



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

**CARACTERIZACIÓN DE MICROALGAS EN LA REPRESA DE SAN  
VICENTE DE COLONCHE**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRÍCULAR**

Previo a la obtención del Título de:

**BIÓLOGO**

AUTOR:

**Rodríguez González Jonathan Israel**

DOCENTE TUTORA:

**Blga. Mayra Cuenca Zambrano M.sc.**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2025**



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

**CARACTERIZACIÓN DE MICROALGAS EN LA REPRESA**  
**DE SAN VICENTE DE COLONCHE**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRÍCULAR**

**Previo a la obtención del Título de:**  
**BIÓLOGO**

**AUTOR:**

**Rodríguez González Jonathan Israel**

**DOCENTE TUTORA:**

**Blga. Mayra Cuenca Zambrano M.sc.**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2025**

# DECLARACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de Docente Tutor del Trabajo de Integración Curricular, **“Caracterización de microalgas en la represa de san Vicente de colonche”**, elaborado por el estudiante **Jonathan Rodríguez González**, estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Biólogo/a, me permito declarar que luego de haber dirigido su desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual, apruebo en todas sus partes, encontrándose apto para la evaluación del docente especialista.

Atentamente



---

Blga. Mayra Cuenca Zambrano, Msc.

**DOCENTE TUTOR**

**C.I. 1712887767**

## DECLARACIÓN DEL DOCENTE DE ÁREA

En mi calidad de Docente Especialista, del Trabajo de Integración Curricular "Caracterización de microalgas en la represa de san Vicente de colonche", elaborado por **Jonathan Rodríguez González**, estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Biólogo, me permito declarar que luego de haber evaluado el desarrollo y estructura final del trabajo, éste cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual, declaro que se encuentra apto para su sustentación.

Atentamente



---

Blga. Janeth Galarza Tipan, Ph.D  
**DOCENTE DE ÁREA**  
**C.I. 0201234044**

## DEDICATORIA

Con profunda gratitud, dedico este trabajo a Dios, el creador del universo, agradeciéndole el regalo de la vida y la luz que guía constantemente mi camino.

A mis padres, les dedico este esfuerzo por su amor incondicional y su apoyo constante en cada momento de mi vida. Les agradezco profundamente los valores que me han transmitido y que me han convertido en la persona que soy.

A mi abuela, le reconozco la invaluable sabiduría y experiencia que han compartido conmigo, sirviendo como fuente de inspiración y fortaleza. Atesoro cada consejo y el amor que siempre me han brindado, mucha gracias por todo y te extraño mucho.

Esta dedicatoria es un homenaje sincero a aquellos que han marcado mi vida de forma imborrable. A todos ustedes, expreso mi más profundo agradecimiento por ser el pilar fundamental de mi existencia.

*Jonathan Rodríguez González*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a las autoridades de la Facultad de ciencias del mar, como también a sus estudiantes, compañeros de aulas y amigos que me ayudaron en el arduo trabajo de superación de la vida y de realización de este trabajo de titulación.

Agradezco a Mi tutora la Blga. Mayra Cuenca Zambrano por sus sacrificios como docente al estar guiándome, capacitándome e ilustrarme de sus conocimientos para la realización de un excelente documento de titulación, como de la ayuda que me abrigado a mí y a mis compañeros tesistas.

A Blgo William Salvador González por guiarme y ayudarme en la recolección de muestras de campo y darme consejo

A Pedro Rodríguez y María González por toda la ayuda y apoyo que me ha brindado a lo largo de este trabajo de titulación.

A mi abuela Marieta González por su comprensión, cariño y apoyo en todas mis decisiones,

Y a todos aquellos que me han brindado una amistad y guiado y apoyo a lo larga de este camino

## TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por Jonathan Israel Rodríguez González como requisito parcial para la obtención del grado de Biólogo de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 10/12/2024



Blgo. Richard Duque Marín, M.Sc.

**DOCENTE GUÍA DE LA UIC II**

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Ing. Jimmy Villón Moreno, M.Sc

**DIRECTOR/A DE CARRERA**

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Blga. Mayra Cuenca Zambrano, M.Sc.

**DOCENTE TUTOR**

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Blga. Janeth Galarza Tipán , Pdh.

**PROFESOR DE ÁREA**

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Lcdo. Pascual Roca Silvestre, M.Sc.

**SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL**

## DECLARACIÓN EXPRESA

El contenido del presente Trabajo de Integración Curricular pertenece al autor, y el patrimonio intelectual del mismo le corresponde a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

  
\_\_\_\_\_  
**Jonathan Rodríguez González**

**C.I. 2450282773**

# Índice

Resumen .....	XIII
Introducción .....	1
Problemática.....	4
Justificación .....	6
OBJETIVOS .....	8
Objetivo general.....	8
Objetivo específico .....	8
Hipótesis .....	9
CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO .....	10
1.1    Microalgas .....	10
1.2 Importancia de las microalgas.....	11
1.3 Diversidad de las microalgas.....	12
1.4    Composición de las Microalgas .....	13
1.5    Clasificación de las microalgas.....	14
1.5.1    Cyanophyta .....	14
1.5.2    Chlorophyta .....	19
1.5.3    Bacillariophyta .....	24
1.5.4    Dinophyta .....	29
1.5.6    Euglenophyta .....	31
1.6    Microalgas como Indicadores de calidad de agua .....	34
1.7    Parámetros ambientales .....	36
1.7.1 Parámetros físicos .....	37
1.7.2 Parámetros químicos .....	38
1.8    Represa de San Vicente .....	38
CAPÍTULO 2 MARCO METDOLOGICO.....	40
2.1 Área de estudio .....	40
2.2    Trabajo de campo .....	41
2.2.1 Toma de muestras Botella Niskin.....	41

2.2.2 Muestreo de la botella Niskin .....	41
2.2.3 Toma de parámetros físicos .....	42
Turbidez .....	42
Oxígeno Disuelto .....	42
2.3 Toma de parámetro químicos .....	44
2.3.1 Recolección de muestras de agua para análisis químicos: ....	44
2.3.2 Procesamiento de muestras .....	45
2.4 Trabajo de laboratorio .....	46
Cámara de sedimentación Umberbolt .....	47
Bomba de Filtración de agua .....	46
Microscopio Invertido .....	47
2.5 Análisis ecológico .....	47
Preparación de la Muestra .....	47
Sedimentación y Homogenización .....	48
Conteo .....	49
Cálculo de Concentraciones .....	49
Índice de Shannon-Wiener (1949) .....	49
Análisis de datos estadísticos .....	51
<b>CAPÍTULO 3 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS RESULTADOS</b>	<b>52</b>
3.1 Identificación de las Microalgas perteneciente a la Represa de San Vicente de Colonche .....	52
Identificación de las Microalgas perteneciente al área de estudio. ....	52
Distribución de la población de Microalgas por monitoreo .....	53
3.2 Abundancia e diversidad de las microalgas .....	54
Dominancia de las Divisiones de las microalgas .....	56
Dominancia de las Especies de Microalgas .....	58
3.3 Correlación con los parámetros físicos-químicos .....	59
Correlación con parámetros Físicos .....	59
3.3.1 Correlación con los parámetros físicos-químicos referente la presencia de las microalgas en el área de estudio .....	59

3.2.2 Correlación con parámetros Químicos .....	63
DISCUSIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	68
Discusiones .....	68
CONCLUSIONES.....	72
Recomendaciones.....	73
Bibliografía.....	74
Anexos.....	77
78	
Bacillariophyta (Diatomeas) .....	81
<i>Nitzschia sp</i> .....	82
Euglenophyta (Euglenoides).....	84
Dinophyta (Dinoflagelados).....	85

## Índice de Graficas

<i>Gráfica 1</i> .....	53
<i>Gráfica 2</i> .....	54
<i>Gráfica 3</i> .....	56
<i>Gráfica 4</i> .....	58
<i>Gráfica 5</i> .....	60
<i>Gráfica 6</i> .....	61
<i>Gráfica 7</i> .....	62
<i>Gráfica 8</i> .....	64
<i>Gráfica 9</i> .....	65
<i>Gráfica 10</i> .....	66
<i>Gráfica 11</i> .....	67

## Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 1</i> .....	40
<i>Ilustración 2</i> .....	78
<i>Ilustración 3</i> .....	79
<i>Ilustración 4</i> .....	79
<i>Ilustración 5</i> .....	80
<i>Ilustración 6</i> .....	80
<i>Ilustración 7</i> .....	80
<i>Ilustración 8</i> .....	81
<i>Ilustración 9</i> .....	82
<i>Ilustración 10</i> .....	82
<i>Ilustración 11</i> .....	83
<i>Ilustración 12</i> .....	83
<i>Ilustración 13</i> .....	84
<i>Ilustración 14</i> .....	84
<i>Ilustración 15</i> .....	85
<i>Ilustración 16</i> .....	85
<i>Ilustración 17</i> .....	85
<i>Ilustración 18</i> .....	86
<i>Ilustración 19</i> .....	86
<i>Ilustración 20</i> .....	87
<i>Ilustración 21</i> .....	88
<i>Ilustración 22</i> .....	88

## Índice de tablas

<i>Tabla 1</i> <i>Coordenadas de las estaciones</i> .....	41
<i>Tabla 2</i> <i>Cyanophyta encontradas durante el muestreo</i> .....	86

## Glosario de términos

1. **Microalgas:** Organismos fotosintéticos unicelulares responsables de la productividad primaria en ecosistemas acuáticos. Incluyen grupos como Cyanophyta, Chlorophyta, Bacillariophyta, Dinophyta y Euglenophyta.
2. **Fitoplancton:** Comunidad de organismos microscópicos que flotan en cuerpos de agua y realizan fotosíntesis, formando la base de la cadena alimentaria.
3. **Eutrofización:** Proceso de enriquecimiento de un cuerpo de agua con nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, que provoca un crecimiento excesivo de organismos como microalgas.
4. **Bioindicadores:** Organismos cuya presencia o ausencia indica las condiciones ambientales, como la calidad del agua.
5. **Diatomeas:** Microalgas pertenecientes al grupo Bacillariophyta, caracterizadas por sus frústulas de sílice.
6. **Floraciones algales nocivas (FAN):** Aumento excesivo de ciertas microalgas que pueden liberar toxinas perjudiciales para la vida acuática y la salud humana.
7. **Índice de Shannon-Wiener (H')**: Métrica ecológica utilizada para evaluar la diversidad de especies en un ecosistema.
8. **Índice de Simpson:** Métrica que mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie.
9. **Sedimentación:** Proceso de asentamiento de partículas en un líquido, utilizado para analizar microalgas en cámaras específicas.
10. **Frústula:** Estructura de sílice que forma la pared celular externa de las diatomeas.

## **Abreviaturas**

pH: Potencial de hidrógeno, medida de la acidez o alcalinidad de una solución.

mg/L: Miligramos por litro, unidad de concentración química.

°C: Grados Celsius, unidad de temperatura.

FAN: Floraciones Algales Nocivas.

H': Índice de diversidad de Shannon-Wiener.

DO: Oxígeno disuelto.

## Resumen

La investigación tuvo como objetivo analizar la diversidad de microalgas en la represa de San Vicente de Colonche, Santa Elena, Ecuador, y su relación con parámetros fisicoquímicos del agua. Se utilizó para monitorear, una botella niskin de la cual permitió tener, muestra de agua, a una profundidad de 10 mtrs, y Se realizó la sedimentación de las muestras utilizando cámaras de Utermöhl para identificar y cuantificar las microalgas, aplicando índices ecológicos como Shannon-Wiener y Simpson. Se registraron 20 especies pertenecientes a cinco divisiones: Cyanophyta, Chlorophyta, Bacillariophyta, Dinophyta y Euglenophyta, destacando Bacillariophyta y Dinophyta como las más abundantes, con un 35.37% y 36.18%, respectivamente. *Gonyaulax apiculata* fue la especie dominante, representando más del 35% de la comunidad. Los valores de Shannon-Wiener oscilaron entre 1.66 y 1.936, indicando una diversidad moderada, mientras que el índice de Simpson mostró dominancia entre 0.6966 y 0.7181. Las correlaciones significativas entre la abundancia de microalgas y factores como el pH (8.45-8.76), la temperatura (26.65 °C a 26.8 °C) y las concentraciones de nutrientes se midieron con espectrofotometría de los cuales se tuvieron registró, como nitratos (2.5-2.7 mg/L) y fosfatos (24-26 mg/L), evidenciaron que altos niveles de nutrientes favorecieron el crecimiento de especies dominantes. Estos resultados indican un proceso de eutrofización en la represa, impulsado por el aumento de nutrientes, lo que puede influyen directamente en la composición y su estructura de la comunidad de microalgas. Este estudio resalta la importancia de monitorear los parámetros fisicoquímicos para entender la dinámica de los ecosistemas acuáticos y la eutrofización.

**Palabras claves:** Microalgas, Represa, Dinoflagelados, Eutrofización.

## ABSTRACT

The research aimed to analyze the diversity of microalgae in the San Vicente de Colonche reservoir, Santa Elena, Ecuador, and its relationship with the water's physicochemical parameters. A Niskin bottle was used for monitoring, allowing water samples to be collected at a depth of 10 meters. Samples were sedimented using Utermöhl chambers to identify and quantify the microalgae, applying ecological indices such as Shannon-Wiener and Simpson.

Twenty species were recorded, belonging to five divisions: Cyanophyta, Chlorophyta, Bacillariophyta, Dinophyta, and Euglenophyta. Bacillariophyta and Dinophyta stood out as the most abundant, with 35.37% and 36.18%, respectively. *Gonyaulax apiculata* was the dominant species, representing over 35% of the community. Shannon-Wiener values ranged from 1.66 to 1.936, indicating moderate diversity, while the Simpson index showed dominance values between 0.6966 and 0.7181.

Significant correlations between microalgae abundance and factors such as pH (8.45–8.76), temperature (26.65 °C to 26.8 °C), and nutrient concentrations were measured using spectrophotometry. Recorded levels included nitrates (2.5–2.7 mg/L) and phosphates (24–26 mg/L), highlighting that high nutrient levels favored the growth of dominant species.

These results indicate a eutrophication process in the reservoir, driven by increased nutrient levels, which directly influence the composition and structure of the microalgal community. This study underscores the importance of monitoring physicochemical parameters to understand the dynamics of aquatic ecosystems and eutrophication.

Keywords: Microalgae, Reservoir, Dinoflagellates, Eutrophication.

## Introducción

En los ecosistemas acuáticos, la abundancia y distribución de las microalgas dependen de la cantidad de nutrientes disponibles en el medio ambiente. Esta biota es la mayor productora de oxígeno del mundo, además de formar la base de la cadena alimentaria, proporcionando alimento a herbívoros y omnívoros. El fitoplancton vive en capas iluminadas de cuerpos de agua, donde pueden agregarse en colonias, formando hileras o grupos llamados colonias (Torres, 2022).

Según vela (2020) señaló que las microalgas en los ecosistemas acuáticos indica la calidad del agua en el ecosistema, como las diatomeas y las cianobacterias, que son bioindicadores según la presencia que tengan. El fitoplancton interactúa significativamente con su entorno, incluidos elementos abióticos y bióticos. Los factores más importantes que afectan el crecimiento de las microalgas son la luz solar, la temperatura, el pH, la accesibilidad a nutrientes y la salinidad del agua (Meléndez, 2022).

El aumento de las diversas comunidades dentro del grupo de las microalgas es debido a su relación con factores físicos y químicos de su medio, así como factores biológicos, como lo es la depredación y competencias entre

diferentes especies, En mayor medida, la disponibilidad de nutrientes es la mayor forma de regulación de biomasa general de fitoplancton en aguas poco profundas, lagos y ríos, debido a que estos factores puede ser influenciado fácilmente a medida que avanza el tiempo e influye de forma considerable a la distribución y abundancia de las microalgas (Valencia, 2022).

