista

**Filo:** Bacillariophyta

**Clase:** Mediophyceae

**Orden:** Stephanodiscales

**Familia:** Stephanodiscaceae

**Género:** *Cyclotella*

**N. científico:** *Cyclotella* sp.



**Fotografía 5.** *Cyclotella* sp.  
**Fuente:** Baker, 2017.

#### Características

Es una microalga unicelular planctónica de agua dulce, tiene forma circular semejante a un tambor, sus células miden de 6 a 9  $\mu\text{m}$  de diámetro y pueden estar solitarias o formar filamentos unidos por mucilaginosos, presenta entre 16 a 22 estrías bifurcadas de 10  $\mu\text{m}$  de longitud, la superficie valvar tiene una ondulación concéntrica, el manto valvar es poco profundo y presenta pequeñas espínulas o corona de espinas, muestra filas de areolas dispuestas de forma irregular en el área central (Dolores, 1972; AlgaeBase, 2021).

#### Valor nutricional

Proteínas	7-91 %	Vitaminas	Pigmentos
Lípidos	54 %	Vitamina B1	Clorofila A
Carbohidratos	6 %	Vitamina B12	Clorofila C
		Vitamina C	Fucoxantina



### 6.3.6 *Dunaliella salina*

**Chlorophyta**

***Dunaliella salina*** (Teodoresco 1905)

#### Clasificación taxonómica

**Reino:** Plantae

**Filo:** Chlorophyta

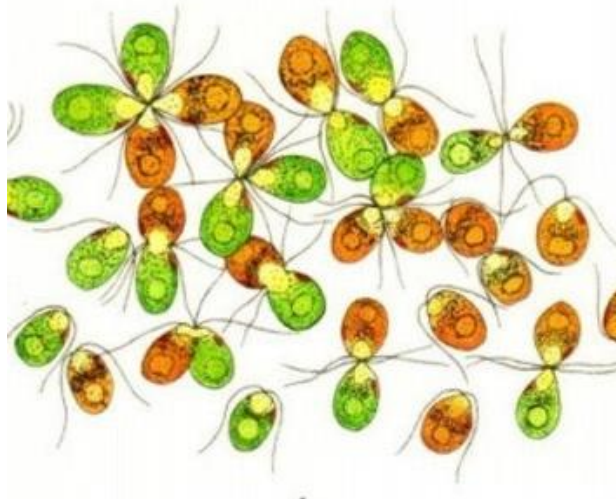
**Clase:** Chlorophyceae

**Orden:** Chlamydomonadales

**Familia:** Dunaliellaceae

**Género:** *Dunaliella*

**Especie:** *salina*.



**Fotografía 6.** *Dunaliella salina*.  
Fuente: Xian, 2019.

#### Características

*Dunaliella salina* es una microalga marina, sus células presentan formas ovoides, elipsoidales o en forma de pera, mide entre 15  $\mu\text{m}$  y 25  $\mu\text{m}$  de longitud, presenta dos flagelos en el extremo apical que le dan la capacidad para desplazarse. Las células son solitarias, en ocasiones se fusionan con otras células, no posee una pared celular definida. Por lo general son microalgas de color verde, anaranjado o rojizo por la presencia de carotenos rojos en los cloroplastos (Díaz, 2008).

#### Valor nutricional

		Vitaminas	Pigmentos
Proteínas	10-55 %	Provitamina A	Astaxantina
Lípidos	3-17 %	Vitamina A	Clorofila
Carbohidratos	25-40 %	Vitamina B12	$\beta$ -carotenos
		Vitamina C	Zeaxantina

### 6.3.7 *Isochrysis galbana*

#### Chrysophyta

#### *Isochrysis galbana* (Parke, 1949)

#### Clasificación taxonómica

**Reino:** Chromista  
**Filo:** Haptophyta  
**Clase:** Coccolithophyceae  
**Orden:** Isochrysidales  
**Familia:** Isochrysidaceae  
**Género:** *Isochrysis*  
**Especie:** *galbana*.



Fotografía 7. *Isochrysis galbana*.  
Fuente: Jouenne, 2021.

#### Características

*Isochrysis galbana* es una microalga marina unicelular de forma elipsoide, su célula mide de 5-6 µm de largo, 2-4 µm de ancho y un grosor de 2-3 µm, la célula carece de pared celular rígida y se encuentran encapsuladas por una membrana plasmática, posee dos flagelos de tamaño similar que miden 7 µm de largo, esta microalga presenta una coloración marrón-amarillo (Liu & Lin, 2000).

#### Valor nutricional

Proteínas	10,5-47,9 %	Vitaminas	Pigmentos
Lípidos	7,2-14,5 %	Vitamina B3 (PP)	Clorofila A
Carbohidratos	4,4-26,8 %	Vitamina B6	Clorofila C1
		Vitamina E	Clorofila C2

### 6.3.8 *Nannochloropsis* sp.

**Eustigmatophyta**

***Nannochloropsis* sp.** (D.J.Hibberd, 1981)

#### Clasificación taxonómica

**Reino:** Chromista

**Filo:** Ochrophyta

**Clase:** Eustigmatophyceae

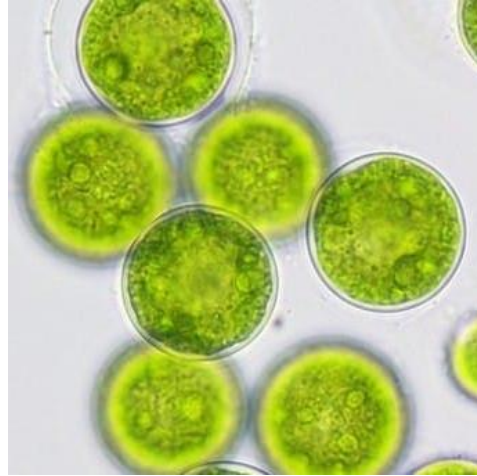
**Orden:** Eustigmatales

**Familia:** Monodopsidaceae

**Género:** *Nannochloropsis*

**N. científico:** *Nannochloropsis*

sp.



