



**UNL**

Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

**Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables**

**Carrera de Ingeniería Ambiental**

### **Ecología de fitoplancton en el sistema lacustre Tres Lagunas, en el sur de Ecuador**

**Trabajo de Integración Curricular,  
previo a la  
obtención del título de Ingeniero Ambiental**

**AUTOR:**

Edison Junior Armijos Mora

**DIRECTOR:**

Ing. Víctor Alonso Cartuche Paqui., PhD.

Loja – Ecuador

2024



## CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **Cartuche Paqui Victor Alonso**, director del Trabajo de Integración Curricular denominado **Ecología de fitoplancton en el sistema lacustre "Tres Lagunas", en el sur de Ecuador**, perteneciente al estudiante **EDISON JUNIOR ARMIJOS MORA**, con cédula de identidad N° **1105090680**. Certifico que luego de haber dirigido el **Trabajo de Integración Curricular** se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Integración Curricular**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Integración Curricular del mencionado estudiante.

Loja, 23 de Agosto de 2023



Firmado electrónicamente por:  
VICTOR ALONSO  
CARTUCHE PAQUI

F) -----  
**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR**



Certificado TIC/TT.: UNL-2023-000592

## **Autoría**

Yo, **Edison Junior Armijos Mora**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mí Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**Cédula de identidad:** 1105090680

**Fecha:** 21 de julio de 2024

**Correo electrónico:** edison.armijos@unl.edu.ec

**Celular:** 0989265288

**Carta de autorización por parte del autor para la consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.**

Yo **Edison Junior Armijos Mora**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Ecología de fitoplancton en el sistema lacustre Tres Lagunas, en el sur de Ecuador**, como requisito para optar el título de **Ingeniero Ambiental**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja a los veintiún días del mes de julio del dos mil veinticuatro.

**Firma:**



**Autor:** Edison Junior Armijos Mora

**Cédula:** 1105090680

**Dirección:** La Argelia

**Correo electrónico:** edison.armijos@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0989265288

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Víctor Alonso Cartuche Paqui Ph.D

## **Dedicatoria**

Este trabajo se lo quiero dedicar a mis padres, Marlene Mora y Ángel Armijos así como a mis hermanos, Edgar, Fernando y Ximena quienes han sido mi apoyo incondicional desde el primer día, estuvieron a mi lado brindándome palabras de motivación, impulsándome a superar los desafíos y perseverar en cada etapa, por ser mi fuente de inspiración, gracias a su ejemplo de carácter y sacrificio, he sido capaz de superar obstáculos aparentemente insuperables y alcanzar metas que una vez parecían inalcanzables. Siempre estaré agradecido por el apoyo que me brindaron.

*Edison Junior Armijos Mora*

## **Agradecimiento**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que contribuyeron de manera significativa y permitieron el desarrollo exitoso de la presente investigación. Deseo extender un agradecimiento especial al PhD. Alonso Cartuche director de tesis. Asimismo, quiero destacar el constante apoyo, las valiosas enseñanzas y la orientación brindada por el Ing. Christian Mendoza León a lo largo de todo el proceso de investigación. A la Universidad Técnica particular de Loja, en especial al PhD. Carlos Iñiguez y Mgs. Wilson Suñiga los cuales me facilitaron el laboratorio y los equipos esenciales para llevar a cabo el levantamiento de información. Y además un reconocimiento especial va dirigido a la Universidad Nacional de Loja y a los destacados docentes de la Carrera de Ingeniería Ambiental, los cuales, a lo largo de mi etapa universitaria, aportaron conocimientos y enseñanzas esenciales. Queridos padres, hermanos y amigos, no hay palabras suficientes para expresar cuánto les agradezco por su presencia constante en mi vida. Su amor incondicional y apoyo inquebrantable han sido el motor que me impulsa a seguir adelante.

*Edison Junior Armijos Mora*

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	i
<b>Certificación</b> .....	ii
<b>Autoría</b> .....	iii
<b>Carta de autorización</b> .....	iv
<b>Dedicatoria</b> .....	v
<b>Agradecimiento</b> .....	vi
<b>Índice de contenidos</b> .....	vii
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras .....	x
Índice de anexos .....	xii
<b>1. Título</b> .....	1
<b>2. Resumen</b> .....	2
Abstract .....	3
<b>3. Introducción</b> .....	4
<b>4. Marco teórico</b> .....	7
4.1 Limnología .....	7
4.2. Fitoplancton y su importancia.....	9
4.2.1. Importancia ecológica del fitoplancton.....	9
4.3. Factores que influyen en la dinámica del fitoplancton.....	10

4.4.Distribución espacial y temporal del fitoplancton en el sistema lacustre.....	10
4.5.Respuestas del fitoplancton a los cambios ambientales y antropogénicos en el sistema lacustre .....	11
<b>5. Metodología.....</b>	<b>12</b>
5.2.Área de estudio.....	12
5.3.Condiciones fisicoquímicas.....	13
5.4.Evaluación de la composición y estructura del fitoplancton.....	14
5.4.1.Muestreo fitoplancton .....	14
5.4.2.Recuento e identificación de fitoplancton.....	15
5.5.Análisis de datos.....	16
5.5.1.El índice de Shannon –Wiener ( $H'$ ).....	16
5.5.2.Equidad de Pielou ( $J'$ ).....	16
<b>6. Resultados.....</b>	<b>17</b>
6.2.Condiciones fisicoquímicas.....	17
6.2.1.Análisis de varianza.....	18
6.3.pH.....	18
6.3.1.Oxígeno disuelto.....	19
6.3.2.Conductividad.....	20
6.3.3.Temperatura.....	21
6.3.4.Fosfato.....	22
6.4.Composición y estructura del fitoplancton.....	23