La caracterización de microalgas en cuerpos de agua dulce es fundamental para entender la calidad del agua y los procesos ecológicos que se desarrollan en estos ecosistemas (Wang et al., 2020). Los Microorganismo como las microalgas son susceptible a cambio en su entorno, lo cual muchas de estas especies nos sugieren, que son bioindicadores de su medio y esto refleja si las masas de agua sufren de alguna contaminación (Huang et al., 2018). La represa de San Vicente de Colonche, al ser un ambiente de agua salubre en la región costera, alberga una diversidad de microalgas que pueden proporcionar información relevante sobre el estado ecológico de la represa y posibles efectos antropogénicos. Los Estudios más recientes demostraron que la utilidad de caracterizar la población y abundancia que presentan las microalgas sirven para monitorear el impacto de factores como nutrientes, pH y contaminantes en ecosistemas acuáticos (Zhang et al., 2016). El fitoplancton desempeña un papel crucial en la estructura y función de los ecosistemas acuáticos. En el caso de la represa de San Vicente de Colonche, el análisis

detallado de las comunidades de microalgas permite comprender los procesos de producción primaria, y ciclaje de nutrientes. Esta información es esencial para evaluar la salud ecológica del ecosistema y su capacidad de respuesta a perturbaciones.

## **Problemática**

En Ecuador, en la Provincia de Santa Elena, se encuentra ubicado la represa de San Vicente de Colonche, el mismo que presenta comunidades Microalgas, asociadas posiblemente a variables físicas y que podrían provocar alteraciones en el medio acuático, afectando la distribución de las especies de Microalgas en general, que es considerado productor primario dentro de la cadena trófica en ecosistemas dulceacuícola.

En la actualidad, numerosos países de América Latina se enfrentan al serio desafío de la contaminación del agua, que conlleva repercusiones significativas en los procesos naturales de los ecosistemas. Esta problemática genera contaminación en el agua, pérdida de biodiversidad y afectaciones tanto a los seres humanos como a las especies de peces y macroinvertebrados en diferentes escalas temporales, que van desde el corto hasta el largo plazo.

Según la especie, las floraciones llegan a representar una problemática. Por ejemplo, es común que ocurran floraciones de cianobacterias y dinoflagelados, organismos capaces de producir toxinas potentes, cuando estas floraciones se producen en cuerpos de agua utilizados para el

suministro público, agrícola y en un lugar de recreación, ocasionan problemas de salud pública como lo es la enfermedad por intoxicación de la ciguatera y riegos de perder estos recursos indefinidamente. Además del impacto en la salud humana, las toxinas causan la muerte de invertebrados y plancton en entorno de la afloración. Es importante destacar que el aumento en la cantidad de fitoplancton en el entorno puede dar lugar a una capa que bloquea la entrada de luz solar, lo que dificulta la fotosíntesis y, como consecuencia, reduce los niveles de oxígeno en el agua.

En esta zona se comercializa muchos los organismos obtenido de la represa como lo son la tilapia, el chame, y algunos crustáceos como lo son el camarón de río , por estas actividades de pesca que se realiza, es de importancia que el estudio de la productividad primaria en este ambiente, es de vital importancia ya que estos ayudara a indicar que especies de microalgas son más abundante y nos ayudara a entender, tanto la calidad del agua presente en la zona como la distribución de la microalgas presente en la represa.

## **Justificación**

La represa de San Vicente de Colonche, en la provincia de Santa Elena, representa un ecosistema dulceacuícola de importancia económica y ecológica. Sin embargo, las comunidades de microalgas presentes en este cuerpo de agua pueden verse afectadas por variables físicas y químicas que alteran su distribución y composición. Este fenómeno no solo repercute en la productividad primaria, fundamental para la cadena trófica, sino que también puede desencadenar problemáticas como floraciones algales, algunas de las cuales son potencialmente tóxicas.

En el contexto de América Latina, donde la contaminación hídrica es un desafío creciente, comprender la dinámica de las microalgas en cuerpos de agua como la represa de San Vicente resulta esencial. Las alteraciones en estas comunidades pueden tener implicaciones directas en la calidad del agua, afectando tanto la biodiversidad acuática como las actividades económicas asociadas, este caso la pesca, y el pastoreo del ganado de la zona.

El análisis de las microalgas permitirá identificar las especies más abundantes y comprender cómo los cambios ambientales influyen en su distribución. Además, estos estudios son clave para prever riesgos asociados a la salud pública y garantizar la sostenibilidad de los recursos naturales. En este

contexto, evaluar las comunidades de microalgas no solo contribuye a la conservación del ecosistema, sino que también fomenta el desarrollo sostenible de las actividades económicas de la región.

# **OBJETIVOS**

## **Objetivo general**

Examinar la diversidad de microalgas y sus relaciones con las características fisicoquímicas del medio ambiente acuático, utilizando la metodología de Utermohl, para identificar los factores que influyen en diversidad y abundancia.

## **Objetivo específico**

- Determinar la diversidad taxonómica de las especies de microalgas presentes en las muestras recolectadas utilizando técnicas de microscopía inversa.
- Establecer la abundancia y Diversidad de las especies de microalgas encontradas en la represa mediante análisis estadísticos.
- Describir los parámetros fisicoquímicos del medio y su influencia en la presencia de las microalgas.

**Hipótesis**

Existen diferencias significativas en la abundancia de las microalgas en la Represa San Vicente, en relación de sus parámetros físicos-químicos.

# CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

## 1.1 Microalgas

Las microalgas, organismos fotosintéticos unicelulares, son aquellas que desempeñan, un papel fundamental en los ecosistemas acuáticos, siendo responsable de la productividad primaria dentro de los diferentes ecosistemas acuáticos (Aquino Méndez, 2015). Estos organismos se encuentran en las mayorías de los ambientes acuáticos, tanto en agua salobre como las aguas oceánicas, estas, constituyen la base de la cadena trófica en estos ecosistemas. El fitoplancton captura dióxido de carbono, generando oxígeno a través de la fotosíntesis, cuyo proceso es fundamental a la hora de dar un equilibrio al ecosistema como eslabón primario (Meléndez, 2022). A nivel estructural, las microalgas tienen un sin fin de aspectos, cada una de ellas con adaptaciones específicas del medio acuático donde permanece. Se clasifican en grupos como las cianobacterias, clorofitas, bacilariofitas (diatomeas), y dinofitas (dinoflagelados), cada uno con características morfológicas, carotenoides, pigmentación y formas únicas (Salinas Yagual, 2014). Su diversidad y la adaptabilidad que la mayoría posee, les permiten responder de formas rápida a los cambios ambientales, lo cual las convierte en bioindicadores eficientes para los diferentes estudios de la calidad del agua y contaminación (Valencia, 2022).

## **1.2 Importancia de las microalgas**

Bolaños (2020) nos indica que la importancia de las microalgas en su ecosistema forma parte del primer eslabón de la cadena trófica, en la mayoría de los ambientes acuáticos tanto salobres como oceánicas, El punto de vista ecológico, también posee un rol importante en producción de oxígeno, en la regulación del dióxido de carbono en el ecosistema y contribuyendo al equilibrio atmosférico y mitigando en ciertas áreas el cambio climático (Salinas Yagual, 2014). Económicamente, las microalgas se consideran unas de las más importante a la hora de pensar en la elaboración de biocombustibles debido a su alta eficiencia en la acumulación de lípidos y su alto índice de crecimiento en condiciones tanto controladas en cultivos abiertos como cerrados, conjuntamente, debido a su respuesta rápida en cambios a parámetros del agua, las microalgas son utilizadas como bioindicadores en el monitoreo ambiental, permitiendo detectar tempranamente la presencia de perturbaciones como contaminantes (Torres, 2022).

### 1.3 Diversidad de las microalgas

Según la diversidad de microalgas en el entorno, nos indica la salud general de su entorno, en términos de biodiversidad, las microalgas presentan una amplia gama de diversas formas, tamaños, color, cenobios y adaptaciones fisiológicas, permitiéndoles colonizar diferentes ambientes desde los más extremos hasta cuerpos con parámetros ideales (Hernández-Pérez, 2014). Esta diversidad es evaluada mediante índices como el de Shannon-Wiener, que permite cuantificar y comparar la riqueza de especies en distintos ecosistemas acuáticos. Un alto índice de diversidad indica un ambiente saludable y equilibrado, mientras que una baja diversidad puede señalar estrés ambiental o la influencia de factores de contaminación (Aquino Méndez, 2015).

Meléndez (2022), la diversidad de microalgas contribuye a la salud del ecosistema, ya que es la base alimentaria para organismos como los zooplancton y larvas de peces, sosteniendo así la cadena trófica de medio acuático, la complejidad de las microalgas proporciona estabilidad ecológica en perturbaciones ambientales, permitiendo que el ecosistema recupere su equilibrio tras adaptaciones a la contaminación o el cambio climático (Valencia, 2022).

#### **1.4 Composición de las Microalgas**

La composición de las microalgas varía según su grupo y medio, estas comprenden principalmente clorofila, carotenos y otros pigmentos fotosintéticos, las cuales capturan la luz solar y ayuda al proceso de fotosíntesis (Torres, 2022). Según Bolaños (2022) las clorofitas, contienen clorofilas a y b, mientras que las diatomeas presentan clorofilas a y c, además de su frústula de sílice que les da su estructura rígida. Los dinoflagelados poseen clorofilas a y c y pigmentos accesorios como la peridina, que les da su coloración característica y facilita su adaptación a la luz en ambientes marinos y salobres aparte de tener una diversa diferenciación e identificación en cada grupo. Esta diversidad en cuanto a su pigmentación, estructura y adaptabilidad les permite ocupar diferentes nichos ecológicos en la columna de agua, aprovechando la luz y nutrientes disponibles del medio. En general la composición bioquímica de las microalgas, rica en proteínas, lípidos y carbohidratos, las convierte en posibles fuentes nutricionales importantes en los cultivos acuáticos y como materia prima en la producción de biocombustibles y suplementos alimenticios para el consumo humano (FAO, 2020).

## **1.5 Clasificación de las microalgas**

Las microalgas se clasifican de las siguientes divisiones: Cyanophyta, Chlorophyta, Bacillariophyta (diatomeas), Dinophyta (dinoflagelados) y Euglenophyta.

### **1.5.1 Cyanophyta**

Las cyanophyta, conocidas también como cianobacterias, algas verde-azules, son organismos procariotas, no posee un núcleo celular definido. De los grupos de organismos más antiguos, con el rol de importancia en la evolución de la atmósfera terrestre al liberar oxígeno a través de la fotosíntesis. Contienen clorofila a y otros pigmentos como ficocianina, que les da su color llamativo verde y azuladas, estos microorganismos capaces de fijar nitrógeno atmosférico en ambientes con bajos de nutrientes, por lo que su presencia está en muchos ecosistemas acuáticos. (Petcheneshsky, 2015).

Las cianobacterias son conocidas por su capacidad de formar floraciones, de las cuales pueden ser tóxicas, afectando la vida silvestre y el ecosistema. Estas floraciones ocurren especialmente en cuerpos de

agua ricos en nutrientes debido a la eutrofización. Debido a su resiliencia, son utilizados como bioindicadores para evaluar el estado de salud del agua (Bonilla, 2021).

Algunos ejemplares son los siguientes:

***Anabaena constricta***

*Reino: Bacteria*

*Filo: Cyanobacteria*

*Clase: Cyanophyceae*

*Orden: Nostocales*

*Familia: Nostocaceae*

*Género: Anabaena*

*Especie: constricta*

Esta cianobacteria prospera en ambientes ricos en nitrógeno y fósforo; utiliza nitratos y fosfatos como nutrientes esenciales. Se desarrolla mejor en aguas cálidas (25-30 °C) y con pH alcalino (7.5-8.5). Es común en cuerpos de agua eutrofizados donde los aportes de materia orgánica son altos. Tolerancia moderada de luz y puede sobrevivir en condiciones de baja turbulencia; su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico la hace resistente en medios con nitrógeno limitado.

## ***Aphanizomenon flosaquae***

*Reino: Bacteria*

*Filo: Cyanobacteria*

*Clase: Cyanophyceae*

*Orden: Nostocales*

*Familia: Aphanizomenonaceae*

*Género: Aphanizomenon*

*Especie: flosaquae*

Requiere concentraciones elevadas de fosfato y amonio para formar floraciones, típicas en lagos y embalses eutrofizados. Prefiere aguas calmadas y temperaturas entre 20-28 °C; puede adaptarse a condiciones de pH ligeramente alcalino (7-8). Su éxito se debe en parte a su capacidad de flotar, lo que le permite optimizar la exposición a la luz solar. Su crecimiento es favorecido por la estratificación térmica del agua en épocas cálidas.

## ***Anabaenopsis circularis***

*Reino: Bacteria*

*Filo: Cyanobacteria*

*Clase: Cyanophyceae*

*Orden: Nostocales*

*Familia: Nostocaceae*

*Género: Anabaenopsis*

*Especie: circularis*

Este organismo prospera en aguas con altos niveles de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo; puede fijar nitrógeno molecular en ambientes deficitarios. Prefiere temperaturas cálidas (25-32 °C) y niveles de pH entre 7.2-8.5. Su distribución se ve favorecida en aguas con baja turbulencia, donde la luz penetra a profundidades moderadas. Responde rápidamente a cambios en las condiciones ambientales, formando floraciones tóxicas bajo ciertos escenarios.

***Pseudanabaena catenata***

*Reino: Bacteria*

*Filo: Cyanobacteria*

*Clase: Cyanophyceae*

*Orden: Oscillatoriales*

*Familia: Pseudanabaenaceae*

*Género: Pseudanabaena*

*Especie: catenata*

Es una cianobacteria que crece en ambientes ricos en nutrientes (fosfatos y nitratos) con concentraciones moderadas de carbono inorgánico. Prefiere temperaturas de 20-28 °C y condiciones de pH neutro a ligeramente alcalino (7-8.2). Se encuentra en aguas estáticas o con poca corriente, donde la iluminación es media; tolera ciertos niveles de contaminación orgánica y es resistente a fluctuaciones de oxígeno disuelto (Leal. 2013).

***Merismopedia tenuissima***

*Reino: Bacteria*

*Filo: Cyanobacteria*

*Clase: Cyanophyceae*

*Orden: Chroococcales*

*Familia: Merismopediaceae*

*Género: Merismopedia*

*Especie: tenuissima*

Necesita nitratos y fosfatos en concentraciones moderadas para un crecimiento eficiente. Su hábitat incluye aguas cálidas, con temperaturas óptimas entre 22-30 °C; se desarrolla bien en medios con pH ligeramente alcalino (7-8.5). Es común en cuerpos de agua estancados o lentos, donde la radiación solar no es excesiva. Tolerante a condiciones mesotróficas y a cambios estacionales en la disponibilidad de nutrientes (Leal. 2013).

### **1.5.2 Chlorophyta**

Las clorofitas, también conocidas como las algas verdes, organismos eucariotas y fotosintéticos que contienen clorofilas a y b, así como carotenos. Este grupo de microalgas es extremadamente diverso con divisiones en macroalgas y microalgas, con especies unicelulares, coloniales y multicelulares. Las clorofitas se encuentran en mayor medida a ecosistemas de agua dulce o de baja salinidad, aunque sus adaptaciones les permite habitar ambientes marinos y terrestres. (Vasquez, 2020).

Las clorofitas son sensibles a las condiciones del entorno y llegan a ser utilizadas en estudios como bioindicadores para medir la calidad del agua, en diferentes partes del mundo. Su afloramiento y diversidad está influido por factores ambientales como la luz, la temperatura, el pH y los niveles de nutrientes. En ecosistemas acuáticos, las algas verdes juegan un papel importante como fuente de alimento para otro organismo dentro de los sistemas acuáticos. Y llegando a formar parte de asociaciones simbióticas (Konrad, 2020).