**Fotografía 8.** *Nannochloropsis* sp.

**Fuente:** Vadiveloo et al. 2016.

#### Características

*Nannochloropsis* sp es una microalga unicelular, se encuentra en agua dulce y agua de mar, su célula es esférica u ovoide y miden de 2 a 4  $\mu\text{m}$  de diámetro, presenta una coloración verde amarillento en la zona del cloroplasto parietal y verde más intenso en la zona central, presenta una pared celular muy rígida por sus dos capas que presentan algaenan, este biopolímero hace que su pared celular sea rígida y compleja, las zoosporas de estas microalgas no están presentes. Microalga caracterizada por sus altos contenidos de lípidos y con gran potencial para producir ácidos grasos de alto nivel nutricional (Lee et al., 2017).

#### Valor nutricional

Proteínas	36,4 %	Vitaminas	Pigmentos
Lípidos	20-47 %	Vitamina A Vitamina B1, B2, B6 y B12 Vitamina C Vitamina D Vitamina E	Clorofila A $\beta$ -carotenos Criptoxantina, Zeaxantina, Antheraxantina, Neoxantina
Carbohidratos	12,4 %		

### 6.3.9 *Navicula* sp.

#### Diatomea

#### *Navicula* sp. (Jory, 1997)

#### Clasificación taxonómica

**Reino:** Chromista  
**Filo:** Ochrophyta  
**Clase:** Bacillariophyceae  
**Orden:** Naviculales  
**Familia:** Naviculaceae  
**Género:** *Navicula*  
**N. científico:** *Navicula* sp.



**Fotografía 9.** *Navicula* sp.  
**Fuente:** PHYTOPEDIA, 2012.

#### Características

Diatomea cosmopolita, es una microalga solitaria con una longitud de 9  $\mu\text{m}$  a 10  $\mu\text{m}$ , presenta su célula con una forma alargada, valva lanceolada con una línea media bien definida, en la zona media presenta estrías transversales, su célula presenta extremos redondeados, esta microalga presenta dos cloroplastos en su célula y tiene una coloración café (González & Quintana, 2010; Dimar-CIOH, 2011).

#### Valor nutricional

<b>Proteínas</b>	12,5 %	<b>Vitaminas</b>	<b>Pigmentos</b>
<b>Lípidos</b>	8,8 %	Vitamina E	Clorofila A
<b>Carbohidratos</b>	10,1 %		Clorofila B
			Clorofila C

### 6.3.10 *Pavlova lutheri*

#### Chrysophyta

#### Clasificación taxonómica

**Reino:** Chromista

**Filo:** Haptophyta

**Clase:** Pavlovophyceae

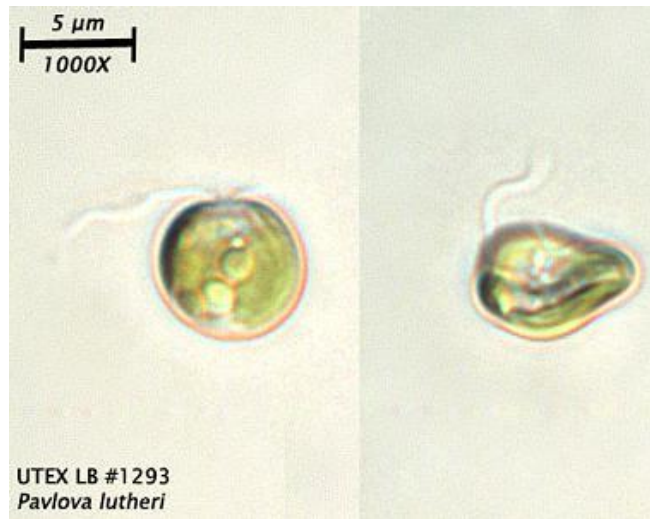
**Orden:** Pavloales

**Familia:** Pavlovaceae

**Género:** *Pavlova*

**N. científico:** *Pavlova lutheri*.

#### *Pavlova lutheri* (J.C.Green, 1975)



Fotografía 10. *Pavlova lutheri*.

Fuente: UTEX, 2021.

#### Características

Microalga flagelada con una coloración marrón amarillo-dorado, presenta dos flagelos de distintos tamaños, esta microalga tiene un tamaño entre 3 y 9  $\mu\text{m}$ , carece de pared celular y tiene una estructura llamada haptonema que utiliza para adherirse a otros organismos. *Pavlova lutheri* se caracteriza por poseer un alto contenido de proteínas, carbohidratos y lípidos, EPA y DHA (Volkman et al., 1989).

#### Valor nutricional

		Vitaminas	Carotenoides
Proteínas	49 %		
Lípidos	12 %		Clorofila A Clorofila C
Carbohidratos	31 %	Vitamina B12 Vitamina C	Fucoxantina Diadinoxantina Diatoxantina $\beta$ -carotenos

### 6.3.11 *Prorocentrum* sp.

Dinoflagelado

***Prorocentrum* sp.** (Ehrenberg, 1834)

#### Clasificación taxonómica

**Reino:** Protoctista

**Filo:** Dinoflagellata

**Clase:** Dinophyceae

**Orden:** Prorocentrales

**Familia:** Prorocentraceae

**Género:** *Prorocentrum*

**N. científico:** *Prorocentrum* sp.



Fotografía 11. *Prorocentrum* sp.