6.4.1. Curvas de acumulación de géneros.....	23
6.4.2. Riqueza, diversidad y equitatividad en los hábitats de las lagunas evaluadas.....	35
<b>7. Discusión .....</b>	<b>37</b>
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>42</b>
<b>9. Recomendaciones .....</b>	<b>43</b>
<b>10. Bibliografía .....</b>	<b>43</b>
<b>11. Anexos .....</b>	<b>53</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Variables fisicoquímicas por hábitat muestreado en la laguna 1 .....	17
<b>Tabla 2.</b> Variables fisicoquímicas por hábitat muestreado en laguna 2 .....	17
<b>Tabla 3.</b> Variables fisicoquímicas por hábitat muestreado en laguna 3 .....	18
<b>Tabla 4.</b> Listado de taxones encontrados en la laguna 1 del sistema lacustre Tres Lagunas en los diferentes hábitats evaluados. ....	27
<b>Tabla 5.</b> Listado de taxones encontrados en la laguna 2 del sistema lacustre Tres Lagunas en los diferentes hábitats evaluados .....	30
<b>Tabla 6.</b> Listado de taxones encontrados en la laguna 3 del sistema lacustre Tres Lagunas en los diferentes hábitats evaluados .....	33

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación del área de estudio del sistema lacustre Tres Lagunas al sur de Ecuador.....	13
<b>Figura 2.</b> Puntos de muestreo para cada laguna .....	15
<b>Figura 3.</b> Análisis de varianza aplicado al pH de los cuerpos de agua estudiados.....	19
<b>Figura 4.</b> Análisis de varianza aplicado al oxígeno disuelto de los cuerpos de agua estudiados .....	20
<b>Figura 5.</b> Análisis de varianza aplicado a la conductividad de los cuerpos de agua estudiados .....	21
<b>Figura 6.</b> Análisis de varianza aplicado a la temperatura (°C) de los cuerpos de agua estudiados .....	22
<b>Figura 7.</b> Análisis de varianza aplicado al fosfato de los cuerpos de agua estudiados .....	23

<b>Figura 8.</b> Curva de acumulación de géneros para la laguna 1, utilizando el estimador no paramétrico Chao 1 .....	24
<b>Figura 9.</b> Curva de acumulación de géneros para la laguna 2, utilizando el estimador no paramétrico Chao 1 .....	24
<b>Figura 10.</b> Curva de acumulación de géneros para la laguna 3, utilizando el estimador no paramétrico Chao 1 .....	25
<b>Figura 11.</b> Densidad total de los phyla correspondientes a la comunidad fitoplanctónica en la laguna 1 de los diferentes hábitats muestreados. Se indican también las densidades totales por laguna .....	26
<b>Figura 12.</b> Densidad total por laguna diferentes hábitats muestreados .....	26
<b>Figura 13.</b> Densidad total de los phyla correspondientes a la comunidad fitoplanctónica en la laguna 2 de los diferentes hábitats muestreados.....	29
<b>Figura 14.</b> Densidades totales por laguna.....	29
<b>Figura 15.</b> Densidad total de los phyla correspondientes a la comunidad fitoplanctónica en la laguna 3 de los diferentes hábitats muestreados.....	32
<b>Figura 16.</b> Se indican también las densidades totales por laguna. ....	32
<b>Figura 17.</b> Índices de equitatividad, diversidad por lagunas .....	35
<b>Figura 18.</b> Riqueza detectada por lagunas.....	35
<b>Figura 15.</b> Índices de equitatividad, diversidad y riqueza por hábitats en las tres lagunas de estudio .....	36

## **Índice de anexos**

<b>Anexo 1.</b> Ficha técnica de información en campo. ....	53
<b>Anexo 2.</b> Parte del fitoplancton encontrado en la laguna 1.....	54
<b>Anexo 3.</b> Parte del fitoplancton encontrado en la laguna 2.....	54
<b>Anexo 4.</b> Parte del fitoplancton encontrado en la laguna 3.....	55
<b>Anexo 5.</b> Muestreos efectuados en la zona litoral de los objetos de estudio. ....	55
<b>Anexo 6.</b> Muestreos efectuados en la zona limnética de los objetos de estudio.....	56
<b>Anexo 7.</b> Tipos de hábitat muestreados en los objetos de estudio. ....	56
<b>Anexo 8.</b> Presencia de contaminación en los objetos de estudio. ....	56
<b>Anexo 9.</b> Belleza escénica de los objetos de estudio. ....	57
<b>Anexo 10.</b> Muestras de fitoplancton preparadas para recuento e identificación. ....	57
<b>Anexo 11.</b> Certificado de traducción del resumen .....	58

## **1. Título**

Ecología de fitoplancton en el sistema lacustre Tres Lagunas, en el sur de Ecuador.

## 2. Resumen

El fitoplancton es esencial para los ecosistemas de aguas continentales porque proporciona la base para el crecimiento y supervivencia de otros organismos. Se propone que este estudio investigue las condiciones fisicoquímicas (pH, oxígeno disuelto, conductividad y fosfatos) y la composición y estructura del fitoplancton en tres cuerpos de agua del humedal Tres Lagunas en Ecuador. Se tomaron cinco muestras por laguna en una sola fase de muestreo. Se descubrió que la comunidad fitoplanctónica estaba principalmente compuesta por Bacillariophyta, seguida por Chlorophyta, y en menores proporciones Pyrrophyta, Cyanobacteria, Chrysophyta, Euglenophyta, Streptophyta y Ochrophyta. Las condiciones fisicoquímicas, como la acidez del agua y la disponibilidad de nutrientes, tienen un impacto significativo en la composición y diversidad del fitoplancton, reflejando el estado ecológico y la calidad del agua. Estos resultados subrayan la importancia del monitoreo continuo para la gestión sostenible de los ecosistemas acuáticos. Se recomienda un monitoreo regular de las variables fisicoquímicas y de la comunidad fitoplanctónica para evaluar los impactos ambientales y desarrollar estrategias de conservación efectivas. Este estudio proporciona información crucial para la conservación y gestión de los recursos hídricos en las lagunas altoandinas, alineándose con la necesidad de preservar la biodiversidad y mantener los servicios ecosistémicos.