Algunas especies presente son:

**Dispora sp**

Reino: Plantae

Filo: Chlorophyta

Clase: Chlorophyceae

Orden: Chlorococcales

Familia: Desmidiaceae

Género: *Dispora*

Esta alga verde crece en aguas moderadamente eutrofizadas, donde los nitratos y fosfatos están disponibles. Prefiere temperaturas entre 18-25 °C y un rango de pH de 7 a 8.2. Requiere una iluminación moderada,

siendo sensible a la competencia por luz en aguas turbias; se encuentra comúnmente en lagos y represas con baja turbulencia y buena estratificación térmica.

### **Pediastrum simplex**

Reino: Plantae

Filo: Chlorophyta

Clase: Chlorophyceae

Orden: Sphaeropleales

Familia: Hydrodictyaceae

Género: *Pediastrum*

Especie: *simplex*

Se desarrolla en ambientes ricos en nutrientes (especialmente nitratos y fosfatos), típicos de cuerpos de agua estancados. Prefiere temperaturas templadas a cálidas (15-28 °C) y condiciones de pH entre 6.5-8. Se beneficia de niveles moderados de luz solar y aguas bien oxigenadas. Es resistente a fluctuaciones estacionales y puede formar colonias grandes en aguas ricas en materia orgánica (Wetzel, 2021).

## **Closterium acutum**

Reino: Plantae

Filo: Charophyta

Clase: Zygnematophyceae

Orden: Desmidiiales

Familia: Closteriaceae

Género: *Closterium*

Especie: *acutum*

Esta desmidiácea crece en aguas oligotróficas a mesotróficas con niveles bajos a moderados de nitratos y fosfatos. Prefiere temperaturas frescas a templadas (15-22 °C) y un pH neutro (6.8-7.2). Necesita aguas bien oxigenadas y con baja turbidez para optimizar la fotosíntesis. Es sensible a contaminantes, por lo que su presencia indica condiciones ambientales relativamente buenas (Wetzel, 2021).

## **Stauridium tetras**

Reino: Plantae

Filo: Chlorophyta

Clase: Chlorophyceae

Orden: Sphaeropleales

Familia: Scenedesmaceae

Género: *Stauridium*

Especie: *tetras*

Requiere niveles moderados de nutrientes, particularmente nitratos y amonio; tolera aguas con poca carga de fosfato. Se desarrolla mejor a temperaturas entre 20-28 °C y en medios con pH de 6.5-8. Es común en lagos y embalses con baja circulación, donde la luz alcanza niveles suficientes para sustentar la fotosíntesis. Resiste fluctuaciones temporales en los niveles de oxígeno disuelto (Wetzel, 2021).

### **Crucigenia tetrapedia**

Reino: Plantae

Filo: Chlorophyta

Clase: Chlorophyceae

Orden: Sphaeropleales

Familia: Scenedesmaceae

Género: *Crucigenia*

Especie: *tetrapedia*

Crece en aguas con niveles medios de nitratos y fosfatos, típicos de ambientes mesotróficos. Prefiere temperaturas de 18-26 °C y un pH cercano a neutro (7-8). Su hábitat incluye aguas claras con buena penetración de luz, lo que favorece la fotosíntesis. Resistente a niveles bajos de turbidez, pero sensible a contaminantes químicos y biológicos.

### **1.5.3 Bacillariophyta**

Las diatomeas son algas unicelulares ubicadas en el grupo de Bacillariophyta con una estructura de simbiosis externa conocida como frústula, tienen una apariencia similar a una caja con un patrón inherente. Las diatomeas son predominantes en muchos ambientes acuáticos, incluidos el agua dulce y salada, y desempeñan un papel primordial en la producción primaria, con fracciones significativas en la fotosíntesis oceánica. El uso de la frústula después del organismo permite que las diatomeas se estudien en los sedimentos después de la muerte. Dado que las diatomeas reaccionan a las condiciones anormales y anormales en la disponibilidad de los nutrientes, son útiles como bioindicadores. La

presencia de cantidades copiosas de diatomeas es una señal de la disponibilidad alta de nutrientes en el agua (Carrera, 2022).

Entre las especies de esta división tenemos:

### **Pleurosigma sp**

Reino: Chromista

Filo: Bacillariophyta

Clase: Bacillariophyceae

Orden: Pennales

Familia: Pleurosigmataceae

Género: *Pleurosigma*

Prospera en ambientes ricos en sílice (>10 mg/L), con nitratos moderados (0.2-0.8 mg/L) y fosfatos bajos (<0.05 mg/L). Prefiere aguas oxigenadas (oxígeno disuelto >6 mg/L) y con buena transparencia, ya que requiere suficiente luz para la fotosíntesis. Su presencia es común en aguas estuarinas y dulces que muestran estabilidad térmica, con temperaturas óptimas de 18-25 °C. Las condiciones de alta turbidez o cargas orgánicas excesivas pueden afectar su desarrollo (Carrera, 2022).

## **Gyrosigma acuminatum**

Reino: Chromista

Filo: Bacillariophyta

Clase: Bacillariophyceae

Orden: Pennales

Familia: Pleurosigmaaceae

Género: *Gyrosigma*

Especie: *acuminatum*

se desarrolla mejor en aguas con altos niveles de sílice (12-20 mg/L), nutrientes moderados y pH cercano a la neutralidad (6.5-7.5). Este organismo es indicativo de aguas de buena calidad, aunque tolera cierta contaminación leve. La presencia de materia orgánica en exceso, combinada con bajos niveles de oxígeno, reduce su abundancia, lo que lo convierte en un bioindicador útil (Carrera, 2022).

## **Navicula sp**

Reino: Chromista

Filo: Bacillariophyta

Clase: Bacillariophyceae

Orden: Pennales

Familia: Naviculaceae

Género: *Navicula*

Prospera en una amplia variedad de ambientes acuáticos, desde aguas dulces hasta marinas. Requiere silicio para la construcción de su frústula (esqueleto de sílice), así como nitrógeno ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), fósforo ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) y micronutrientes como hierro (Fe). Prefiere condiciones de luz moderada a alta y temperaturas que oscilan entre 15-25 °C. Puede tolerar un amplio rango de salinidades, pero generalmente se desarrolla mejor en aguas ligeramente salinas. Su presencia indica un ambiente rico en silicio y con una comunidad algal diversa (Carrera, 2022).

### **Caloneis amphisbaena**

Reino: Chromista

Filo: Bacillariophyta

Clase: Bacillariophyceae

Orden: Pennales

Familia: Bacillariaceae

Género: *Caloneis*

Especie: *amphisbaena*

Esta diatomea bentónica se encuentra comúnmente en sedimentos y sobre sustratos duros. Al igual que *Navicula* sp., necesita silicio para construir su frústula. Además, requiere nitrógeno, fósforo y micronutrientes. Prefiere aguas con moderada cantidad de materia orgánica y temperaturas entre 15-25 °C. Puede tolerar un amplio rango de salinidades, pero se desarrolla mejor en aguas salobres. Su presencia indica un ambiente estable y con una alta tasa de sedimentación.

### **Cyclotella meneghiniana**

Reino: Chromista

Filo: Bacillariophyta

Clase: Coscinodiscophyceae

Orden: Thalassiosirales

Familia: Thalassiosiraceae

Género: *Cyclotella*

Especie: *meneghiniana*

Esta diatomea céntrica forma parte del fitoplancton en muchos cuerpos de agua. Requiere silicio, nitrógeno, fósforo y micronutrientes para su crecimiento. Prefiere aguas eutróficas con altas concentraciones de nutrientes y temperaturas moderadas (15-25 °C). Puede formar floraciones algales en condiciones favorables. Su presencia indica un ambiente rico en nutrientes y con una alta productividad primaria.

#### **1.5.4 Dinophyta**

Los dinoflagelados o Dinophyta son microalgas fotosintéticas o heterótrofas en su mayoría con dos flagelos que les sirven para nadar entre el plancton. Contienen clorofila a, c, y otros pigmentos como la peridinina. Son generalmente costeras, aunque algunos viven en sistemas de agua dulce. La característica más notoria de los dinoflagelados es su comportamiento de mareas rojas. Algunas de estas algas que pueden ser tóxicas para la fauna marina y humana debido a la liberación de toxinas. Algunos son bioluminiscentes y brillan en la oscuridad, lo que se puede apreciar con algunas condiciones ambientales específicas. También son indicadores de la calidad del agua y los cambios en la base de la alimentación. (Torres, 2022).

## **Gonyaulax apiculata**

Reino: Chromista

Filo: Dinoflagellata

Clase: Dinophyceae

Orden: Gonyaulacales

Familia: Gonyaulacaceae

Género: *Gonyaulax*

Especie: *apiculata*

Este dinoflagelado es conocido por formar parte de las F.A:N ( Floraciones Algales Nocivas) además de los nutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo, silicio y micronutrientes), requiere compuestos orgánicos como fuente de carbono. Prefiere temperaturas cálidas. Puede producir toxinas que afectan al equilibrio del ecosistema. Su presencia indica un ambiente marino con condiciones propicias para el desarrollo de floraciones algales nocivas.

## **Peridinium sp**

Reino: Chromista

Filo: Dinoflagellata

Clase: Dinophyceae

Orden: Peridinales

Familia: Peridiniaceae

Género: *Peridinium*

Se necesita nitratos en un rango de 0.1-0.5 mg/L y fosfatos menores a 0.03 mg/L para su desarrollo. Este dinoflagelado muestra preferencia por temperaturas cálidas (22-28 °C) y aguas con pH ligeramente alcalino (7.5-8.5). Se observa en ambientes donde la transparencia del agua permite una iluminación moderada a alta. Es sensible a la contaminación orgánica y a cambios bruscos de salinidad, lo que lo convierte en un indicador de estabilidad ambiental en aguas mesotróficas.

### **1.5.6 Euglenophyta**

Las euglenofitas o Euglenophyta es una de estas algas unicelulares; carecen de una pared celular dura y en su lugar, cuentan con una membrana celular flexible. A pesar de que contienen clorofila a y b y pueden realizar fotosíntesis, las células euglenofitas a menudo pueden ser heterótrofas, lo que significa que obtienen nutrientes del ambiente

cuando no hay suficiente luz solar para la fotosíntesis. Se encuentran con mayor frecuencia en aguas dulces eutróficas, pero también pueden ser ubicuas, lo que significa que se encuentran en todos los lugares en los que las condiciones sean posibles. Su estructura única es el estigma, también conocido como el “ojo” que les ayuda a encontrar una fuente de luz y mover sus cuerpos para recibir la máxima cantidad de la misma, lo que mejora la tasa de fotosíntesis.

### **Euglena viridis**

Reino: Excavata

Filo: Euglenozoa

Clase: Euglenophyceae

Orden: Euglenales

Familia: Euglenaceae

Género: *Euglena*

Especie: *viridis*

Este euglenoide es un organismo mixotrófico, es decir, puede obtener energía tanto a través de la fotosíntesis como de la ingestión de otros organismos. Puede utilizar una variedad de fuentes de carbono y

requiere micronutrientes para su crecimiento. Prefiere aguas dulces con baja salinidad y temperaturas moderadas (20-25 °C). Puede formar floraciones algales en condiciones favorables. Su presencia indica un ambiente rico en materia orgánica y con una alta actividad bacteriana.

### **Phacus orbicularis**

Reino: Excavata

Filo: Euglenozoa

Clase: Euglenophyceae

Orden: Euglenales

Familia: Euglenaceae

Género: *Phacus*

Especie: *orbicularis*

Prospera en aguas eutróficas con altos niveles de nutrientes, especialmente nitratos (>0.5 mg/L) y fosfatos (>0.04 mg/L), así como una concentración significativa de materia orgánica. Prefiere temperaturas entre 22-30 °C y niveles bajos de oxígeno disuelto (<4 mg/L), lo que indica que puede tolerar condiciones de hipoxia. La presencia de este organismo es común en cuerpos de agua con

descargas domésticas o agrícolas, actuando como indicador de contaminación orgánica.

### **1.6 Microalgas como Indicadores de calidad de agua**

Las cianobacterias prosperan en aguas con alta carga de nutrientes (nitratos  $>0.1$  mg/L y fosfatos entre 0.01-0.1 mg/L). Prefieren temperaturas cálidas (20-30 °C) y valores de pH alcalinos (7.2-8.5). Su crecimiento excesivo puede provocar floraciones tóxicas, como las de *Aphanizomenon flosaquae* y *Anabaena constricta*, las cuales producen toxinas como saxitoxinas y microcistinas que afectan la biodiversidad acuática y la salud humana. Las condiciones de hipoxia y eutrofización, causadas por la acumulación de materia orgánica y nutrientes, son indicadores claros de mala calidad del agua para este grupo. La baja turbulencia y la estratificación térmica favorecen su proliferación (Dodds & Whiles, 2020)

Las Clorofitas son algas verdes que requieren niveles moderados de nutrientes, con nitratos entre 0.1-1.5 mg/L y fosfatos de 0.01-0.06 mg/L. Prefieren aguas con pH neutro a ligeramente alcalino (6.8-8) y

temperaturas templadas a cálidas (15-28 °C). Su presencia indica generalmente una buena calidad del agua, pero pueden proliferar excesivamente en condiciones eutróficas, afectando la transparencia y la fotosíntesis de otros organismos. *Pediastrum simplex* y *Crucigenia tetrapedia* forman colonias que contribuyen a la estructura del fitoplancton, mientras que *Closterium acutum* es sensible a la contaminación, lo que lo hace un bioindicador útil en sistemas acuáticos (Wetzel, 2021).

Las diatomeas son algas silíceas que prosperan en aguas con altos niveles de dióxido de silicio (5-15 mg/L) y nutrientes moderados (nitratos de 0.2-1 mg/L; fosfatos <0.05 mg/L). Prefieren aguas oxigenadas (oxígeno disuelto >5 mg/L) y con temperaturas de 15-25 °C. Algunas especies como *Nitzschia sp.* pueden tolerar aguas contaminadas, mientras que *Navicula sp.* es sensible a la contaminación orgánica y química, lo que la convierte en un indicador de calidad del agua. La acumulación excesiva de materia orgánica y la turbidez pueden afectar negativamente su crecimiento (Esteves, 2021).

Los dinoflagelados son microorganismos mixotróficos que prosperan en aguas con nitratos entre 0.1-1 mg/L y fosfatos <0.05 mg/L, generalmente en condiciones oligotróficas o mesotróficas. Prefieren temperaturas

cálidas (20-30 °C) y pH entre 7-8.5. Pueden producir toxinas potentes, como en el caso de *Gonyaulax apiculata*, que genera mareas rojas en condiciones de eutrofización. Una iluminación moderada a alta y una baja turbulencia favorecen su crecimiento. Su presencia en cuerpos de agua utilizados para consumo humano o recreación puede indicar riesgos de toxicidad y mala calidad del agua (Esteves, 2021).

Las Euglenofitas, como *Euglena viridis* y *Phacus orbicularis*, prosperan en aguas ricas en materia orgánica y con altos niveles de nutrientes, especialmente amonio (>0.5 mg/L) y fosfatos (>0.03 mg/L). Pueden tolerar ambientes eutrofizados y bajos niveles de oxígeno disuelto (<4 mg/L). Prefieren pH neutro a ligeramente alcalino (6.8-8) y temperaturas cálidas (20-30 °C). Su presencia es indicativa de contaminación orgánica, como descargas domésticas o agrícolas, y su crecimiento excesivo puede reducir la calidad del agua debido al aumento de la turbidez y la competencia por oxígeno (Wetzel, 2021).

## **1.7 Parámetros ambientales**

### **1.7.1 Parámetros físicos**

La composición, abundancia y distribución del fitoplancton en los ecosistemas acuáticos se ven considerablemente afectadas por la compleja interacción de variables abióticas como la temperatura, la turbidez y la irradiación lumínica, las cuales regulan los procesos de producción primaria y la estructura trófica. (Sánchez & Salazar, 2020).

Los cambios térmicos afectan directamente las reacciones enzimáticas subyacentes al metabolismo del fitoplancton alterando sus tasas de crecimiento, reproducción y supervivencia. La solubilidad limitada del oxígeno a altas temperaturas compromete la fosforilación oxidativa, limitando la producción de ATP y, por tanto, la actividad celular. (Valencia, 2022).