Fuente: Gómez, 2011

#### Características

Es una microalga cosmopolita que posee una teca sencilla, bivalvar (derecha e izquierda), cada valva está formada por una sola placa que suele estar perforada por poros generalmente oblicuos, a veces densos y que con frecuencia se disponen en campos o hileras bien definidas en la región oral a veces una de las placas se prolonga hacia adelante en un apéndice apical agudo triangular o espiniforme (espina apical) poco o muy desarrollado (Gómez, 2011).

#### Valor nutricional

<b>Proteínas</b>	36,4 %	<b>Vitaminas</b>	<b>Pigmentos</b>
<b>Lípidos</b>	15,5 %	Vitamina B12	Clorofila A y B, β Carotenos, Peridinina
<b>Carbohidratos</b>	27,4 %		

### 6.3.12 *Rhodomonas* sp.

#### Chrysophyta

#### *Rhodomonas* sp. (Karsten, 1898)

#### Clasificación taxonómica

**Reino:** Plantae

**Filo:** Cryptophyta

**Clase:** Cryptophyceae

**Orden:** Cryptomonadales

**Familia:** Cryptomonadaceae

**Género:** *Rhodomonas*

**N. científico:** *Rhodomonas* sp.



**Fotografía 12.** *Rhodomonas* sp.  
**Fuente:** Valenzuela et al., 2004

#### Características

*Rhodomonas* sp. es un alga unicelular flagelada móvil perteneciente a las criptofitas, cuyo diámetro celular varía entre 9.2 y 9.9  $\mu\text{m}$ . Los flagelos salen de una invaginación de la célula denominada citofaringe, situada asimétricamente según el eje longitudinal, estos flagelos son desiguales en tamaño y están situados a un lado del ápice de la célula. La forma de la célula es oval. Esta microalga marina es utilizada para alimentar larvas de erizo, copépodos, gasterópodos, larvas y juveniles de diferentes especies de ostión y larvas de camarones peneidos (Valenzuela et al., 2004)

#### Valor nutricional

<b>Proteínas</b>	18 %	<b>Vitaminas</b>	<b>Pigmentos</b>
<b>Lípidos</b>	39.2 %	Vitamina C	Clorofila A y C2,
<b>Carbohidratos</b>	38.6 %		Caroteno y Xantofila Aloxantina



### 6.3.13 *Skeletonema costatum*

**Diatomea**

***Skeletonema costatum*** (Greville, 1866)

#### Clasificación taxonómica

**Reino:** Chromista

**Filo:** Ochrophyta

**Clase:** Bacillariophyceae

**Orden:** Thalassiosirales

**Familia:** Skeletonemataceae

**Género:** *Skeletonema*

**Especie:** *costatum*



**Fotografía 13.** *Skeletonema costatum*  
**Fuente:** Vásquez et al., 2010

#### Características

Las células son más o menos cilíndricas, más altas que anchas y aparecen asociadas en filamentos de manera muy característica. Se reproduce sexual y asexualmente, y en estado de latencia puede sobrevivir más de 6 años. Es de hábitats neríticos y su distribución es cosmopolita en sistemas costeros excepto en mares polares, además, es catalogada como alimento adecuado para el cultivo de bivalvos y crustáceos, debido a su alto contenido proteico y de ácido eicosapentaenoico (EPA) (Vásquez et al., 2010).

#### Valor nutricional

Proteínas	45.2 %	Vitaminas	Pigmentos
Lípidos	14.39 %	Vitamina B1, B2, B6, B12	Clorofila A
Carbohidratos	18.34		



### 6.3.14 *Spirulina* sp.

#### Cyanophyta

#### *Spirulina* sp. (Turpin ex gomont, 1892)

#### Clasificación taxonómica

**Reino:** Monera

**Filo:** Cyanophyta

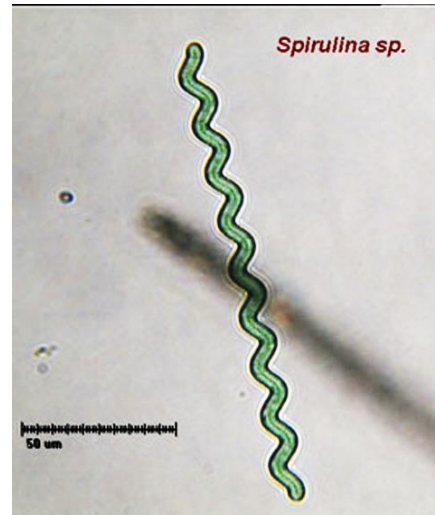
**Clase:** Cyanophyceae

**Orden:** Oscillatoriales

**Familia:** Oscillatoriaceae

**Género:** *Spirulina*

**N. científico:** *Spirulina* sp.



**Fotografía 14.** *Spirulina* sp.  
**Fuente:** Fernández et al., 2019

#### Características

Las células de esta especie se disponen formando tricomas enrollados en espiral, de anchura homogénea en toda su longitud. Las vueltas de la hélice están separadas de las contiguas por espacios de una determinada longitud. Las células tienen aproximadamente dos micras de anchura y cada vuelta en la espiral ocurre aproximadamente cada cuatro micras. Los filamentos carecen de heterocistes. Es una especie cosmopolita, de amplia distribución. Habitualmente se desarrolla de manera solitaria, mezclada con otras algas, en medios diversos que abarcan desde las aguas dulces o salinas hasta sistemas salobres de humedales costeros y marismas, en los que vive de manera planctónica y bentónica (Fernández et al., 2019).