**Palabras clave:** Humedal, Sistema lacustre, Ecología, Nutrientes, Phylum.

## **Abstract**

Phytoplankton are essential to inland water ecosystems because they provide the basis for the growth and survival of other organisms. This study is proposed to investigate the physicochemical conditions (pH, dissolved oxygen, conductivity and phosphates) and the composition and structure of phytoplankton in three water bodies of the Tres Lagunas wetland in Ecuador. Five samples were taken per lagoon in a single sampling phase. The phytoplankton community was found to be mainly composed of Bacillariophyta, followed by Chlorophyta, and in smaller proportions Pyrrophyta, Cyanobacteria, Chrysophyta, Euglenophyta, Streptophyta and Ochrophyta. Physicochemical conditions, such as water acidity and nutrient availability, have a significant impact on phytoplankton composition and diversity, reflecting ecological status and water quality. These results underline the importance of continuous monitoring for the sustainable management of aquatic ecosystems. Regular monitoring of physicochemical and phytoplankton community variables is recommended to assess environmental impacts and develop effective conservation strategies. This study provides crucial information for the conservation and management of water resources in high Andean lagoons, in line with the need to preserve biodivers.

**Keywords:** Wetland, Lake system, Ecology, Nutrients, Phylum, Ecology, Phyla.

### **3. Introducción**

Los ecosistemas acuáticos terrestres son de gran importancia para la continuidad de la vida, ya que su función principal es suministrar agua, la cual es utilizada para diversos propósitos como la alimentación, la actividad industrial y la producción de energía, además estos ecosistemas se pueden clasificar en dos categorías principales: uno de ellos son los ecosistemas lénticos, los cuales se distinguen por su característica de mantener aguas quietas, tales como lagos y lagunas; y por otra parte se encuentran los ecosistemas lóticos, donde el agua fluye de manera constante, como en ríos y arroyos (Roldán y Ramírez, 2022).

El sistema lacustre Tres Lagunas, ubicado en el piso bioclimático de páramo, es un ecosistema particularmente sensible a los cambios ambientales. Este sistema abarca territorios tanto de la provincia de Azuay como de Zamora Chinchipe, y es una fuente abastecedora de recurso hídrico, aportando agua para consumo y riego para las poblaciones dentro de las cuencas hidrográficas. Su valor cultural y turístico es emblemático para los territorios que lo poseen.

En este estudio, se analizan detalladamente los ecosistemas acuáticos lénticos de gran altitud, los cuales se caracterizan por tener propiedades fisicoquímicas distintivas y albergar comunidades biológicas específicas (Sierra et al., 2021). La altitud tiene un efecto importante en los ecosistemas mencionados, lo cual lleva a la creación de características que afectan aspectos como la temperatura del agua, la cantidad de oxígeno presente, la claridad del agua y la concentración de nutrientes disponibles, dichas peculiaridades ambientales tienen el potencial de impactar significativamente la variedad de especies que habitan un área y las relaciones que se forman entre ellas (Guevara, 2022).

Además de tener en cuenta la variación de altitud, es crucial considerar cómo los factores geológicos también desempeñan un papel significativo en la forma en que estos ecosistemas se estructuran y se desarrollan (Huertas et al., 2023). Las propiedades físicas y químicas del agua, junto con los fenómenos de sedimentación y la presencia de diferentes entornos naturales, pueden ser afectados por la composición geológica de la región circundante (Gunkel, 2003). De esta manera, resulta de suma importancia tener un conocimiento profundo



de cómo interactúan los elementos vivos y no vivos en estos ecosistemas acuáticos de aguas tranquilas de gran altitud con el fin de poder gestionarlos de manera eficaz y sostenible.

El principal desafío al que se enfrenta el estudio de los ecosistemas acuáticos en regiones altoandinas es la gran variabilidad climática, que se manifiesta a través de cambios constantes en las temperaturas, eventos de lluvias intensas y altos niveles de exposición a la radiación solar, lo que significa que las condiciones cambiantes presentes en el ambiente podrían representar un obstáculo en el proceso de recopilación de información y en la vigilancia constante de la calidad de los cuerpos de agua (Molina y otros, 2018). Por ello es de suma importancia recopilar información fundamental y fiable que pueda reforzar de manera efectiva los programas de conservación, para que, en un futuro, estos programas permitan garantizar la pureza del agua, proteger la diversidad de vida en los ecosistemas acuáticos y mantener los beneficios que proporcionan los servicios del ecosistema relacionados (Castilla et al., 2021).

Según Silva (2022) el fitoplancton, un microorganismo primordial en los ecosistemas acuáticos de gran altitud en los Andes, juega un rol fundamental en la red alimentaria acuática. Estos organismos microscópicos, como algas verdes, dinoflagelados y cianobacterias, realizan fotosíntesis y generan materia orgánica, sirviendo como indicadores clave de la salud y calidad del agua (Rodríguez, 2023).

El fitoplancton es uno de los componentes fundamentales de los ecosistemas acuáticos, ya que es la base de la cadena trófica y juega un papel importante tanto en la calidad del agua o como el mayor productor tanto de cuerpos de agua dulce como a nivel del mar, se compone por micro algas que se distribuyen por la columna de agua (Darío, 2022). En las lagunas altoandinas, el fitoplancton es especialmente importante, ya que estas lagunas tienen características físico-químicas y biológicas particulares que determinan la composición y dinámica de estas comunidades de microorganismos (Arenas, 2022).