La combinación de los factores físicos de temperatura, turbidez e intensidad lumínica puede ser una fuerza impulsora de cambios intensos en la estructura y función de los ecosistemas acuáticos. Por ejemplo, el aumento de la temperatura y la turbidez del agua junto con la disminución de la intensidad lumínica son condiciones favorables para la proliferación de algunas especies de cianobacterias, comúnmente utilizadas como un

término general popular “floraciones de algas nocivas”. (Meléndez, 2022).

### **1.7.2 Parámetros químicos**

Por otro lado, los parámetros químicos son indicadores básicos de la salud de un ecosistema acuático. El oxígeno disuelto, necesario para la respiración de los seres acuáticos, de la capacidad del agua para albergar vida y se ve afectado por la temperatura, la fotosíntesis y la descomposición de materia orgánica. (García & Sánchez, 2021).

El pH del agua es otro indicador crítico, ya que afecta la solubilidad y toxicidad de compuestos químicos, influenciando así la disponibilidad de nutrientes y la supervivencia de especies sensibles (Bolaños-Alfaro, 2022). Los nutrientes, especialmente con mayor importancia entre los diferentes son el nitrógeno y el fosforo, dependiendo de estos nutrientes la afloración de puede llevar en mayor o menor concentraciones las cuales influye mucho en los ecosistemas (Valencia, 2022).

## **1.8 Represa de San Vicente**

La represa San Vicente, ubicada en Colonche, Santa Elena, Ecuador, es una estructura de tierra de 25 metros que almacena

aproximadamente 40 hectómetros cúbicos de agua. Esta infraestructura beneficia a más de 26.000 hectáreas y a comunidades como Colonche, San Vicente y San Marcos, principalmente para riego. Adicionalmente, ha promovido iniciativas económicas como la acuicultura y la ganadería en la zona, incluyendo a Colonche, San Vicente, San Marcos, Bellavista, Manantial de Guangala y Manantial de Colonche, lo que resulta en un área de influencia de cerca de 26.000 hectáreas (Patiño & Muñoz, 2020).

La calidad de agua en las represas según Lucas (2013) la calidad del agua en la zona a través de la metodología I.C.A es de un valor de 27 estando entre el rango de regular con valores de fosfato de 0.02 y nitrato de 3 con una turbidez de 5 metros a 10 metros dependiendo de la estación del año.

## CAPÍTULO 2 MARCO METODOLÓGICO

### 2.1 Área de estudio

Ilustración 1 Represa San Vicente, Google Earth 2024



El área de estudio está ubicada en la parroquia de Colonche, donde se conforma de 26.000 ha, con la capacidad de almacenar 40 Hm<sup>3</sup>, con coordenadas 2°00'30.53"S - 80°31'33.73"O.

Con las siguientes coordenadas de las estaciones:

**Tabla 1** Coordenadas de las estaciones

N° de estación	Coordenadas
<b>Estación 1</b>	2°00'38"S - 80°31'51"O.
<b>Estación 2</b>	2°00'33S - 80°31'50"O.
<b>Estación 3</b>	2°00'30"S - 80°31'33.73"O.
<b>Estación 4</b>	2°00'22"S - 80°31'41"O.

## **2.2 Trabajo de campo**

### **2.2.1 Toma de muestras Botella Niskin**

Las botellas Niskin se utilizó para recolectar muestras de agua. Consisten en un tubo con tapones en ambos extremos conectados por una banda de goma que permanece abierta durante el descenso, pero se cierra a la profundidad deseada mediante un mecanismo accionado por un mensajero. Se pueden usar individualmente o montarse en serie u otras configuraciones para tomar muestras a diferentes profundidades. (Chisaca, 2020).

### **2.2.2 Muestreo de la botella Niskin**

La recolección de toma de muestra se realizó partir de una profundidad de 10 metros, esta se colocará en una botella de 500 ml con la finalidad de poder tener muestra suficiente de para el uso de la cámara de sedimentación (Serrano, 2020).

### **2.2.3 Toma de parámetros *in situ***

- **Turbidez**

La turbidez del agua se determinará con la ayuda de un disco de Secchi, un método sencillo para medir la claridad del agua en diferentes puntos a lo largo de la presa, esta metodología nos revela la importancia de los sólidos suspendidos en el medio de las cuales son importante ya que ayuda a indicar que tanta presencia de luz no está disponible en el medio. El agua con alta turbidez contiene altos niveles de materia orgánica, lo que reduce el contenido de oxígeno disuelto, afectando negativamente la salud de los ecosistemas acuáticos (Fernández, 2022).

- **Oxígeno Disuelto**

Se mide el oxígeno disuelto en medio acuático con la finalidad de revelar las condiciones en la que se encuentra la floraciones de las microalgas siendo que a mayor presencia de ciertas familias, nos indica en qué condiciones se encuentra el ecosistema acuático, por ejemplo la mayor productividad del ecosistema viene de las microalgas y solo presenta presencia de algas nocivas del medio significa que el ecosistema está en peligro, pero si la presencia de algas nocivas no aumenta en relación del

oxígeno, significa que no es el grupo dominante en el ecosistema, por lo cual es útil, medir este parámetro con un oxigenómetro o multiparámetros en cada uno de los puntos del muestreo (Castaño, 2020).

- **Medición de pH**

La forma de medir el potencial de hidrogeno se llevó a cabo en cada una de las estaciones y dentro de la botella niskin con el propósito de medir los niveles en cada estación, por causa de que cada estación tiene un pH distinto en menor o mayor medida y este representa un parámetro significativo en el muestreo, ya que un pH alto significa un nivel de toxicidad de la presencia de los organismos y de las microalgas (Duarte, 2020).

- **Temperatura**

La temperatura del agua se tomó en las diferentes estaciones de la presa mediante un termómetro que estará integrado en el medidor multiparamétrico. Este parámetro es muy importante porque afecta las tasas de reacción, la solubilidad de gases como el oxígeno y el metabolismo de la vida acuática. Los cambios de temperatura pueden

alterar drásticamente la biodiversidad y la distribución de especies, considerando que cada organismo tiene un rango óptimo de temperaturas. La temperatura también afecta la tasa de fotosíntesis de las plantas acuáticas y el fitoplancton, y, por lo tanto, la producción primaria del ecosistema acuático. A través de los diferentes puntos donde se miden las temperaturas, es posible evaluar cómo varía la temperatura tanto diariamente como estacionalmente en relación con otros parámetros de calidad del agua y el comportamiento de las especies (Gómez, 2020).

## **2.3 Toma de parámetro químicos**

### **2.3.1 Recolección de muestras de agua para análisis químicos:**

Las muestras una vez recolectadas directamente de la botella niskin proceden rápidamente a ser guardadas en frascos estériles de 500 ml y refrigeradas para su posterior filtración y análisis de datos en el espectrofotómetro.

### 2.3.2 Procesamiento de muestras

Para el procesamiento de la muestra se usó tanto reactivos en sobre de 1 a 2 gr metarsulfito, metarsulfito de sodium, disulfato de potassium y ácido cítrico, a si mismo el uso de los mismo reactivos líquidos, los procedimiento fue estándar en nitrito y nitratos, siendo abrir el sobre y verte en 20 ml de muestra de agua, y agitando por 1 minuto, siendo la metodología de silicato y fosfato, la primero la implementación de 10 gotas de reactivos líquido y posterior el relativo en sobre, y revolver hasta que la muestra se homogenizo.

- **Nitritos y Nitratos:**

Para la determinación de nitrito en las muestras de agua, se empleó el método de diazotización utilizando el espectrofotómetro Hanna Iris HI801. Este método implica la reacción del nitrito con una amina aromática para formar un compuesto azoico coloreado, cuya absorbancia es medida en el espectrofotómetro a una longitud de onda específica, seleccionada automáticamente por el equipo. La intensidad del color es proporcional a la concentración de nitrito en la muestra, permitiendo una cuantificación precisa (Hanna, 2024.).

- **Fosfatos**

Semejante a la metodología anterior, se usó una metodología de diazotitacion, donde se usa ácido nítrico para darle una coloración a las muestras con la finalidad de la obtención de un compuesto azul, que se pueda leer en el equipo (Hanna, 2024.).

- **Silicato**

La metodología de Silicato implica el uso de tres reactivos uno de ellos ácidos nítricos y meta sulfitos para la obtención de una muestra de color amarilla-verde, método es sensible y permite detectar concentraciones bajas de silicato en las muestras de agua (Hanna, 2024.).

## **2.4 Trabajo de laboratorio**

### **2.4.1 Bomba de Filtración de agua**

En estudios ecológicos, la filtración con un filtro de 45 micras es una técnica indispensable para analizar muestras con microalgas, Según López y Martínez (2022), este método permite concentrar y retener las microalgas y determinar la concentración de nutrientes, esta información es esencial para evaluar las condiciones del entorno acuático, como lo es parámetros químicos y nutrientes (nitrito, nitrato, fosfato y silicato).

#### **2.4.2 Cámara de sedimentación Umberbolt**

El análisis por cámara de sedimentación de umberbolt, se usó el proceso de sedimentación de la cual implica el depósito de una muestra de 25 ml, en cada una de las cámaras y posterior la espera de 24 h para su correspondiente observación en el microscopio invertido

#### **2.4.3 Microscopio Invertido**

Según el manual del usuario de Euromex Microscopes (2024), el microscopio invertido Oxíono Invertido permite la observación detallada de microalgas en placas de sedimentación, manteniendo la disposición.

### **2.5 Análisis ecológico**

#### **2.5.1 Preparación de la Muestra**

Para realizar el conteo de microalgas en una cámara de sedimentación, es crucial preparar la muestra adecuadamente, seleccionando un volumen de 25 ml y utilizando fijadores, en este caso Lugol (Valencia, 2022).

### **2.5.2 Sedimentación y Homogenización**

Este procedimiento estandarizado es clave en estudios de fitoplancton y calidad del agua (Salinas Yagual, 2014), de la cuales se usó principal en cámaras de sedimentación, este proceso nos indica que se deja la cámara en un área nivelada, con baja presencia de luminosidad y lo mayormente estéril posible para evitar la contaminación de las muestras.

### **2.5.3 Guías de identificación**

Se usaron las guías de identificación taxonómica como: Microalgas y Cianobacterias del Ecuador (2020), Catálogo de microalgas de Bahía de Todos Santos de Baja California (2018), y EL catálogo y claves de identificación taxonómica de organismos fitoplanctónicos utilizados como elemento de calidad en las redes de control del estado ecológico (2018).

#### **2.5.4 Conteo**

El conteo de microalgas varía según el tamaño y la abundancia de las células, se realizó 2 barridos completos de la cámara en sentido paralelo o vertical, de la cuales y hace en objetivo x10 y x40 para la observación de microalgas de gran tamaño como de 80 micras a individuos más pequeños de 20 micras (Aquino Méndez, 2015).

#### **2.5.5 Cálculo de Concentraciones**

El método Utermöhl, ampliamente utilizado en ecología acuática (Bolaños-Alfaro, 2022), permitió calcular la concentración de microalgas dividiendo el total de individuos encontrados entre el volumen de muestra sedimentado (generalmente 25 ml).

#### **2.5.6 Índice de Shannon-Wiener (1949)**

El índice de diversidad se denota comúnmente como  $H'$  y se expresa mediante un número positivo. En la mayoría de los ecosistemas naturales, este índice varía entre 0.5 y 5, siendo su valor típico entre 2 y 3. Se considera que valores inferiores a 2 indican una baja diversidad, mientras que valores superiores a 3 indican una alta diversidad de especies, 49 según Shannon y Weaver (1949).

La fórmula es la siguiente:

$$H' = -\sum_{j=1}^S (P_j \times \log P_j)$$

En la fórmula:

En la fórmula, S representa el número total de especies presentes en la muestra.

P<sub>i</sub> denota la proporción de individuos de una especie i en relación con la abundancia total de esa especie (n<sub>i</sub>/N), donde n<sub>i</sub> representa el número de individuos de esa especie y N es el total de individuos de todas las especies.

.

**Índice de dominancia de Simpson (1949)**, cuya fórmula es:

Donde:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

S es el número de especies

N es el total de organismos

presentes

**n** es el número de ejemplares por especie

Para obtener la equitatividad del organismo de un mismo género, pero diferentes especies se empleó el **Índice de Pielou (1969)**. Cuya fórmula es:

Donde:

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S}$$

**H'** = índice de Shannon-Wiener

**S** = número máximo de especies en la muestra

### 2.5.7 Análisis de datos estadísticos

Para el análisis estadístico se empleó una combinación de herramientas especializadas como lo son: Past4, para análisis básicos y correcciones de matriz de datos, Statgraphics, para un modelado estadístico avanzado y visualización gráfica, y RStudio, para análisis personalizados y flexibles.

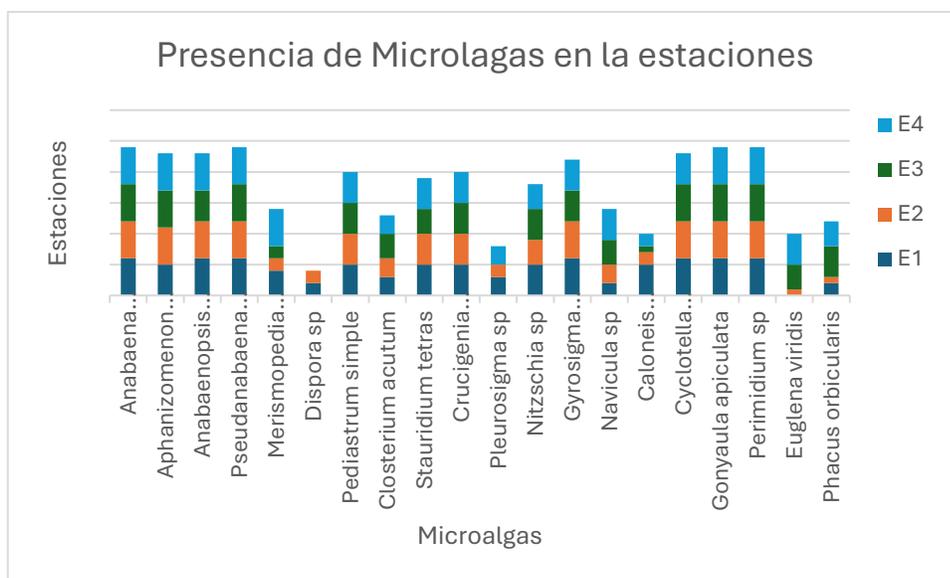
## CAPÍTULO 3 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS RESULTADOS

### 3.1 Identificación de las Microalgas perteneciente a la Represa de San Vicente de Colónche

#### 3.1.1 Identificación de las Microalgas perteneciente al área de estudio.

Se encontraron un total de 20 individuos a lo largo del monitoreo en el área de estudio de la cuales se procedió identificarlas y dividir las en grupos con el fin de tener organizado en los organismos por sus divisiones, en total se encontraron 5 especies de Cyanophyta, 5 especies de Chlorophyta, 6 especies de Bacillariophyta, 2 perteneciente a la división de los dinoflagelados y 2 perteneciente a la división de las Euglenophyta, las cuales variaron su presencia en cada una de las estaciones, a lo largo de los monitoreos establecidos, como se puede apreciar en la gráfica 1, donde *Dispora* sp, fue un grupo que solo fue recurrente en las estaciones 1 y 2, por contraparte de microalgas como *Gonyaulax apiculata*, *Aphanizomenon flosaquae* y *Cyclotella meneghiniana*, tiene presencia en todas las estaciones durante el monitoreo