#### Valor nutricional

<b>Proteínas</b>	70%	<b>Vitaminas</b>	<b>Pigmentos</b>
<b>Lípidos</b>	7%	Vitamina A, B, D, E, PP	Xantofilas
<b>Carbohidratos</b>	16.50%		

### 6.3.15 *Tetraselmis chuii*

**Chlorophyta**

***Tetraselmis chuii*** (Butcher, 1959)

#### Clasificación taxonómica

**Reino:** Plantae

**Filo:** Chlorophyta

**Clase:** Chlorodendrophyceae

**Orden:** Chlorodendrales

**Familia:** Chlorodendraceae

**Género:** *Tetraselmis*

**Especie:** *chuii*



**Fotografía 15.** *Tetraselmis chuii*

**Fuente:** Khatoon et al., 2018

#### Características

Microalga de gran aplicación en acuicultura, como alimento de peces, camarones, especialmente en sus estados larvarios y de rotíferos y crustáceos, debido a su composición bioquímica y a su facilidad para el cultivo. Poseen una membrana lipoproteica, y la pared celular está formada por hidratos de carbono, celulosa, quitina y lignina. Es un alga comprimida elipsoidal, con 4 flagelos, mide de 10 – 15 micras y tiene un color verde brillante, además, es una especie eurihalina con capacidad de formar esporas (Khatoon et al., 2018).

#### Valor nutricional

Proteínas	26.3%	Vitaminas	Pigmentos
Lípidos	35%	Vitamina A, B1, B2, B6, C y E	Clorofilas a y b, $\alpha$ y $\beta$ carotenos.
Carbohidratos	11.2%		

### 6.3.16 *Tetraselmis maculata*

**Chlorophyta**

***Tetraselmis maculata*** (Butcher, 1959)

#### Clasificación taxonómica

**Reino:** Plantae

**Filo:** Chlorophyta

**Clase:** Chlorodendrophyceae

**Orden:** Chlorodendrales

**Familia:** Chlorodendraceae

**Género:** *Tetraselmis*

**Especie:** *maculata*



**Fotografía 16.** *Tetraselmis maculata*  
**Fuente:** Guiry, 2013

#### Características

Son flagelados unicelulares con células elípticas o casi esféricas, ligeramente aplanadas con una invaginación en el extremo anterior de la cual surgen 4 flagelos iguales en 2 pares opuestos. Las células están rodeadas por una teca muy ajustada de escamas orgánicas fusionadas. Las escamas estrelladas que forman la teca se producen en el Golgi y luego se secretan al exterior de la célula. La división asexual ocurre en la etapa inmóvil dentro del periplasto parental y nunca se ha observado reproducción sexual. Se conocen quistes vegetativos de paredes gruesas en varias especies y estos germinan por división en 4 células (Guiry, 2013).

#### Valor nutricional

<b>Proteínas</b>	52%	<b>Vitaminas</b>	<b>Pigmentos</b>
<b>Lípidos</b>	3%	Vitamina A, B1, B2, B6, C y E	Clorofila a, b y c
<b>Carbohidratos</b>	15%		

### 6.3.17 *Tetraselmis suecica*

**Chlorophyta**

***Tetraselmis suecica*** (Butcher, 1959)

#### Clasificación taxonómica

**Reino:** Plantae

**Filo:** Chlorophyta

**Clase:** Chlorodendrophyceae

**Orden:** Chlorodendrales

**Familia:** Chlorodendraceae

**Género:** *Tetraselmis*

**Especie:** *suecica*



**Fotografía 17.** *Tetraselmis suecica*

**Fuente:** García, 2018

#### Características

*Tetraselmis Suecica* es una prasinofícea eurihalina de la familia Chlorodendraceae, una microalga verde marina con un peso aproximado de 200 picogramos, móvil y con dos flagelos, es un alga comprimida elipsoidal, con 4 flagelos, mide de 10 – 15 micras. Posee un alto contenido en ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga y acumulación de almidón en el interior de su cloroplasto (García, 2018).

#### Valor nutricional

<b>Proteínas</b>	41%	<b>Vitaminas</b>	<b>Pigmentos</b>
<b>Lípidos</b>	44.56%	Vitamina E	Clorofilas a y b, y $\alpha$ y $\beta$ Carotenos.
<b>Carbohidratos</b>	45.4		

### 6.3.18 *Thalassiosira pseudonana*

**Diatomea**

***Thalassiosira pseudonana*** (Cleve, 1873)

#### Clasificación taxonómica

**Reino:** Chromista

**Filo:** Bacillariophyta

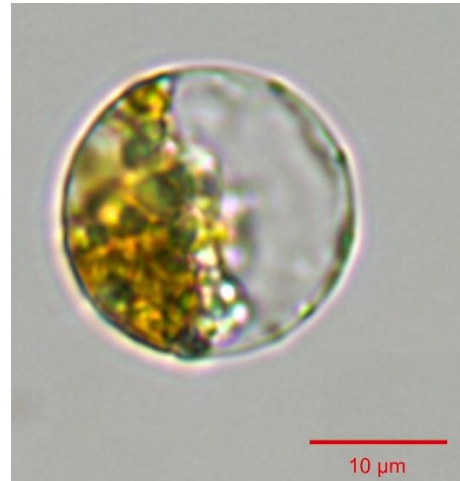
**Clase:** Coscinodiscophyceae

**Orden:** Thalassiosirales

**Familia:** Thalassiosiraceae

**Género:** *Thalassiosira*

**Especie:** *pseudonana*



**Fotografía 18.** *Thalassiosira pseudonana*  
**Fuente:** Clement et al., 2017

#### Características

Es una pequeña diatomea marina centrada de (4,5-8  $\mu\text{m}$  x 6-10  $\mu\text{m}$ ) son unicelulares de pared celular silicificadas, muestra una historia evolutiva única y proporciona importantes contribuciones ecológicas en ambientes marinos. Es además utilizada en la industria larvaria de camarones y bivalvos. A diferencia de las plantas superiores, las diatomeas adquirieron sus plástidos a través de la endosimbiosis secundaria, la fusión de una célula huésped eucariota con un alga fotosintética unicelular eucariota (Clement et al., 2017).