La exploración científica en los sistemas acuáticos de agua dulce en las regiones altas de los Andes ha resaltado al fitoplancton como un grupo de gran interés para los investigadores. La organización de la comunidad fitoplanctónica está influenciada por factores físicos y químicos del agua, como la temperatura, el nivel de acidez y la presencia de nutrientes, así como por organismos invasores y alteraciones humanas (Gil et al., 2022)

Por lo tanto, de acuerdo con Arias Cuasapaz y Arias Marín (2024) se resalta la relevancia de tener en cuenta las características específicas de cada entorno acuático y los factores locales que influyen en la diversidad y cantidad de organismos fitoplanctónicos presentes, además, se resalta la importancia de la variabilidad en especies de microalgas y cianobacterias como un factor crucial para la comprensión del efecto que la actividad humana tiene en los ecosistemas donde se desarrollan.

Durante un extenso período de tiempo, los sistemas hídricos creados en zonas de gran altitud, como los páramos, han sido de vital importancia, desempeñando un papel fundamental (Ayuda en Acción , 2022) al actuar como valiosas fuentes de suministro de agua dulce, no obstante, al igual que cualquier ecosistema que se encuentre en Ecuador o en cualquier lugar, ha experimentado alteraciones a causa de acciones naturales y, sobre todo, de origen humano. Comprender estos cambios, sus impactos sobre la biodiversidad y cómo afectan el funcionamiento de estos ecosistemas es esencial para desarrollar estrategias exitosas de conservación y gestión sostenible (Barrera, 2021).

El sistema lacustre Tres Lagunas, se encuentra en el piso bioclimático de páramo, lo que lo convierte en un ecosistema particularmente sensible a los cambios ambientales, abarca territorios tanto de la provincia de Azuay como de Zamora Chinchipe (Vasquez, 2021). Es una fuente abastecedora del recurso hídrico, aportando agua para consumo y riego para las poblaciones que se ubican dentro de las cuencas hidrográficas donde se distribuye el agua, así mismo su valor cultural y turístico es emblemático de los territorios que lo poseen.

Frente a esto las amenazas actuales dan cuenta de la presencia de varias alteraciones que ponen en riesgo el estado de conservación y funcionalidad ecosistémica. Actualmente el impacto negativo en parte del sistema lacustre Tres Lagunas se atribuido a varias razones. En primer lugar, se ha identificado que prácticas ancestrales relacionadas con el esoterismo pueden haber generado un deterioro ambiental. Estas prácticas implican entre otros, la realización de rituales espirituales donde se incorporan sustancias que alteran la calidad del agua y afectan la vida acuática, igualmente recipientes plásticos, vidrio entre otros.

Además, la apertura de una carretera que atraviesa todo el sistema lacustre, que por un lado es importante para dinamizar las economías locales, por otro, permite el acceso de personas

con fines de actividades turísticas no responsables y deportes extremos en las cercanías de los cuerpos de agua. Estas actividades pueden generar contaminación por residuos sólidos o disturbios en los hábitats acuáticos, lo que repercute en la calidad del agua y la salud del ecosistema.

La ecología del fitoplancton se enfoca en el estudio de los factores que influyen en la distribución, abundancia y diversidad de estos microorganismos fotosintéticos en los ecosistemas acuáticos. Dado que transforma la energía solar en materia orgánica a través de la fotosíntesis, el fitoplancton es esencial para la producción primaria en los cuerpos de agua. Varios factores físicos y químicos, incluida la temperatura del agua, la disponibilidad de luz, los nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) y el pH, afectan la distribución y diversidad del fitoplancton. Además, las interacciones biológicas, como la competencia, la depredación y las asociaciones simbióticas, son esenciales para la dinámica del fitoplancton (Pinilla , 2005) .

Dadas las condiciones actuales por las que atraviesa este frágil ecosistema, se propone llevar a cabo un estudio basado en organismos fotosintéticos y condiciones fisicoquímicas, para lo cual se plantean los siguientes objetivos: examinar las condiciones fisicoquímicas y; evaluar la composición y estructura del fitoplancton en tres cuerpos de agua, lo que implica identificar y cuantificar los taxones de fitoplancton, para obtener información sobre la diversidad, abundancia y distribución del fitoplancton en el sistema lacustre, a su vez se propone responder la pregunta de investigación que consiste en saber si existen de diferencias significativas de los cuerpos de agua estudiados en cuanto a las variables físico químicas medidas.

En conjunto, esta investigación no sólo contribuirá al conocimiento ecológico del objeto de estudio, sino que también proporcionará una valiosa referencia para otros ecosistemas de gran altura que se enfrentan a amenazas similares.

## **4. Marco teórico**

### **4.1 Limnología**

Según Grosman (2008) la limnología es una disciplina científica relativamente nueva que se centra en el estudio y análisis de las aguas continentales o de agua dulce y sus diversos aspectos, incluyendo las propiedades físicas y químicas, la diversidad biológica y las

interacciones de los organismos que las habitan. Por lo tanto, la limnología se considera una ciencia dedicada al análisis integral de los ecosistemas acuáticos y sus funciones. Esta disciplina abarca el estudio de lagos, ríos, lagunas y humedales, proporcionando conocimientos esenciales para la gestión sostenible de los recursos hídricos y la conservación de la biodiversidad acuática.

Sin embargo, la limnología también enfrenta fuertes desafíos actualmente, como el cambio climático, la contaminación, el uso excesivo de los recursos hídricos y la degradación del hábitat son solo algunos de los problemas que afectan a los ecosistemas acuáticos. Por lo tanto, sigue siendo una ciencia en constante evolución que trata de mejorar la comprensión de los ecosistemas acuáticos y contribuir a su conservación a largo plazo (Moreno, 2012).