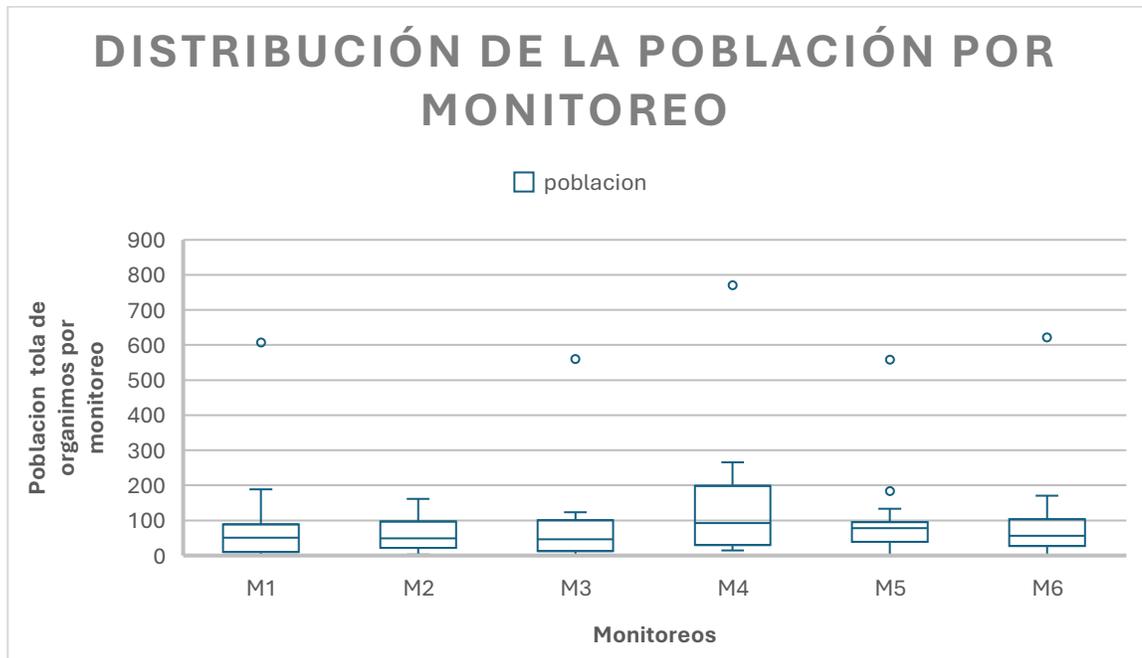
**Gráfica 1 Presencia de microalgas en las estaciones**



**Distribución de la población de Microalgas por monitoreo**

Este gráfico 2 de boxplot demuestra la variabilidad en la población de microalgas a lo largo de diferentes monitoreos (M1 a M6). Cada caja representa la mediana, los cuartiles y el rango de valores para cada monitoreo, la boxplot en la M4 es la más alta, lo que indica una mayor variabilidad en la abundancia de microalgas durante este periodo, con algunos valores extremos que superan más de los 600 individuos, esto puede verse representado por la varianza en los parámetros físicos químicos el entorno durante la recolección de muestra, Los monitoreos M1, M2, M3, M5 y M6 tienen cajas más bajas y estrechas, lo que sugiere menos variabilidad y poblaciones más consistentes, en lo largo de los monitoreo.

**Gráfica 2** Distribución de las microalgas a lo largo del monitoreo



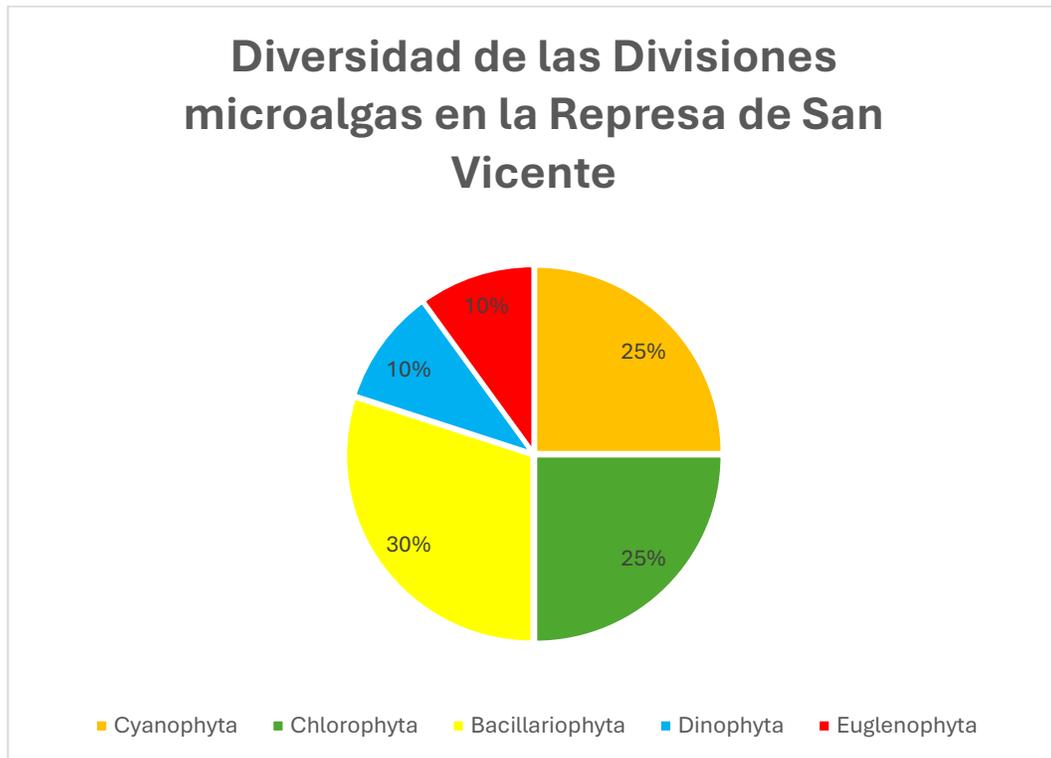
### 3.2 Abundancia e diversidad de las microalgas

Los valores de Shannon oscilaron entre 1,66 (en M4) y 1,936 (en M5), lo que indica una variación en la diversidad de especies entre los puntos de muestreo. Los índices de Simpson, variando de 0.696 a 0.718, y el índice de equidad, que oscila entre 0.599 y 0.647, señalan una moderada diversidad y una difusión un poco desequilibrada de las especies en la comunidad de microalgas del embalse de San Vicente. El valor máximo de dominancia en la muestra M4 a 0.3034 indica una leve concentración en ciertas especies.

La prueba Kruskal-Wallis No proporciona pruebas adecuadas para rechazar la hipótesis nula de que las muestras provienen de la misma población.  $H = 2.76$ ;  $P = 0.737$ .

La comunidad está compuesta principalmente por cinco grupos taxonómicos: cianobacterias, clorofilas, diatomeas, dinoflagelados y euglenofitas. Como indica la gráfica 3, las diatomeas son el grupo dominante (30%), la presencia significativa de dinoflagelados y cianobacterias (25% cada una) indica una comunidad fitoplanctónica relativamente diversa. Clorofilas y euglenofitas, aunque menos abundantes (10% cada una), también contribuyen a la riqueza de especies en este ecosistema.

**Gráfica 3 Divisiones representadas incluyen Cyanophyta, Chlorophyta, Bacillariophyta, Dinophyta y Euglenophyta.**



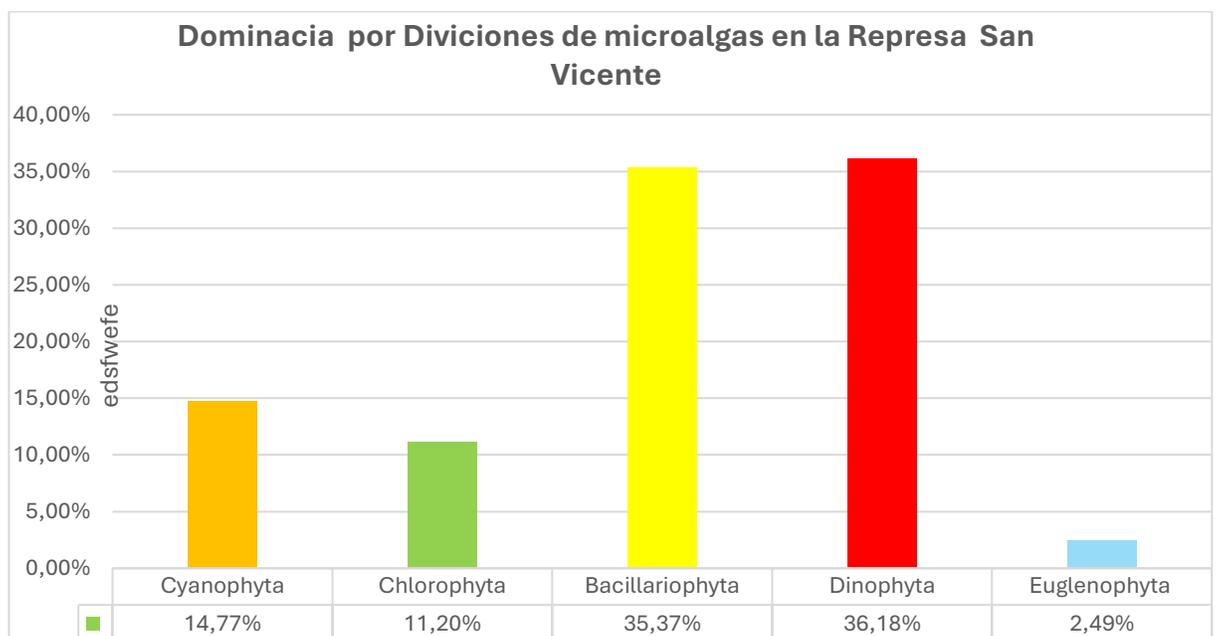
cajas más bajas y estrechas, lo que sugiere menos variabilidad y poblaciones más consistentes.

### **3.2.1 Dominancia de las Divisiones de las microalgas**

Este gráfico 4, Bacillariophyta y Dinophyta dominan las muestras, con un 35.37% y un 36.18%, respectivamente, destacando la importancia de estas divisiones en el ecosistema. Cyanophyta y Chlorophyta presentan proporciones moderadas, con un 14.77% y un 11.20%. Finalmente, Euglenophyta representa solo el 2.49%, lo que representa una baja abundancia a

comparación visual de muchas otras especies y divisiones de microalgas lo que indica una baja abundancia en comparación con las otras divisiones, lo que varía significativamente la distribución de estas microalgas, con una posible influencia de los parámetros ambientales del medio con su presencia.

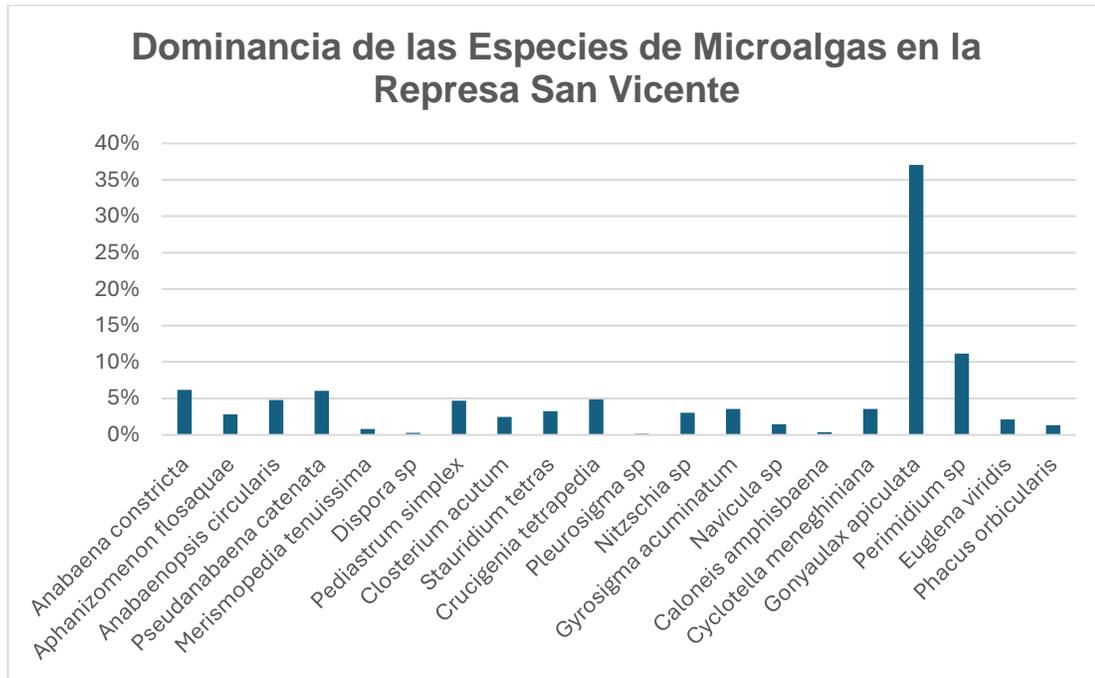
**Gráfica 4** Dominancia de Divisiones de microalgas en la Represa San Vicente



### 3.2.2 Dominancia de las Especies de Microalgas

El grafico 4, nos indica que *Gonyaulax apiculata* se destaca como la especie dominante, representando con un 37% de la comunidad de microalgas. Su dominancia se debe a las condiciones ambientales favorables, como adaptabilidad a faltas de nutrientes específicos, temperatura y oxígeno, que promueven su crecimiento sobre otras especies, esta especie compite por recursos y afectar la abundancia de otras microalgas, las especies *Pleurosigma sp* y *Dispora sp* son organismos que posee un porcentaje de 0,5% lo que significa que su presencia es muy escasa dentro ecosistema, mientras tanto *Anabaenopsis circularis* con un 5% y *Euglena viridis* 2%, *Crucigenia tetrapedia*, *Stauridium tetras*, y *Pediastrum simplex* con cada una de las demás especies con porcentajes inferiores al 10%, pero significativamente visibles en comparación con las demás, todas ellas contribuyen a la diversidad de la comunidad, las especies en menor proporción indica una comunidad con cierta diversidad, aunque dominada por una especie en particular.