#### Valor nutricional

Proteínas	44.9 %	Vitaminas	Pigmentos
Lípidos	39.6 %	Vitamina B12	Clorofila A,
Carbohidratos	16.7 %	Vitamina C	Carotenos,
			Xantofilas

### 6.3.19 *Tisochrysis lutea*

**Diatomea**

***Tisochrysis lutea*** (Bendif & Probert)

#### Clasificación taxonómica

**Reino:** Chromista

**Filo:** Haptophyta

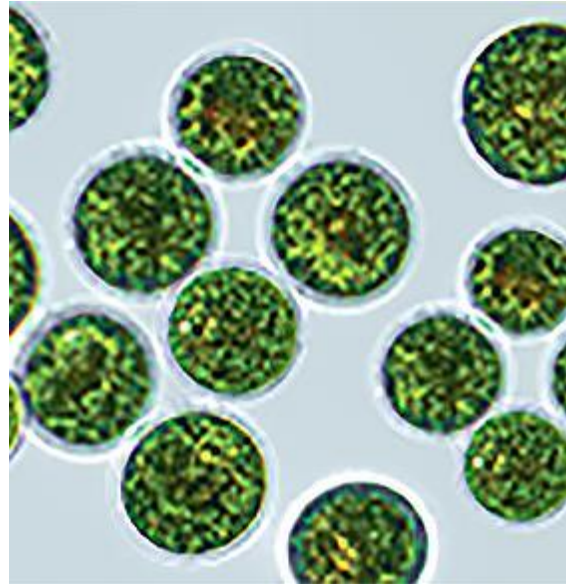
**Clase:** Coccolithophyceae

**Orden:** Isochrysidales

**Familia:** Isochrysidaceae

**Género:** *Tisochrysis*

**Especie:** *lutea*



**Fotografía 19.** *Tisochrysis lutea*  
**Fuente:** PHYTOPEDIA, 2012.

#### Características

El flagelado marino *Tisochrysis lutea* (T-iso), de distribución global, es una de las microalgas más utilizadas como alimento natural en la acuicultura. Las células T-iso tienen forma redonda, de 3 a 7,5  $\mu\text{m}$  de diámetro, por lo general están cubiertas con varias capas de escamas orgánicas y tienen dos flagelos apicales, además, poseen una tasa de crecimiento rápida y amplios rangos de tolerancia fisicoquímica. (Tato & Beiras, 2019).

#### Valor nutricional

<b>Proteínas</b>	42.4 %	<b>Vitaminas</b>	<b>Carotenoides</b>
<b>Lípidos</b>	4.4 %	Vitamina B12	Clorofila A, C1 y C2, $\beta$ -caroteno, Fucoxantina
<b>Carbohidratos</b>	13.1 %		

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La nutrición en la acuicultura es uno de los aspectos más importantes a considerar para obtener buenos resultados en los cultivos de especies bioacuáticas de interés comercial; por esta razón es primordial el fortalecimiento de conocimientos técnicos sobre las especies de microalgas utilizadas como alimento vivo en los cultivos realizados en la última década en el Ecuador.

Se compiló con un total de 26 trabajos científicos de gran relevancia, que contienen información importante de estudios realizados durante el 2010 al 2021 en Ecuador sobre los cultivos de especies bioacuáticas y su dieta nutricional compuesta por alimentos vivos.

Fueron 23 las especies de microalgas mencionadas en los trabajos analizados, incorporadas como alimento vivo en los distintos cultivos, donde las especies utilizadas con mayor frecuencia son *Chaetoceros gracilis* e *Isochrysis galbana*, seguidas de *Thalassiosira sp.*, *Isochrysis sp.* y *Tetraselmis sp.*

Dentro del grupo de crustáceos constituidos en gran parte por camarones peneidos, copépodos y rotíferos, se mencionan 12 especies de microalgas incorporadas como alimento vivo, donde *Thalassiosira sp.* es la especie que se emplea con mayor frecuencia, seguida de *Tetraselmis sp.*, e *Isochrysis sp.*

Para el grupo de Moluscos, principalmente bivalvos, se registró un total de 18 especies de microalgas incorporadas, donde las especies más utilizadas como alimento vivo fueron *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros gracilis*, quienes estuvieron

incorporados en todas las especies de moluscos citados en este estudio, seguido estuvieron *Tetraselmis maculata* y *Pavlova lutheri*.

En el caso de peces, con una sola especie, tilapia *Oreochromis sp.*, se mencionan seis especies de microalgas que se incorporan en su medio de cultivo desde los primeros estadios larvarios, estas microalgas son: *Chlorella sp*, *Thalassiosira sp*, *Skeletonemas costatum*, *Navicula sp*, *Prorocentrum sp* y *Cyclotella sp*.

En virtud de lo analizado, ahora se tiene conocimientos sólidos sobre la existencia de una alta diversidad de microalgas que han sido utilizadas como alimento vivo en la última década en Ecuador, lo que servirá de base para una segunda fase, que se orientará a la definición del efecto real de cada microalga sobre el crecimiento de los organismos de cultivo.

Es importante conocer la biología de las especies de interés acuícola para poder proporcionar correctamente una dieta a base de microalgas, por ello, se recomienda estudiar y analizar mediante ensayos experimentales la preferencia alimenticia de los diferentes organismos que se cultivan en condiciones controladas y que dependen netamente del cuidado y manejo de los técnicos.

Realizar estudios para determinar la composición nutricional de las microalgas producidas mediante diversos protocolos de cultivo (parámetros físicos, químicos y biológicos), para seleccionar el más óptimo y productivo que beneficie a la producción y por ende a la empresa productora.

Fomentar la aplicación de microalgas como alimentos vivos en las especies de interés acuícola, para minimizar el uso de dietas artificiales que podrían afectar a la calidad del agua y propiciar la proliferación de bacterias.