Parte de los estudios limnológicos se enfoca en las lagunas altoandinas, que son cuerpos de agua de origen glaciario, volcánico y tectónico ubicados en zonas montañosas de los Andes, a altitudes superiores a los 3000 msnm. Estas lagunas tienen un gran valor ecológico y son parte importante de los humedales de alta montaña, ya que albergan una gran diversidad de flora y fauna, muchas de ellas endémicas y en peligro de extinción (Chinchilla, 2024). Además, estas lagunas son cruciales porque son una fuente vital de agua dulce para la población y la agricultura de las zonas aledañas. Juegan un papel importante en la dinámica de las microcuencas y otros sistemas hidrológicos, regulando el flujo de agua hacia las vertientes de la Amazonía, el Pacífico y el Caribe. También contribuyen a la regulación climática y la prevención de desastres naturales como inundaciones y deslizamientos de tierra (Huaman y Caballero, 2022).

Actualmente, la limnología se encuentra frente a varios desafíos, incluyendo, pero no limitándose al cambio climático, la contaminación de fuentes de agua, la explotación excesiva de recursos hídricos y la pérdida de calidad en los ecosistemas acuáticos. Estos desafíos representan una grave amenaza para la salud y la capacidad de permanencia de los ecosistemas acuáticos, por lo tanto, es fundamental abordarlos con prontitud y eficacia para asegurar su preservación en el futuro (Guevara, 2022).

La investigación en limnología de lagunas altoandinas se centra en una amplia variedad de aspectos, que van desde el estudio de la ecología de las especies que habitan en ellas hasta el análisis detallado de las complejas dinámicas de los procesos biogeoquímicos que se

desarrollan en estos ecosistemas (Zapata & Chávez, 2020). Los estudios tienen como enfoque principal la comprensión del impacto que la altitud, la geología y el clima tienen en la estructura y funcionamiento de estas lagunas, así como en su relevancia en la regulación del clima y en la prestación de servicios de la naturaleza (Gunkel, 2003).

## **4.2. Fitoplancton y su importancia**

El fitoplancton comprende un grupo diverso de organismos que incluye clorófitas, cianobacterias y diatomeas se divide en dos grupos principales: algas verdes y rojas; para el caso de estudio se trabajará con la primera, que usa la clorofila para la fotosíntesis y se encuentran principalmente en agua dulce (López, 2022).

Las microalgas varían notablemente en sus aspectos morfológicos, reproductivos, bioquímicos, fisiológicos y ecológicos por lo que desde hace décadas se han generado propuestas sobre la taxonomía de este grupo complejo en las categorías de división y de clase, donde también describe algunas de las características más sobresalientes de las clases de algas principales a las cuales pertenecen las especies de algas que conforman las comunidades de fitoplancton en los sistemas acuáticos (Rodas et al., 2020).

### **4.2.1. Importancia ecológica del fitoplancton**

El fitoplancton, compuesto por microorganismos fotosintéticos que flotan en el agua, cumple una función crucial en los ecosistemas acuáticos al servir como una fuente primordial de alimento para una amplia variedad de seres vivos acuáticos, entre los que se encuentran el zooplancton, los peces y otros organismos que se alimentan mediante la filtración del agua. Estos seres vivos confían en el fitoplancton como su principal fuente de nutrientes para sobrevivir y crecer. También, es importante señalar que la función fotosintética llevada a cabo por el fitoplancton resulta ser fundamental para controlar la cantidad de gases presentes en el agua, lo que a su vez influencia en la preservación de la transparencia y limpieza del entorno acuático (Blanco et al., 2020).

### **4.3. Factores que influyen en la dinámica del fitoplancton**

De acuerdo a Altamirano (2022) el fitoplancton puede ser utilizado como un indicador del cambio climático, ya que su distribución y abundancia pueden ser afectadas por el cambio en las condiciones del agua, como la temperatura y el pH. Para comprender el papel y la importancia del fitoplancton generalmente se abordan variables como la estructura, composición, dinámica de los nutrientes, la fotosíntesis, la tasa de crecimiento y la mortalidad en el fitoplancton, los efectos de las actividades humanas, y la importancia del fitoplancton para la biodiversidad (Andrés y Garreta, 2021).

Estos enfoques se utilizan para comprender los procesos ecológicos que afectan al fitoplancton y para predecir cómo podrían cambiar los ecosistemas acuáticos a medida que se modifiquen las condiciones de los ecosistemas (Pérez et al., 2021). El fitoplancton en las lagunas altoandinas está estrechamente relacionado con las variables físico-químicas del agua, como la temperatura, la disponibilidad de nutrientes, la radiación solar, oxígeno disuelto, pH, conductividad, entre otras. Debido a las características particulares de estas lagunas, estas variables pueden fluctuar significativamente en el tiempo y el espacio, lo que influye en la composición y abundancia del fitoplancton (Gunkel, 2003).

La disponibilidad de nutrientes también es un factor crucial para el crecimiento del fitoplancton en las lagunas de páramo, ya que muchas de estas lagunas son oligotróficas, es decir, tienen bajos niveles de nutrientes (Patiño, 2020). En estas lagunas, el fitoplancton puede estar limitado por la disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, y su composición puede estar dominada por especies adaptadas a estas condiciones de nutrientes limitantes.