**Gráfica 5** Dominancia de las diferentes especies de Microalgas



### 3.3 Correlación con los parámetros físicos-químicos

#### Correlación con parámetros Físicos

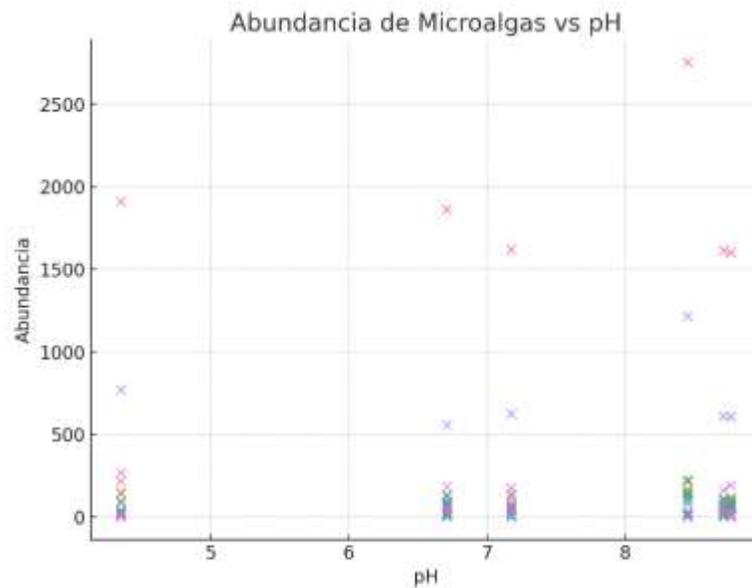
#### 3.3.1 Correlación con los parámetros físicos-químicos referente la presencia de las microalgas en el área de estudio

Los resultados incluyen una estadística W y un valor p para cada parámetro para que pueda determinar si los datos siguen una distribución normal. Al observar los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para varios parámetros del medio acuático, como pH

(0.159), temperatura el agua (0.0019), Los datos de conductividad no presentan una distribución normal ( $p = 0.017$ ), mientras que los de turbidez ( $p = 1.0$ ) sí siguen una distribución normal. Esto sugiere que las variaciones en la conductividad son más aleatorias y menos predecibles que las de las otras variables. En general, se ha observado que determinadas especies de microalgas son más abundantes a determinados valores de pH como lo es valores 8,76 y 8,45, indica que el pH afecta la distribución de ciertas especies, favoreciendo aquellas que pueden tolerar condiciones alcalinas, como se observa en la gráfica 6

**Gráfica 6 Relación entre el pH del agua y la abundancia de microalgas. En este gráfico, las marcas rosadas indican abundancia de dinoflagelados,**

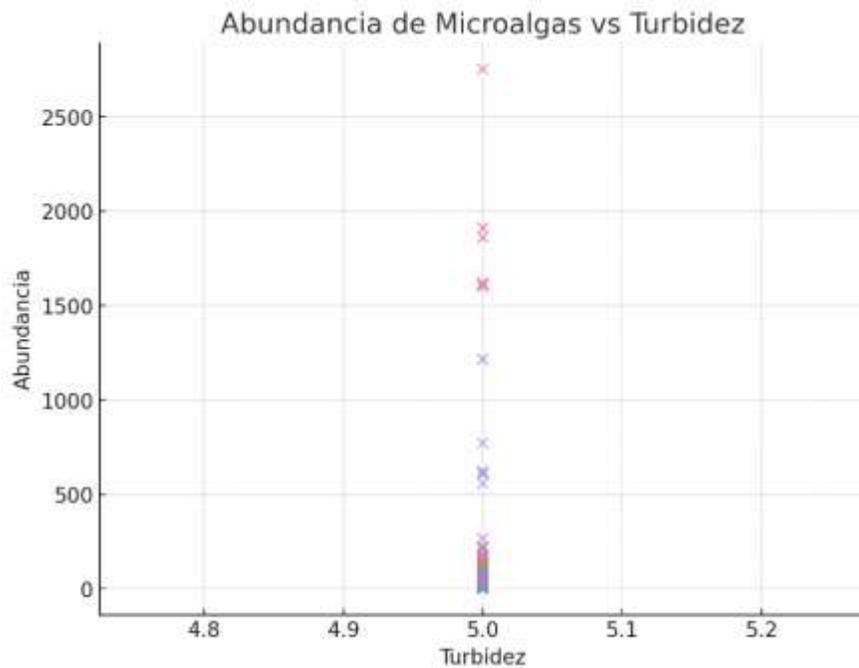
las verdes de clorofitas, las azules de cianofitas, las moradas de diatomeas y las naranjas de euglenofitas.



La Gráfica 7 nos ayuda a relacionar la presencia de microalgas con la turbidez presente en el medio, como se observa la toda la concentración ocurre en el valor de 5 NTU y esto es debido a la uniformidad de la turbidez en la represa lo que nos da una comprensión de que la relación con otros parámetros son lo que influye en la presencia de las microalgas.

**Gráfica 7. Relación entre el Turbidez y la abundancia de las microalgas, En este gráfico, las marcas rosadas indican abundancia de dinoflagelados,**

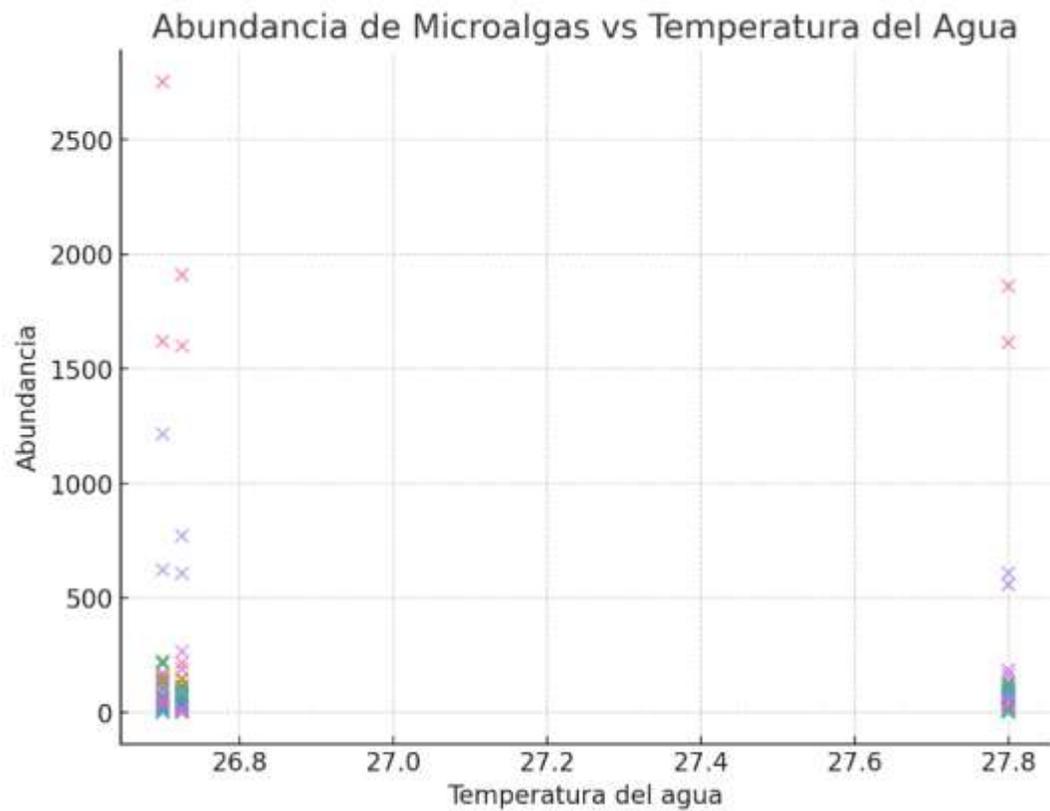
las verdes de clorofitas, las azules de cianofitas, las moradas de diatomeas y las naranjas de euglenofitas.



La Gráfica 8, muestra que la abundancia de algunas especies de microalgas varía significativamente de la temperatura la cual la mayor acumulación de estas estaba a los entre los 26,65°C a 26,8°C, mientras que, a 27,8°C, la abundancia de algunas especies disminuye, lo que indica que muchas de esta no soportan un cambio gradual en la temperatura de su ecosistema.

**Gráfica 8. Relación entre la temperatura y la abundancia de las microalgas, En este gráfico, las marcas rosadas indican abundancia de**

dinoflagelados, las verdes de clorofitas, las azules de cianofitas, las moradas de diatomeas y las naranjas de euglenofitas.

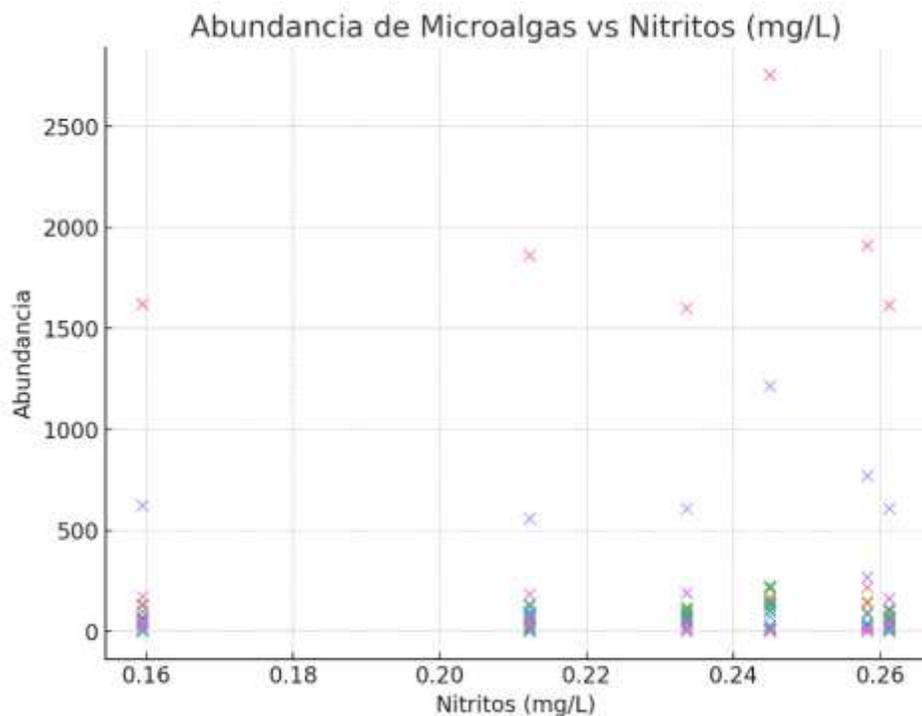


### 3.2.2 Correlación con parámetros Químicos

La Gráfica 9, se observa un aumento considerable cuando los niveles de nitrito se encuentran entre 0.24 y 0.26 mg/L. Valores por debajo de 0.20 mg/L como lo es 0.16 mg/L, resulta en una disminución significativa en la

biomasa algal, indicando una alta sensibilidad de estas especies a variaciones en la concentración de nitrito.

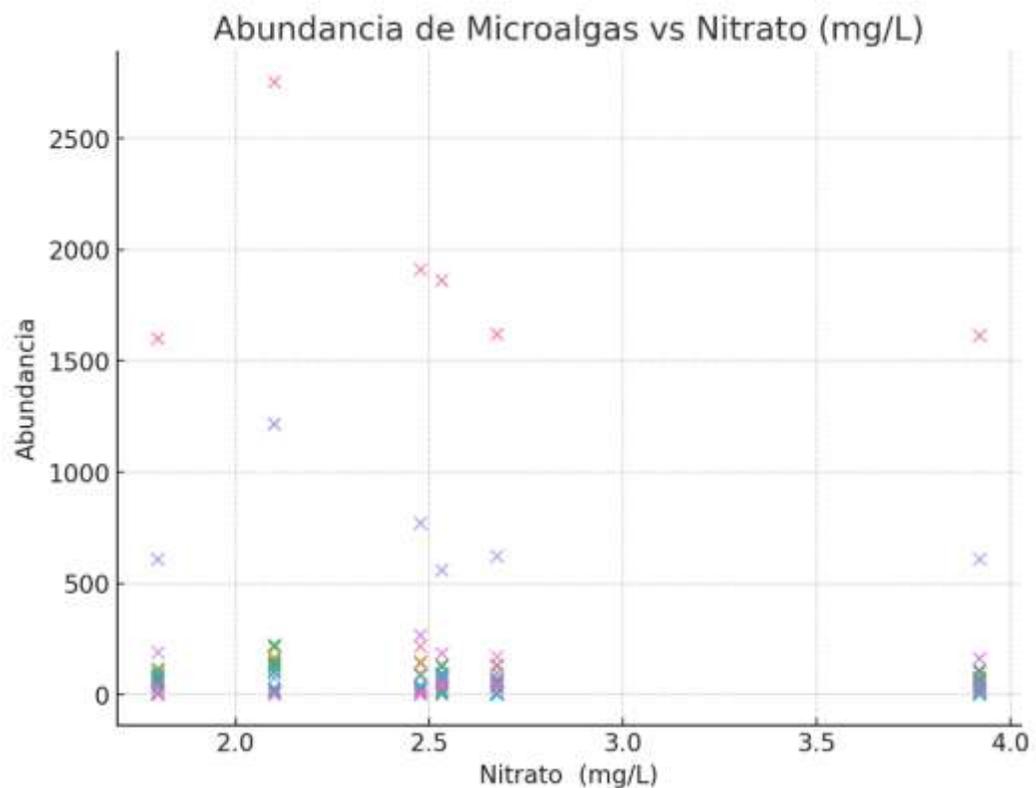
**Gráfica 9. Relación entre Nitritos y la abundancia de las microalgas, En este gráfico, las marcas rosadas indican abundancia de dinoflagelados, las verdes de clorofitas, las azules de cianofitas, las moradas de diatomeas y las naranjas de euglenofitas.**



En esta Gráficos 10, la presencia de nitratos en el agua está relacionada con la productividad primaria y los niveles un poco alto de lo común, de nitratos en la represa, pueden estimular el crecimiento de microalgas como son los valores de 2,5 a 2,7 mg/L de nitrato, que se puede observar una mayor concentración de presencia de microalgas, por contraparte valores de 1,5 a 2.0 mg/L suelen tener una menor concentración de

microalgas. Sin embargo, un exceso de nitratos en este caso valores cercano al 4,0 mg/L puede favorecer el desarrollo de determinadas especies, cambiando así la composición de las comunidades de microalgas.

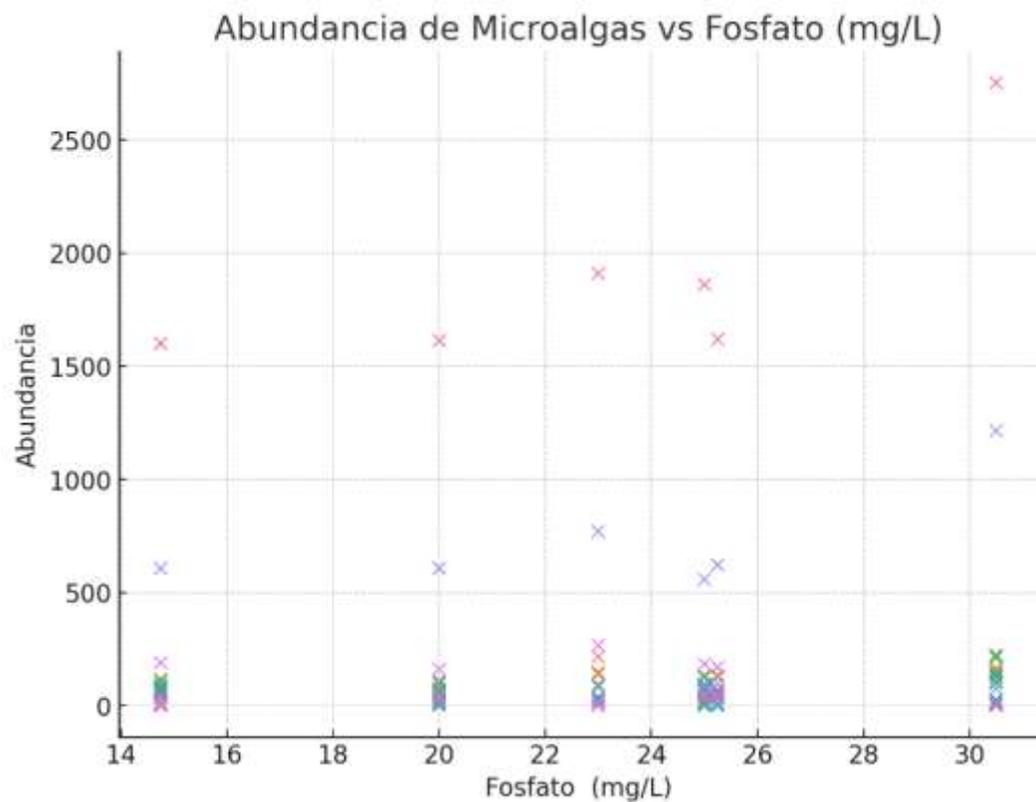
**Gráfica 10. Relación entre Fosfato y la abundancia de las microalgas** En este gráfico, las marcas rosadas indican abundancia de dinoflagelados, las verdes de clorofitas, las azules de cianofitas, las moradas de diatomeas y las naranjas de euglenofitas.