Ampliar el conocimiento existente acerca de las microalgas dulceacuícolas que podrían ser empleadas como alimento vivo, su composición nutricional y beneficios que podrían traer consigo a los sistemas de cultivo. Así mismo, se sugiere que se planteen nuevas alternativas alimenticias basadas en microalgas para peces durante sus primeras fases larvarias.

Las microalgas presentan muchos beneficios para las actividades acuícolas, sin embargo, se desconocen potenciales usos en distintas actividades humanas. Estudios constantes podrían llegar a beneficiar al ser humano y al medio ambiente.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Abalde, J., Cid, A., Fidalgo Paredes, P., Torres, E., & Herrero, C. (1995). *Microalgas: cultivo y aplicaciones*. Universidad de La Coruña. 205 p.
- Agudelo Rivera, E. (2020). *Las microalgas como fuente de nutrientes en vías de desarrollo*. (Tesis de grado). Universidad de Alicante, Alicante-España. 36 pags.
- Alfonso, E., & Leal, S. (1998). *Creación y mantenimiento de un cepario de microalgas*. Centro de investigación Marinas. Universidad de la Habana, Cuba, 21 pags.
- AlgaeBase. (2021). *Cyclotella (Kützing) Brébisson, 1838, nom. et típ. contras*. Recuperado el 29 de agosto de 2021, de AlgaeBase: [https://www.algaebase.org/search/genus/detail/?genus\\_id=43757&-session=abv4:AC1F08B1143e927E5EjR74281E7A](https://www.algaebase.org/search/genus/detail/?genus_id=43757&-session=abv4:AC1F08B1143e927E5EjR74281E7A)
- Baker, A. L. (2017). *Cyclotella (Bacillariophyceae)*. Recuperado el 29 de Agosto de 2021, de PhycoKey: [http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Bacillariophyceae/Centric/Centric\\_Unicells/CYCLOTELLA/Cyclotella\\_Image\\_page.html](http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Bacillariophyceae/Centric/Centric_Unicells/CYCLOTELLA/Cyclotella_Image_page.html)
- Bayer Cropscience. (2017). *Nutrientes foliares y de suelo*. Recuperado el 18 de agosto de 2021, de Bayer: <https://agro.bayer.pe/productos/bayfolan>
- Becker, E.W. (ed.) 1994. *Biotechnology and Microbiology*. 293 pp. Cambridge University Press, Cambridge.
- Buono, S., Langellotti, A., Martello, A., Rinna, F., & Fogliano, V. (2014). Functional ingredients from microalgae. *Food & Function*, 5(8), 1669-1685.
- Bush, M. (2015). *Ecología general. Departamento de ecología, genética y evolución – Laboratorio de Ecología de Poblaciones*. Guía de trabajos prácticos, parte I. Obtenido de <https://www.ege.fcen.uba.ar/wp->

content/uploads/2014/05/Ecolog%C3%ADa-General-Gu%C3%ADa-TP-  
parte-1.pdf

Cáceres, S. (2009). *Aislamiento y caracterización de las principales microalgas presentes en el sistema hidropónico del tipo raíz flotante* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile. 1-66.

Cajamar (2015). *Fichas de transferencia: Microalgas*. Grupo Cooperativo Cajamar. Recuperado 4 de septiembre de 2020 en <https://www.cajamar.es/storage/documents/microalgas-1444391623-ca345.pdf>

Canavate, J. (2011). Funciones microalgas en acuicultura. En J. Canavate (Ed.), *Las algas como recurso. Valorización. Aplicaciones industriales y tendencias*, (pp.193-205). Centro Tecnológico del Mar - Fundación CETMAR

Chow, N. (2000). *Fitoplancton y productividad primaria en sistemas de cultivo extensivo tecnificados de camarones del género Litopenaeus*. Estudios en Medio Ambiente. CIEMA\_UNI, Centro de Investigaciones. Universidad Nacional de Ingeniería. <https://repositoriosidca.csuca.org/Record/RepoUNI2067>

Clement, R., Lignon, S. & Mansuelle, P. (2017). Responses of the marine diatom *Thalassiosira pseudonana* to changes in CO<sub>2</sub> concentration: a proteomic approach. *Sci Rep* 7, <https://doi.org/10.1038/srep42333>

Díaz, J. (2008). *Atlas de organismos planctónicos en los humedales de Andalucía*: Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. [https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/rediam/contenidos\\_ordenacion/PDF/Atlas\\_Org\\_Planctonicos\\_1.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/rediam/contenidos_ordenacion/PDF/Atlas_Org_Planctonicos_1.pdf)

Dimar-CIOH. (2011). *Catálogo de Fitoplancton de la Bahía de Cartagena, Bahía Portete y Agua de Lastre*. Dirección General Marítima- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Ed Dimar, Serie

de Publicaciones Especiales CIOH Vol 5. Cartagena de Indias, Colombia. 135 Pp.

Dolores, P. (1972). *Estudio al microscopio electrónico de algunas diatomeas centrales del género Cyclotella*. Barcelona: Acta Phytotaxomica Barcinonensia. Vol.9. 24p.

Dreckmann, K., Senties, A. & Núñez, M. (2013). *Manual de prácticas de laboratorio, Biología de Algas*. Universidad Autónoma Metropolitana. [http://148.206.53.210/omp\\_cbs/index.php/cbs/catalog/book/10](http://148.206.53.210/omp_cbs/index.php/cbs/catalog/book/10)

Fernández, A., Alvítez, E., & Rodríguez, E. (2019). Taxonomía e importancia de "spirulina" *Arthrospira jenniferi* (Cyanophyceae: Oscillatoriaceae). *Arnaldoa*, 26(3), 1091-1104. <https://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26316>

Fernández, J. (2014). *Microalgas – definición y características. Ingeniería de procesos aplicada a la Biotecnología de Microalgas*. Universidad de Almería. <https://w3.ual.es/~jfernand/ProcMicro70801207/tema-1---generalidades/1-1-microalgas.html>

García, M. (2018). *Acumulación y transferencia de contaminantes emergentes en una cadena trófica* (Tesis de pregrado). Universidade Da Coruña, La Coruña, España.