### **4.4. Distribución espacial y temporal del fitoplancton en el sistema lacustre**

La investigación en torno a la distribución espacial y temporal del fitoplancton en los sistemas lacustres es fundamental, ya que tiene efectos significativos en la forma en que se organizan y operan los ecosistemas acuáticos, por ejemplo, en cuanto a los cambios estacionales en la temperatura del agua y la cantidad de luz solar, que inciden en los procesos de fotosíntesis y reproducción de las comunidades microbianas, son responsables de la variabilidad a lo largo del tiempo del fitoplancton, lo que quiere decir que en los lagos de áreas con climas moderados,

se puede notar un incremento en la cantidad de organismos del fitoplancton en la temporada de primavera y verano, que se da al mismo tiempo que las condiciones ambientales propicias para su prosperidad y evolución son óptimas (Juárez, 2021).

Aparte de los factores estacionales, la distribución espacial del fitoplancton está influenciada por una diversidad de variables ambientales específicas de cada región, en donde la presencia de nutrientes esenciales, como el nitrógeno y el fósforo, es un factor clave que influye en el desarrollo del fitoplancton y puede experimentar diferencias notables entre diversas zonas del lago debido a los movimientos y cambios en la circulación del agua, además, la presencia de diferentes profundidades en el lago, así como la existencia de estructuras físicas como áreas donde emergen rocas o variaciones en la intensidad de la luz, tienen la capacidad de generar entornos específicos para la vida de diversas especies de fitoplancton, afectando así su variedad y distribución (Hernández et al., 2020).

Además de acuerdo con Corbella (2023) existe una amplia variedad de métodos de muestreo y técnicas de análisis que se emplean para investigar cómo se distribuye el fitoplancton a lo largo del tiempo y en el espacio, las cuales llegan a abarcar desde la recopilación de muestras en el lugar mismo, como el despliegue de redes de plancton y el uso de sondas multiparamétricas para evaluar factores ambientales, adicionalmente, se obtiene información a gran escala sobre la distribución del fitoplancton en distintos cuerpos de agua mediante la observación remota usando imágenes satelitales y drones, lo que significa que la combinación de estos enfoques posibilita obtener una mayor comprensión en profundidad de cómo se distribuyen los patrones del fitoplancton y cómo reacciona ante las variaciones ambientales a lo largo de diferentes períodos de tiempo y áreas geográficas.

#### **4.5. Respuestas del fitoplancton a los cambios ambientales y antropogénicos en el sistema lacustre**

El fitoplancton, que es un elemento esencial en el equilibrio del ecosistema acuático, muestra una variedad de reacciones y adaptaciones frente a las variaciones del entorno provocadas tanto por factores naturales como por la intervención humana., en donde cambios en las condiciones físicas, tales como alteraciones en la temperatura del agua y la cantidad de luz solar disponible, tienen la capacidad de ejercer una importante influencia en la diversidad y

presencia del fitoplancton en el ecosistema lacustre, adicionalmente por poner un caso de ilustración, un incremento en la temperatura del agua podría favorecer la proliferación de especies de fitoplancton que prefieren ambientes cálidos, a la vez que la reducción de la claridad del agua por la eutrofización podría tener consecuencias en cómo se distribuyen las especies que realizan la fotosíntesis y en la composición general de la comunidad de fitoplancton (Rodas y Vasquez, 2020).

Además de los factores físicos que afectan, de acuerdo con Poot y Pérez (2023) es importante tener en cuenta que las actividades humanas también tienen un impacto considerable en las comunidades de fitoplancton, ya que la liberación de nutrientes y productos químicos en el ambiente a través de prácticas humanas como la agricultura intensiva y la descarga de aguas residuales, tiene el potencial de generar proliferaciones perjudiciales de algas y ocasionar transformaciones significativas en la variedad y estructura del fitoplancton, además de que las floraciones presentes en el cuerpo de agua no solo provocan desequilibrios en su ecosistema, sino que también tienen el potencial de generar sustancias tóxicas que afectan adversamente a la vida acuática y representan un riesgo para la salud de las personas.

## **5. Metodología**

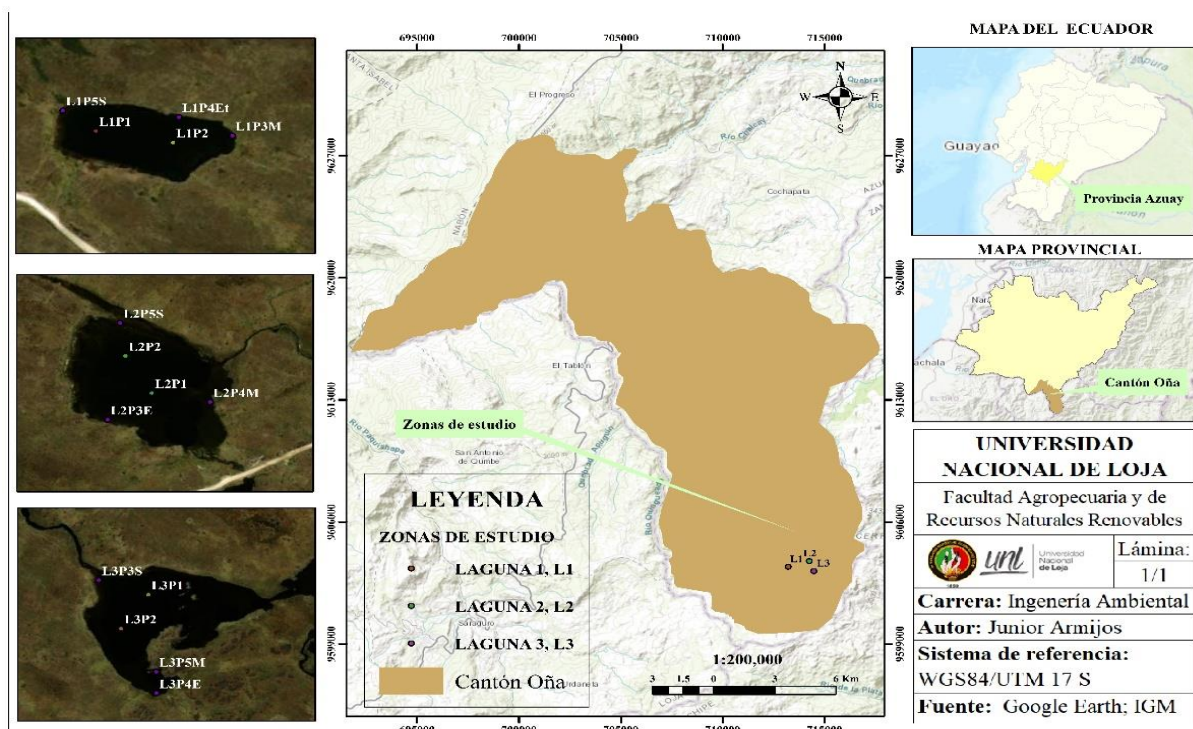
En el siguiente apartado se indica la metodología a desarrollada en la investigación.