La Gráfica 11. evidencia que la abundancia de muchas microalgas está estrechamente ligada a la concentración de fosfato. Un rango medio entre 14 y 20 mg/L favorece el crecimiento ciertas especies, al igual que

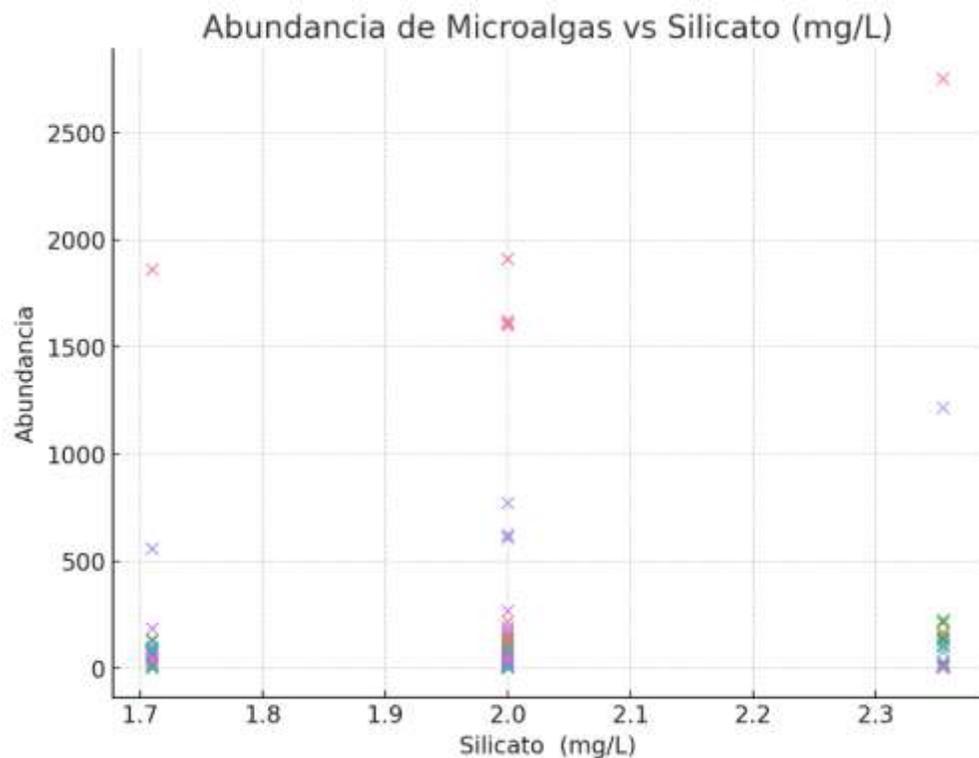
valores mayores a 30 mg/L llegan a limitar su presencia, alterando así el equilibrio del ecosistema. Además, se observó una mayor presencia de microalgas en valores óptimos de 24 a 26 mg/L, lo que significa que este viene a ser el valor óptimo de las microalgas.

**Gráfica 11. Relación entre fosfato y la abundancia de las microalgas, En este gráfico, las marcas rosadas indican abundancia de dinoflagelados, las verdes de clorofitas, las azules de cianofitas, las moradas de diatomeas y las naranjas de euglenofitas.**



La Gráficos 12, nos relaciona ciertos grupos de algas que tiene una presencia más estable, mayormente diatomeas, en niveles alto de silicato como lo es en 2,5 mg/L, mientras que la mayor concentración de microalgas se da cuando los valores se establecen en 2 mg/L, esto debido a que es un valor constante en la represa, no obstante, cuando los valores disminuyen, la presencia de diatomeas como de dinoflagelados también, dejando más oportunidades de adaptabilidad a los otros grupos.

**Gráfica 12. de abundancia de microalgas vs silicato del medio, En este gráfico, las marcas rosadas indican abundancia de dinoflagelados, las verdes de clorofitas, las azules de cianofitas, las moradas de diatomeas y las naranjas de euglenofitas.**



## **Discusiones**

### **Diversidad taxonómica de las especies de microalgas**

La diversidad taxonómica de las especies de microalgas en la represa San Vicente proporciona una visión integral sobre la estructura de la comunidad en este ecosistema. Mediante el uso de técnicas de microscopía inversa, se identificaron diversas divisiones de microalgas, entre las que destacan Dinophyta, Bacillariophyta y Chlorophyta. La identificación precisa de estas divisiones resulta fundamental, ya que permite comprender cómo distintas especies coexisten y responden a las condiciones ambientales presentes. Según Smith et al. (2018), una alta diversidad taxonómica es indicativa de un ecosistema resiliente y estable. En este contexto, la presencia de varias divisiones sugiere que la represa ofrece un ambiente con características favorables para una amplia gama de especies, lo que puede indicar un estado saludable del ecosistema. Sin embargo, la alta dominancia de algunas especies específicas podría influir en la equitatividad de la comunidad. Esto plantea la posibilidad de que cambios futuros en los factores ambientales, como la concentración de nutrientes o el pH, podrían alterar la composición de la comunidad, afectando la resiliencia del ecosistema. Por lo tanto, el

monitoreo continuo de la diversidad taxonómica es esencial para evaluar la estabilidad de este ecosistema acuático y anticipar posibles desequilibrios.

### **Medición de abundancia y dominancia de las microalgas**

Los resultados obtenidos en el análisis estadístico de la abundancia y dominancia de especies de microalgas en la represa San Vicente evidencian que *Gonyaulax apiculata* es la especie más dominante, representando aproximadamente entre un 35-40% de la comunidad. Esta dominancia puede indicar un posible desequilibrio en el ecosistema, ya que, como destacan Jones & Lee (2020), una especie dominante suele limitar el crecimiento de otras especies debido a su competencia efectiva por los recursos. La alta dominancia de *Gonyaulax apiculata* podría estar vinculada a factores ambientales favorables, como altos niveles de nutrientes, adecuados niveles de luz y temperaturas óptimas. La presencia de otras especies en menor proporción, como *Pleurosigma sp* y *Anabaenopsis circularis* aunque menor, contribuye a la diversidad de la comunidad. Es importante resaltar que una comunidad dominada por una sola especie puede volverse menos resiliente ante cambios ambientales, ya que la pérdida de la especie dominante podría afectar significativamente la estructura de la comunidad. Además, la alta dominancia de *Gonyaulax apiculata* podría indicar un proceso de eutrofización,

el cual se caracteriza por un enriquecimiento de nutrientes en el agua que promueve el crecimiento excesivo de algunas especies fotosintéticas. Estos hallazgos subrayan la importancia del monitoreo continuo para evaluar la salud del ecosistema y mitigar los posibles efectos negativos de una alta dominancia en la biodiversidad.

### **Influencia de los parámetros fisicoquímicos en la comunidad de microalgas**

Los parámetros fisicoquímicos del agua, como el pH, la temperatura, la turbidez y la concentración de nutrientes (nitratos y fosfatos), juegan un papel determinante en la composición de la comunidad de microalgas en la represa San Vicente. La relación entre estos parámetros y la abundancia de especies como *Gonyaulax apiculata* sugiere que ciertas condiciones, como niveles elevados de nutrientes, son favorables para el crecimiento de especies dominantes. Según Thompson et al. (2019), los dinoflagelados, como *Gonyaulax apiculata*, tienden a prosperar en ambientes con abundancia de nutrientes. Por otro lado, las diatomeas, que requieren sílice para su desarrollo, presentan una menor abundancia, lo cual puede reflejar la disponibilidad limitada de este elemento en el agua. La correlación observada entre los parámetros fisicoquímicos y la presencia de microalgas en la represa subraya la importancia de estos factores en la estructuración de la comunidad.

Cambios en estos parámetros pueden afectar la distribución de las especies, favoreciendo a algunas sobre otras y, por ende, alterando el equilibrio ecológico. Por lo tanto, el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos permite anticipar cambios en la composición de la comunidad de microalgas y en la calidad del agua, lo cual es fundamental para la gestión sostenible de este ecosistema acuático.

## CONCLUSIONES

- La determinación de la diversidad taxonómica reveló una comunidad variada de microalgas en la represa San Vicente, con predominancia de divisiones como Dinophyta y Bacillariophyta. Estas observaciones son cruciales, ya que la diversidad taxonómica proporciona información sobre la estabilidad y resiliencia del ecosistema.
- El análisis estadístico indicó que *Gonyaulax apiculata* es la especie dominante, representando aproximadamente el 37 % de la población total. Esta dominancia indica que las condiciones en la represa favorecen su crecimiento. La diversidad relativa de otras especies, como *Pleurosigma sp* y *Anabaenopsis circularis* complementa la composición de la comunidad.
- Los parámetros como el pH de 8.45-8.76, temperatura de 26.65 °C a 26.8 °C y los nutrientes como nitrito concentraciones de 0,24 a 0,26, nitrato de 2.5-2.7 mg/L, fosfato con 24-26 mg/ y silicato de 2 mg/l influyen significativamente en la composición de la comunidad de microalgas. Se observó que las condiciones de la represa San Vicente favorecen el crecimiento de especies de microalgas en ambientes con altos niveles de nitrato y fosfato, debido a la concentración baja de silicato, no presenta una mayor abundancia de especies de diatomeas.

## Recomendaciones

- **Monitoreo continuo de parámetros fisicoquímicos**

Implementar un monitoreo constante de los parámetros fisicoquímicos del agua (pH, temperatura, turbidez, concentración de nitratos y fosfatos) para detectar cambios que puedan afectar la composición de la comunidad de microalgas, debido a que no hay un seguimiento mas regular en la zona.

- **Control de nutrientes para prevenir la eutrofización**

Implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales y prácticas agrícolas sostenibles, como el uso de fertilizantes orgánicos y la creación de zonas de amortiguamiento vegetales alrededor de la represa para filtrar nutrientes antes de que lleguen al agua.

- **Promoción de la biodiversidad en la comunidad**

Implementar programas de restauración ecológica que promuevan la recuperación de la vegetación ribereña nativa y la creación de hábitats acuáticos diversos. Esto puede incluir la reintroducción de especies de macrófitas (plantas acuáticas) que proporcionen refugio y alimento para

diversos organismos acuáticos, incluyendo zooplancton y macroinvertebrados, que a su vez controlan el crecimiento de las algas.

## Bibliografía

Andersen, R. A. (2005). *Algal culturing techniques*. Elsevier.

AQUINO MÉNDEZ, E. M. (2015). Slider Share. Obtenido de <https://es.slideshare.net/slideshow/colecta-demicroalgas/52956831>.

Bolaños-Alfaro, J. D. (2022). Determination of nitrites, nitrates, sulfates and phosphates in drinking water as indicators of contamination caused by human activities, cantons of Alajuela, province of Costa Rica. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf>.

Borcard, D., Gillet, F., & Legendre, P. (2018). *Numerical Ecology with R* (2nd ed.). Springer.

Castro, L., & León, J. (2022). *Crucigenia tetrapedia: Indicador de ecosistemas saludables*. Editorial Ecología Verde.

Clarke, K. R., & Gorley, R. N. (2020). *PRIMER v7: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E Ltd.

Duque Marín, R., & Cuenca Zambrano, M. (2018). Cultivo de tilapia en jaulas en la represa San Vicente de Colonche. *Journal of Business and Entrepreneurial Studies*, 2(2). Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/5736/573668149001/html/>.

FAO. (2020). Obtenido de <https://www.fao.org/4/ab473s/AB473S02.htm>.

Field, A., Miles, J., & Field, Z. (2023). *Discovering Statistics Using R and RStudio* (3rd ed.). SAGE Publications.

Gotelli, N. J., & Colwell, R. K. (2021). *Estimating Species Richness: Frontiers in Measurement and Assessment*. Oxford University Press.

Guiry, M. D., & Guiry, G. M. (2014). *AlgaeBase: A global database of algae*.

Hanna Instruments. (2024). *Manual del usuario: Espectrofotómetro IRIS HI801*. Recuperado de

[https://cdn.hannacolombia.com/hannacdn/support/manual/2017/12/HI801\\_iris\\_Espectrofotometro.pdf](https://cdn.hannacolombia.com/hannacdn/support/manual/2017/12/HI801_iris_Espectrofotometro.pdf).

Hernández-Pérez, A. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/revbiolmar/v49n2/art01.pdf>.

Huang, X., Liu, J., Yang, G., & Yu, J. (2018). Microalgae as indicators of water quality and ecosystem health in aquatic environments. *Journal of Applied Phycology*.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2020). NITRITO EN AGUA POR ESPECTROFOTOMETRÍA. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Nitrito+en+agua+por+Espectrofotometr%C3%ADa.pdf/4775634c-c6ba-4c95-8e98-0696ace02c03>.

ITM Filters. (2021). Manual de usuario para sistemas de filtración de agua. Disponible en <https://itmfilters.com/wp-content/uploads/2021/06/Manual-de-usuario-FL-M.pdf>.

Legendre, P., & Legendre, L. (2012). *Numerical Ecology* (3rd ed.). Elsevier.

Lin, C., Chen, X., Ma, J., et al. (2015). Environmental factors influencing the distribution of microalgae in freshwater reservoirs. *Science of the Total Environment*.

López, A., & Martínez, J. (2022). *Metodología para el análisis de microalgas en estudios ecológicos*. Editorial Científica.

Lucas Chabla, D. A. (2014). Estudio de la calidad de agua de la represa San Vicente – Colonche, mediante el uso de índices de calidad de agua (ICA) y macroinvertebrados acuáticos indicadores (MAIA) de enero a septiembre del 2013. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Disponible en <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/handle/46000/1485>.

López, A., & Martínez, J. (2022). *Metodología para el análisis de microalgas en estudios ecológicos*. Editorial Científica

Magurran, A. E., & McGill, B. J. (Eds.). (2020). *Biological Diversity: Frontiers in Measurement and Assessment* (2nd ed.). Oxford University Press.

Meléndez, E. N. (2022). Evaluación de Chlorophytas como indicadoras de contaminación por metales pesados en el litoral sur de Santo Domingo. Santo Domingo: INTEC.

Quimí Tomalá, G. M. (2015). Evaluación de la calidad de agua de la represa San Vicente de Colonche mediante el uso de índices de calidad de agua (ICA) y macroinvertebrados acuáticos indicadores (MAIA) de enero a septiembre del 2013. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Disponible en <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/1874/1/QUIM%C3%8D%20TOMAL%C3%81%20GRISELDA%20MERCEDES.pdf>.

Reynolds, C. S. (2012). Variations in the composition of phytoplankton in freshwater lakes. *Journal of Limnology*.

Salinas Yagual, L. A. (2014). Distribución y abundancia de dinoflagelados y su relación con los parámetros ambientales en la bahía de Anconcito Salinas – Ecuador durante noviembre 2013 - marzo 2014. Santa Elena: UPSE.

Tett, P., Gowen, R. J., Painting, S., et al. (2013). Framework for understanding marine ecosystem health. *Marine Ecology Progress Series*.

Torres, C. (2022). Variación temporal de la composición y abundancia del fitoplancton. Cartagena: Dialnet.

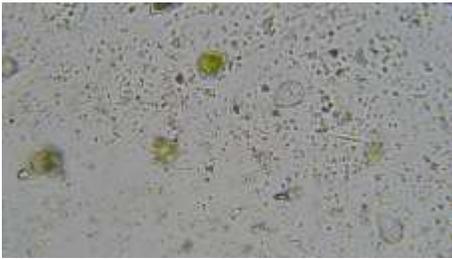
Universidad Estatal Península de Santa Elena. (2013). Estudio de la calidad de agua de la represa San Vicente-Colonche mediante el uso de índices de calidad agua ICA y macroinvertebrados acuáticos indicadores MAIA de enero a septiembre del 2013. Registro bibliográfico disponible en [https://bibliotecas.upse.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=12998&shelfbrowse\\_itemnumber=26425](https://bibliotecas.upse.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=12998&shelfbrowse_itemnumber=26425).

Valencia, A. F. (2022). Microalgas como bioindicadores de contaminación en las zonas de Punta Carnero (Salinas) y Escollera (La Libertad) de la Provincia de Santa Elena. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6588/1/UPSE-TBM2021-0004.pdf>.

Wang, L., Zhang, J., Zhang, H., & Gao, Y. (2020). Impact of environmental factors on microalgal diversity in freshwater reservoirs. *Environmental Science and Pollution Research*.

Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Smith, G. M. (2021). *Analyzing Ecological Data with R* (2nd ed.). Springer.

## Anexos



Anexo 1 Microalgas en objetivo z40



Anexo 2 uso de Microscopio Invertido.