Gómez, E. J., Mojica, J. A., Luna, R. E., & Merino, L. A. (2015). Cinética de crecimiento de las microalgas *Chaetoceros gracilis* y producción de pigmentos fotosintéticos. (Tesis de grado). Universidad de El salvador, El Salvador. 63 p.

Gómez, L. (2007). MICROALGAS: ASPECTOS ECOLÓGICOS Y BIOTECNOLÓGICOS. *Revista Cubana de Química*. 19(2): pp. 3 – 20.

Gómez, L. (2011). *Prorocentrum micans Ehrenberg 1834: Algaebase*. Algaebase. Recuperado 4 de septiembre de 2020 en

[https://www.algaebase.org/search/species/detail/?tc=accept&species\\_id=51818](https://www.algaebase.org/search/species/detail/?tc=accept&species_id=51818)

- González Pichardo, J., & Quintana Martínez, B. (2010). *Preferencia de ingestión del tamaño de las microalgas utilizadas como alimento vivo por los estadios de Mysis del camarón blanco Litopenaeus vannamei*. (Boone, 1931). (Tesis de posgrado). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León-Nicaragua. Pp. 34.
- Grobbelaar, J. (2004). *Nutrición algal: mineral nutrition*. In: Richmond A (ed). Handbook of microalgal culture: Biotechnology and applied phycology, pp. 97-115. Blackwell Science.
- Guillard, R. & Ryther, J. (1962). Estudios de diatomeas planctónicas marinas. I. Cyclotella nana Hustedt, y conferencia de Detonula (Cleve) Gran. *Revista Canadiense de Microbiología*, 8, 229-239.
- Guiry, G. (2013). *Tetraselmis maculata Butcher 1959* :: Algaebase. Algaebase. Recuperado 4 de septiembre de 2020 en [https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species\\_id=59563](https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=59563)
- Hernández, A. & J. Labbé. (2014). Microalgas, cultivos y beneficios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 49(2):157-173.
- Ho, S., Chen, C., Lee, D., & Chan, J. (2001). Perspectives on microalgal CO<sub>2</sub> - emission mitigation systems - A review. *Biotechnology Advances*, 29, 189-198.
- Hoppenrath, M. (2021). *Chaetoceros calcitrans (Paulsen) Takano, 1968*. Recuperado el 29 de agosto de 2021, de Planktonnet: [https://planktonnet.awi.de/index.php?contenttype=image\\_details&itemid=12609#content](https://planktonnet.awi.de/index.php?contenttype=image_details&itemid=12609#content)
- Johansen, J. (15 de junio de 2021). *Chaetoceros muelleri*. Recuperado el 29 de agosto de 2021, de Bigelow: <https://ncma.bigelow.org/CCMP1316>

- Jouenne, F. (2021). *Isochrysis galbana* Parke, 1949. Recuperado el 29 de agosto de 2021, de Planktonnet: <https://planktonnet.awi.de/#content>
- Khatoon, H., Haris, H., Rahman, NA, Zakaria, MN, Begum, H. y Mian, S. (2018). Crecimiento, composición próxima y producción de pigmentos de *Tetraselmis chuii* cultivado con aguas residuales de acuicultura. *Revista de la Universidad Oceánica de China*, 17, 641 – 646
- Lee, R. E. 1980. Phycology. Cambridge University Press. Cambridge. Ghershman, E. 2006. Células procariontas (<http://www.galileog.com/ciencia/biologia/celulas>).
- Lee, S. Y., Cho, J. M., Chang, Y. K., & Oh, Y. K. (2017). Cell disruption and lipid extraction for microalgal biorefineries: A review. *Bioresource Technology*, 41 p.
- Liu, C. P., & Lin, L. P. (2000). Ultrastructural study and lipid formation of *Isochrysis* sp. CCMP1324. *Bot. Bull. Acad. Sin.*, 42, 207–214.
- López, A. (2017). *Potencial de cepas de microalgas aisladas de la costa de Yucatán para la producción de biodiesel* (Tesis de postgrado). Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C., Yucatán, México.
- López, S. & Catzim, L. (2010). Microalgas dulceacuícolas. En S. López (Ed.), *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatan*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. México. Pp 165-166.
- Luna, R. (2015). *Incidencia de la concentración de dióxido de carbono a partir de la caliza (CaCO<sub>3</sub>) sobre la producción de la microalga *Thalassiosira**. (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador. 139 pag.
- Marshall, R., Mckinley, S. & Pearce, C. (2010). Effects of nutrition on larval growth and survival in bivalves, *Reviews in Aquaculture*, 2(1): 33-55.