### **5.2. Área de estudio**

El humedal Tres Lagunas está ubicado en la cordillera de los Andes por el sur de Ecuador, comparte límites con las provincias de Azuay (cantón Oña) y Zamora-Chinchipec (cantón Yacuambi) (Figura 1). Este sistema lacustre contiene de acuerdo a Cartuche et al., (2019) aproximadamente 75 lagunas poco profundas de agua dulce, con altitudes que varían desde los 3288 hasta 3362 m s.n.m., donde nacen afluentes asociados al río Zamora y de igual manera al Jubones (Barrera & Peñarreta, 2009). Dentro de este humedal se encuentra un hito del cantón Yacuambi, que indica el límite de la reserva ecológica municipal de dicho cantón con el Azuay (Barrera y Peñarreta, 2009; Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Yacumbí, 2012) el cual posee las coordenadas 3° 34' 56.0748" S y 79° 02' 56.0748" W, las cuales permitieron georreferenciar cada laguna a estudiar.



**Figura 1.** Mapa de ubicación del área de estudio del sistema lacustre Tres Lagunas al sur de Ecuador.



### 5.3. Condiciones fisicoquímicas

Para cumplir el primer objetivo se propuso la siguiente metodología:

Se llevó a cabo una fase de campo que incluyó la elaboración de un protocolo de muestreo. Este protocolo fue validado considerando las condiciones ambientales de la zona de estudio, los tiempos de traslado desde la Universidad Nacional de Loja (UNL) hacia las lagunas, las condiciones de cadena de frío de las muestras, la disponibilidad de recursos humanos, materiales, la logística de transporte y almacenamiento de las muestras.

Luego en cada una de las lagunas se definieron cinco puntos de muestreo, sumando un total de quince puntos en los tres cuerpos de agua, para lo cual se consideraron los diferentes tipos de hábitats presentes que se encuentran explícitas en el desarrollo del objetivo 2.

Adicionalmente, en cada punto establecido, se realizaron mediciones de variables fisicoquímicas, como temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH, conductividad ( $\mu\text{S}$ ) y oxígeno disuelto ( $\text{O}_2$ ), estas mediciones se llevaron a cabo utilizando una sonda multiparámetro Hanna HI98194, los valores de las variables fueron registradas en una ficha de datos (Anexo 1). Adicionalmente, se

recolectaron 250 ml de agua por cada punto de muestreo en frascos color ámbar, previamente esterilizados, para analizar las concentraciones de fosfato ( $\text{PO}_4$ ) mediante el método SM 4500-P-E, y nitrato ( $\text{NO}_3$ ) por el método SM 4500- $\text{NO}_3$ -B, validados por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) en el laboratorio de Análisis de Aguas de la Universidad Técnica particular de Loja (UTPL).

#### **5.4. Evaluación de la composición y estructura del fitoplancton**

Para cumplir el segundo objetivo se propuso la siguiente metodología tanto para la fase de campo como para la fase de laboratorio.

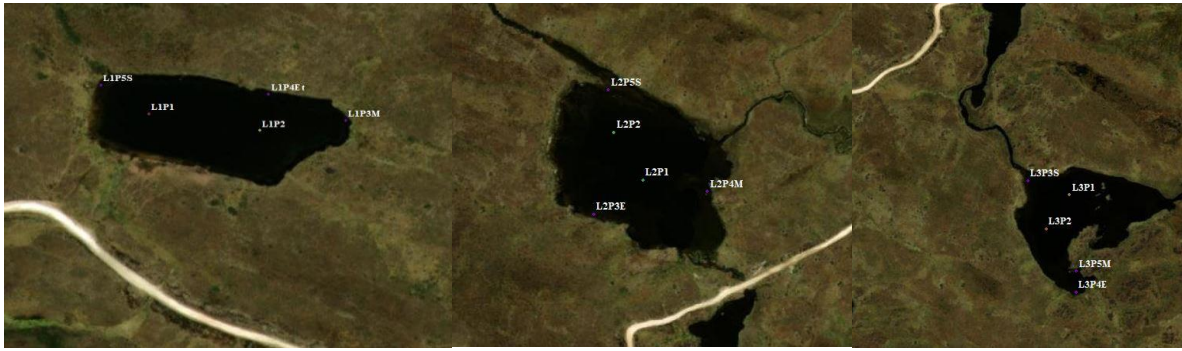
##### **5.4.1. Muestreo fitoplancton**

La ubicación de los sitios de muestreo se determinó bajo los siguientes criterios incluido para el objetivo 1 (Samanez et al., 2014):

- **Zona Litoral:** Se definieron tres puntos de muestreo (Figura 2) en función de la presencia de macrófitas y floraciones algales, así como los puntos de entrada y salida de agua. Si se encontraban macrófitas o floraciones algales, estos puntos se seleccionaban para el muestreo debido a su relevancia como indicadores del ecosistema. En caso de no haber macrófitas ni floraciones algales, se elegían igualmente los puntos de entrada y salida de agua, ya que estos también proporcionan información crítica sobre el ecosistema. En cada punto establecido se colectó una muestra de 250 ml de agua a una profundidad de 0.20 m, sumando un total de 3 muestras para esta zona en cada laguna.
- **Zona limnética:** se delimitó una línea imaginaria central sobre los cuerpos de agua en donde se definieron dos puntos de muestreo, de igual forma se tomaron 250 ml de muestra en la columna de agua a 0.3 m de profundidad, dando un total de dos muestras colectadas para toda la zona de aguas abiertas en cada laguna.