Anexo 3 Preparación de muestra a espectrofotómetro



Anexo 4 Sonda para medición de oxígeno

Tabla de parámetros del monitoreo

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
pH	8,7625	8,71	8,45	4,3525	6,71	7,175
Turbidez	5	5	5	5	5	5
Temperatura	26,725	27,8	26,7	26,725	27,8	26,7
Temperatura	29	29	29	29	29	29
Conductividad	890	898	898	764,75	748	745,5
Nitrato (mg/l)	1,80025	3,92	2,1005	2,4775	2,5325	2,675
Nitritos (mg/l)	0,23366667	0,26125	0,245	0,2583	0,21225	0,1595
Fosfato (mg/l)	14,75	20	30,5	23	25	25,25
Silicato (mg/l)	2	2	2,355	2	1,71	2

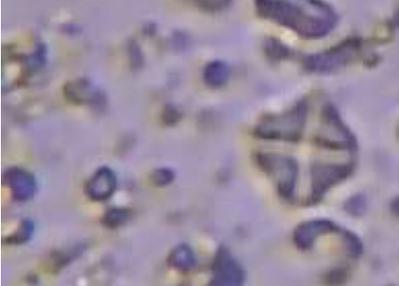
**Tabla 2**

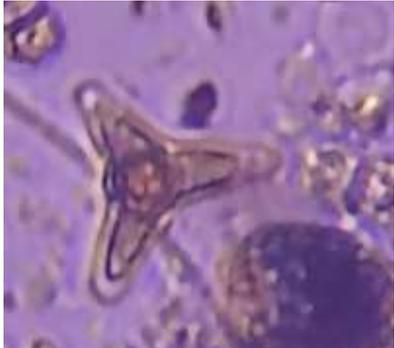
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Anabaena cc	50	97	147	216	92	126
Aphanizome	12	16	28	140	66	69
Anabaenops	89	76	165	91	78	64
Pseudanaba	75	75	150	147	133	133
Merismoped	10	12	22	0	15	35
Dispora sp	1	0	1	0	0	32
Pediastrum s	117	107	224	84	25	0
Closterium a	51	49	100	0	92	0
Stauridium t	63	64	127	0	69	64
Crucigenia tr	104	109	213	22	125	0
Pleurosigma	3	3	6	0	2	6
Nitzschia sp	80	27	107	0	86	60
Gyrosigma ai	69	69	138	39	62	42
Navicula sp	3	22	25	27	95	2
Caloneis amj	6	4	10	0	12	12
Cyclotella m	33	42	75	94	81	96
Gonyaulax aj	607	608	1215	770	558	622
Perimidium	189	161	0	266	184	170

**Anexo 7** Chlorophyta encontradas durante revisión de muestras

<p><b>N. Científico:</b> <i>Dispora sp</i></p>	<p><b>Ilustración 2</b> Dispora sp en objetivo x10</p>
<p><b>Descripción:</b> es un género de algas verdes unicelulares que suele encontrarse en ambientes de agua dulce, especialmente en zonas ricas en materia orgánica (Pérez &amp; Jiménez, 2023).</p>	

<p><b>N. Científico:</b> <i>Pediastrum simplex</i></p>	<p><b>Ilustración 3</b> <i>Pediastrum simplex</i> vista desde objetivo x10</p>
<p><b>Descripción:</b> <i>Pediastrum simplex</i> es una microalga verde de agua dulce perteneciente al grupo Chlorophyta. Forma colonias planas y circulares, compuestas por células dispuestas en forma de roseta con bordes generalmente dentados. Esta estructura facilita la flotación y la captación de luz, lo cual es beneficioso en hábitats bien iluminados. Su presencia suele indicar aguas de buena calidad y es utilizada como bioindicador en estudios de calidad de agua. (Pérez &amp; Jiménez, 2023).</p>	
<p><b>N. Científico:</b> <i>Closterium acutum</i></p>	<p><b>Ilustración 4</b> <i>Closterium acutum</i> vista desde x40</p>
<p><b>Descripción:</b> <i>Closterium acutum</i> es una desmidiácea alargada y ligeramente curva, común en ambientes de agua dulce. Es utilizada como bioindicador de la calidad del agua (Gómez &amp; Rivera, 2024).</p>	

<p><b>N. Científico:</b> <i>Crucigenia tetrapedia</i></p>	<p><b>Ilustración 5</b> Crucigenia tetrapedia vista desde Objetivo x40</p>
<p><b>Descripción:</b> Esta especie forma colonias de cuatro células dispuestas en forma de cruz, típica de aguas frescas y limpias. Es un bioindicador de ecosistemas saludables (Castro &amp; León, 2022).</p>	
<p><b>N. Científico:</b> <i>Stauridium tetras</i></p>	<p><b>Ilustración 6</b> Stauridium tetras Vista desde objetivo x 20</p>
<p><b>Descripción:</b> <i>Stauridium tetras</i> es un alga verde que forma colonias y es frecuente en cuerpos de agua con altos niveles de luz. Su presencia está asociada con aguas de buena calidad (Rojas &amp; Martínez, 2020).</p>	
<p><b>N. Científico:</b> <i>Staurastrum hirsutum</i></p>	<p><b>Ilustración 7</b> Staurastrum hirsutum visto desde objetivo x20 v x40</p>
<p><b>Descripción:</b> Microalga verde perteneciente a la familia de las desmidiáceas y es conocida por su estructura simétrica y apariencia estrellada, con espinas o</p>	

<p>proyecciones que le dan un aspecto "hirsuto". Esta especie, como otras desmidiáceas, es característica de aguas oligotróficas y se encuentra en sistemas de baja productividad, donde su estructura le permite maximizar el aprovechamiento de la luz y los nutrientes disponibles (González &amp; Pérez, 2022; Martínez et al., 2023).</p>	
--	--

### Bacillariophyta (Diatomeas)

<p><b>N. Científico:</b> <i>Caloneis amphisbaena</i></p>	<p><b>Ilustración 8</b> Caloneis amphisbaena visto desde objetivo x40</p> 
<p><b>Descripción:</b> Esta especie de diatomea se encuentra en ambientes de agua dulce y salobre y es útil como bioindicador de la calidad del agua (Ortega &amp; Vargas, 2024).</p>	

<p><b>N. Científico:</b> <i>Pleurosigma sp</i></p>	<p><b>Ilustración 9</b> <i>Pleurosigma sp</i> Visto en objetivo x20</p> 
<p><b>Descripción:</b> <i>Pleurosigma</i> es una diatomea alargada y de movimiento lento, que suele encontrarse en ambientes bentónicos de agua dulce. Es indicadora de condiciones estables y bien oxigenadas (Muñoz &amp; Herrera, 2023).</p>	<p><b>N. Científico:</b> <i>Nitzschia sp</i></p>
<p><b>Descripción:</b> Esta diatomea es común en ambientes de agua dulce y se caracteriza por su frústula alargada. Su presencia puede señalar contaminación orgánica (Vargas &amp; Molina, 2021).</p>	<p><b>Ilustración 10</b> <i>Nitzschia sp</i> vista desde objetivo x40 y x20</p> 
<p><b>N. Científico:</b> <i>Gyrosigma acuminatum</i></p>	

<p><b>Descripción:</b></p> <p><i>Gyrosigma acuminatum</i> es una diatomea bentónica que prospera en ambientes estables. Es usada como bioindicador de calidad en estudios de monitoreo ambiental (López &amp; Morales, 2022).</p>	<p><b>Ilustración 11</b> <i>Gyrosigma acuminatum</i> vista desde x40</p> 
<p><b>N. Científico:</b></p> <p><i>Navicula sp</i></p>	<p><b>Ilustración 12</b> <i>Navicula sp</i> vista desde x20</p> 
<p><b>Descripción:</b></p> <p><i>Navicula</i> es un género de diatomeas con una frústula en forma de barco. Es común en agua dulce y actúa como indicador de la calidad del agua (Díaz &amp; Rivas, 2023).</p>	
<p><b>N. Científico:</b></p> <p><i>Cyclotella meneghiniana</i></p>	

<p><b>Descripción:</b></p> <p><i>Cyclotella meneghiniana</i> es una diatomea de agua dulce y salobre, conocida por su estructura circular y simetría radial. Su frústula (caparazón de sílice) tiene costillas radiales y puntos dispuestos en patrones distintivos. Es comúnmente utilizada como bioindicador de calidad del agua, ya que su presencia puede señalar condiciones de eutrofización debido a su tolerancia a ambientes con altos nutrientes. (Díaz &amp; Rivas, 2023).</p>	<p><b>Ilustración 13</b> <i>Cyclotella meneghiniana</i></p> <p>Vista desde x40</p> 
---	---

### Euglenophyta (Euglenoides)

<p><b>N. Científico:</b></p> <p><i>Euglena viridis</i></p>	<p><b>Ilustración 14</b> <i>Euglena viridis</i> vista desde x20</p> 
<p><b>Descripción:</b></p> <p><i>Euglena viridis</i> es un euglenoide fotosintético que habita en aguas ricas en materia orgánica y es un indicador de eutrofización (Ramos &amp; Gómez, 2020).</p>	

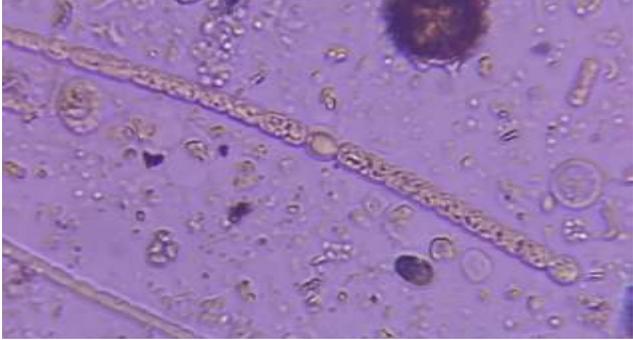
<p><b>N. Científico:</b></p> <p><i>Phacus orbicularis</i></p>	<p><b>Ilustración 15</b> <i>Phacus orbicularis</i> visto desde objetivo x40</p>
<p><b>Descripción:</b></p> <p>Esta especie de <i>Phacus</i> es común en cuerpos de agua dulce y se caracteriza por su forma aplanada. Su presencia suele estar asociada con aguas ricas en nutrientes (Navarro &amp; Paredes, 2024).</p>	

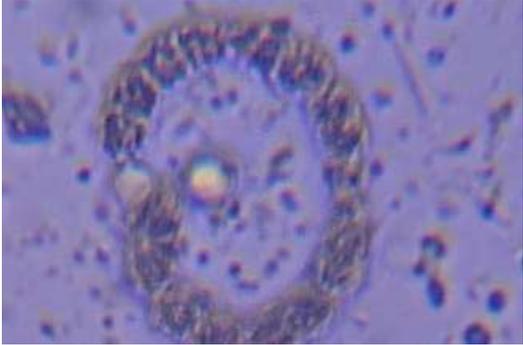
### Dinophyta (Dinoflagelados)

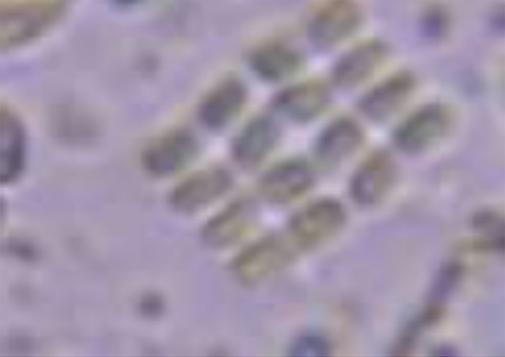
<p><b>N.Científico:</b></p> <p><i>Gonyaulax apiculata</i></p>	<p><b>Ilustración 16</b> <i>Gonyaulax apiculata</i> vista desde objetivo x20</p>
<p><b>Descripción:</b></p> <p>Este dinoflagelado es conocido por su capacidad de formar floraciones en agua dulce, especialmente en ambientes ricos en nutrientes (Pérez &amp; Fernández, 2023).</p>	
<p><b>N.Científico:</b></p> <p><i>Perimidium sp</i></p>	<p><b>Ilustración 17</b> <i>Perimidium sp</i> visto desde x20</p>

<p><b>Descripción:</b></p> <p>Perimidium es un género de dinoflagelados de agua dulce con una estructura acorazada que le permite resistir condiciones adversas. Es un buen indicador de calidad del agua (Jiménez &amp; Castro, 2022)</p>	
--	--

Cyanophyta encontradas durante el muestreo

<p><b>N. Científico:</b></p> <p><i>Aphanizomenon flosaquae</i></p>	<p><b>Ilustración 18</b> <i>Aphanizomenon flosaquae</i> en objetivo x40</p>
<p><b>Descripción:</b></p> <p>Anabaena constricta es una cianobacteria filamentosa con heterocistos que participa en la fijación de nitrógeno en ambientes de agua dulce. Es común en aguas con altos niveles de nutrientes y puede formar floraciones tóxicas (García &amp; Pérez, 2021).</p>	
	<p><b>Ilustración 19</b> <i>Anabaena constricta</i> en objetivo x10</p>

<p><b>N. Científico:</b> <i>Anabaena constricta</i></p>	
<p><b>Descripción:</b> Esta especie forma colonias de filamentos y es conocida por su capacidad de producir toxinas, lo cual puede afectar la calidad del agua y la salud de los organismos acuáticos (López et al., 2023).</p>	
<p><b>N. Científico:</b> <i>Anabaenopsis circularis</i></p>	<p><b>Ilustración 20</b> <i>Anabaenopsis circularis</i> vista en objetivo x 40</p>
<p><b>Descripción:</b> <i>Anabaenopsis circularis</i> es una cianobacteria que forma filamentos en forma de espiral y participa en la fijación de nitrógeno. Su presencia es indicativa de ambientes eutróficos (Rodríguez &amp; Sánchez, 2022).</p>	
<p><b>N. Científico:</b> <i>Pseudanabaena catenata</i></p>	

<p><b>Descripción:</b></p> <p>Pseudanabaena catenata se caracteriza por formar filamentos sin heterocistos, adaptándose a condiciones variadas en agua dulce. Es sensible a cambios en los niveles de nutrientes (Martínez &amp; Gómez, 2020).</p>	<p><b>Ilustración 21</b> <i>Pseudanabaena catenata</i> vista desde objetivo x4</p> 
<p><b>N. Científico:</b></p> <p><i>Merismopedia tenuissima</i></p>	<p><b>Ilustración 22</b></p> <p><i>Merismopedia tenuissima</i> vista desde objetivo x40</p>
<p><b>Descripción:</b></p> <p>Esta cianobacteria forma colonias planas de células individuales en disposición regular y se encuentra en aguas ricas en nutrientes. Su presencia puede indicar condiciones eutróficas (Hernández &amp; Morales, 2022).</p>	

**Tabla 3 Índices de Diversidad, abundancia y equitividad de**

SHANNON\_H SIMPSON\_1- EQUITABILITY\_J DOMINANCE\_D  
D

---

<b>M1</b>	1,798	0,7046	0,6003	0,2954
<b>M2</b>	1,836	0,7061	0,6129	0,2939
<b>M3</b>	1,826	0,7055	0,5999	0,2945
<b>M4</b>	1,66	0,6966	0,6472	0,3034
<b>M5</b>	1,936	0,7181	0,6461	0,2819
<b>M6</b>	1,794	0,704	0,6205	0,296

**Tabla 4** Tabla de pruebas de normalidad

Parámetro	W (Estadístico de Shapiro-Wilk)	p-valor
pH	0.8506049513816833	0.1591874659061432
Turbidez	1.0	1.0
Temperatura del agua	0.654429018497467	0.0019738725386559963
Temperatura ambiente	1.0	1.0
Conductividad eléctrica	0.7434309720993042	0.01716623269021511
Nitrato (mg/L)	0.8805450201034546	0.2715694010257721
Nitritos (mg/L)	0.8644020557403564	0.204787939786911
Fosfato (mg/L)	0.9744641184806824	0.9209663271903992
Silicato (mg/L)	0.8212636709213257	0.09050017595291138

### Anexo 9 Prueba de Shaoiro-Wilk



### Anexo 10 botella Niskin