- Martínez, L. (2008). *Eliminación de CO<sub>2</sub> con microalgas autóctonas*. (Tesis doctoral). Instituto de Recursos Naturales, Universidad de León, León, 226 pp.
- Medina, A., Piña, P., Nieves, M., Arzola, J. F., & Guerrero, M. (2012). La importancia de las microalgas. *CONABIO. Biodiversitas*, 103, 1-5.
- Ospina, G., Santos, M., López, J., Gómez, D., Álvarez, J., & Gómez, J. (2011). *Avances en la reproducción y mantenimiento de peces marinos ornamentales*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – Invemar Editor: Marisol Santos-Acevedo. ISBN: 978-958-8448-37-4. 105 pags.
- Pallete, J. (2004). *Cultivo y comercialización de ostras del tipo Crassostrea gigas*. (Proyecto de Inversión). Universidad San Ignacio De Loyola, Lima, Perú.
- Park, J., Craggs, R., & Shilton, A. (2011). Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production. *Bioresource Technology*, 102, 35-42.
- PHYTOPEIDIA. (2012). *Navicula sp.* Recuperado el 28 de agosto de 2021, de Phyto'pedia - The Phytoplankton Encyclopaedia Project: [https://www.eoas.ubc.ca/research/phytoplankton/diatoms/pennate/navicula/navicula\\_spp.html](https://www.eoas.ubc.ca/research/phytoplankton/diatoms/pennate/navicula/navicula_spp.html)
- PhytoTech. (2021). *Solución de medio basal de Bold (BBM) 50x*. Recuperado el 18 de agosto de 2021, de PhytoTechLabs: <https://phytotechlab.com/bold-s-basal-medium-bbm-solution-50x.html>
- Prieto, M. (2014). *Alimento vivo y su importancia en acuicultura*. Recuperado el 18 de agosto de 2021. Universidad de Córdoba. [file:///C:/Users/usuario/Downloads/1597-Texto%20del%20art%C3%ADculo-6102-1-10-20140321%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/usuario/Downloads/1597-Texto%20del%20art%C3%ADculo-6102-1-10-20140321%20(1).pdf)
- Reinke, D. C. (1984). Ultrastructure of *Chaetoceros muelleri* (Bacillariophyceae): Auxospore, resting spore and vegetative cell morphology. *J. Phycol*, 20, 153–155.

- Richmond, A. (2004). *Biological principles of mass cultivation*. In: Richmond A (ed). Handbook of microalgal culture: Biotechnology and applied phycology, pp. 125-177. Blackwell Science, Iowa.
- Romo, A. K. (2002). *Manual para cultivo de microalgas*. (Tesis de grado). Universidad autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S. 65 pags.
- Tachihana, S., Nagao, N., Katayama, T., Hirahara, M., Yusoff, F., Banerjee, S., . . . Furuya, K. (2020). High Productivity of Eicosapentaenoic Acid and Fucoxanthin by a Marine Diatom *Chaetoceros gracilis* in a Semi-Continuous Culture. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 14 p. doi:DOI: 10.3389/fbioe.2020.602721
- Takano, H. (1968). On the diatom *Chaetoceros calcitrans* (Paulsen) emend. and its dwarf form *pumilus* forma nov. *Bulletin Tokai Regional Fisheries Research Lab*, 55, 7 pp.
- Tato, T., & Beiras, R. (2019). The use of the marine microalga *Tisochrysis lutea* (T-iso) in standard toxicity tests; comparative sensitivity with other test species. *Frontiers in Marine Science*, 6, 488.
- Tello, E. G. (2018). Respuesta agronómica del fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) a un biofertilizante con base en microalgas *Chlorella* y *Scenedesmus*, 2016. (Tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, Quito-Ecuador. 81 p.
- Trelles, A, Barboza, M, Gil, F, Vidal, G., Alva, K., Espinoza, M., Gutiérrez, J. & Colchado, J. (2017). Cultivo de microalgas marinas potenciales para la acuicultura del litoral entre Puerto Salaverry y Puerto Chicama. *Arnaldoa*, 24(2), 567-582.
- Urbano, T. (2021, 11 junio). *Cultivo de microalgas*. Agrotendencia. <https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-microalgas/>
- UTEX. (2021). *UTEX 2168 Chlorella sp.* Recuperado el 28 de agosto de 2021, de Utex.org: <https://utex.org/products/utex-2168?variant=30991923707994>



- UTEX. (2021). *UTEX LB 1293 Pavlova lutheri*. Recuperado el 28 de agosto de 2021, de Utex.org: <https://utex.org/products/utex-lb-1293?variant=30992139452506>
- Vadiveloo, A., Moheimani, N. R., & Kosterink, N. R. (2016). *Photosynthetic performance of two Nannochloropsis spp. under different filtered light spectra*. Recuperado el 30 de agosto de 2021, de StellarNet: <https://www.stellarnet.us/photosynthetic-performance-two-nannochloropsis-spp-different-filtered-light-spectra/>
- Valenzuela, E., Lafarga, F., Millán, R. & Nuñez, F. (2004). Crecimiento, consumo de nutrientes y composición proximal de *Rhodomonas sp.* cultivada con medio f/2 y fertilizantes agrícolas. *Ciencias Marinas*, 31(1A): 79–89
- Vásquez, A., Guevara, M., González, M., Lemus, N. & Arredondo, B. (2010). CRECIMIENTO Y COMPOSICIÓN BIOQUÍMICA DE *Skeletonema costatum* (GREVILLE, 1866) CLEVE, 1878 (HETEROKONTOPHYTA: BACILLARIOPHYCEAE) EN FUNCIÓN DE LA IRRADIANCIA Y DEL MEDIO DE CULTIVO. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*. Vol. 22, pp. 149-159
- Villa, A., Herazo, D., & Torregroza, A. C. (2014). Efecto del fotoperiodo sobre el crecimiento de la diatomea *Chaetoceros calcitrans* (Clon C-Cal) en cultivos estáticos. *Rev. Intropica*, Vol.9, 111-117.
- Volkman, J. K., Jeffrey, S. W., Nichols, P. D., Rogers, G. I., & Garland, C. D. (1989). Fatty acid composition of 10 species of microalgae used in mariculture. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol.128, 219-240.
- Xian, Y. (2019). *High Quality Dunaliella salina Algae Powder Beta-Carotene 3%*. Recuperado el 29 de agosto de 2021, de <https://m.made-in-china.com/product/High-Quality-Dunaliella-Salina-Algae-Powder-Beta-Carotene-3-762433792.html>