Las muestras fueron recolectadas y etiquetadas en frascos de color ámbar, fijadas con lugol al 1%, (Hernández et al., 2021; Samanez et al., 2014) y finalmente transportadas con la debida cadena de frío al laboratorio de Ecología Acuática de la UTPL.

**Figura 2.** Puntos de muestreo para cada laguna



#### **5.4.2. Recuento e identificación de fitoplancton**

Se procedió con la preparación de las muestras de fitoplancton concentrando 50 ml en tubos Falcon para mejorar la densidad celular. De los 250 ml recolectados, se dejó la muestra en reposo en el laboratorio para permitir la sedimentación. Una vez sedimentado, se utilizaron pipetas automáticas para separar los 200 ml superiores de la muestra de agua, dejando los 50 ml restantes con el sedimento. Estos 50 ml se transfirieron a tubos Falcon de igual capacidad, trabajando específicamente con el sedimento formado en el tubo (Anexo 10).

Por otra parte, para la cuantificación de organismos fitoplanctónicos, se aplicó el método de conteo en campos aleatorios hasta completar 30 campos de visión en 1 ml de muestra sedimentada empleando la cámara de recuento Sedgwick Rafter (Huertas et al., 2023).

Luego, para la identificación taxonómica, se utilizó microscopio y se realizaron microfotografías de las células, se emplearon diferentes magnificaciones (Samanez et al., 2014). Posteriormente, a través de claves taxonómicas el docente guía de la presente investigación identificó las células hasta el nivel de género, debido a la ausencia de equipos especializados no se logró la identificación hasta nivel de especie. Sin embargo, en varios casos dependiendo de la calidad de imagen, se logró identificar varias especies.

La identificación taxonómica se basó en el uso de claves y guías reconocidas en el campo de la taxonomía del fitoplancton, incluyendo las de Rivera et al. (1982), López et al. (2011), Garrido et al. (2012) y Samanez et al. (2014), así como el recurso digital AlgaeBase.

## 5.5. Análisis de datos

Conforme la pregunta de investigación planteada, se procedió a realizar un análisis de varianza mediante el software estadístico R. Este ANOVA, permitió comparar las concentraciones medias de las variables físico-químicas entre los cuerpos de agua estudiados.

Para la composición y estructura, se elaboró una lista de phyla pertenecientes a cada uno de los grupos taxonómicos, junto con la categoría de género (Garrido et al., 2012) y se realizó una curva de acumulación para cada laguna, con el fin de garantizar que la mayoría de los taxones fueran contadas por lo menos una vez (Hernández et al., 2021).

Posteriormente, se calculó los índices de diversidad, riqueza y equidad de taxones por puntos de muestreo en cada laguna.

### 5.5.1. El índice de Shannon –Wiener ( $H'$ )

Este índice asume que todos los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra (Ecuación 1). Este índice mide el grado de inquietud promedio en pronosticar a que especie pertenecerá un individuo elegido al azar.

$$H' = -\sum p_i \ln p_i \quad (1)$$

Donde:

$p_i$ = proporción de las especies  $p_i = n_i/N$

$\ln$ = logaritmo natural

$n_i$ = número de individuos de la especie  $i$

$N$ = número total de individuos

### 5.5.2. Equidad de Pielou ( $J'$ )

El índice de Pielou ( $J'$ ) estima la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada (Ecuación 2). Su valor varía entre 0, que corresponde en que las especies tienen diferentes abundancias y 1, donde todas las especies son igualmente abundantes.

$$J' = \frac{H}{\ln S} \quad (2)$$

Diversidad / logaritmo de riqueza

Donde:

$H$ = índice de Shannon

LnS = Logaritmo natural de riqueza

## 6. Resultados

### 6.2. Condiciones fisicoquímicas

De acuerdo a la Tabla 1, los resultados de los análisis fisicoquímicos evidencian que las lagunas contienen aguas ácidas (pH 3.39 – 4.27), frías (11.16 – 12.20 °C), con una baja conductividad (2.80 – 4.20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y con niveles de fosfatos altos especialmente en la laguna 1 y algo menor en la laguna 2, por otra parte en la laguna 3 las concentraciones fueron menores ( $> 0.05 \text{ mg/L}$ ) (Tabla 1, 2 y 3).

**Tabla 1.** Variables fisicoquímicas por hábitat muestreado en la laguna 1

Hábitats muestreados	Variables					
	pH	OD(mg/l)	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$	T(°C)	PO <sub>3</sub> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <(mg/l)
L1P1	4.20	2.55	3	12.41	0.20	0.1
L1P2	3.50	2.55	2	11.10	0.84	0.1
L1P3M	4.22	2.58	3	12.41	0.72	0.1
L1P4E	4.32	2.57	3	12.24	0.19	0.1
L1P5S	3.54	2.62	3	12.86	0.17	0.1

*Nota:* PE= punto de muestreo con entrada de agua, PM= punto de muestreo con presencia de macrófitas, PS= punto de muestreo con salida de agua, P= punto de muestreo en aguas abiertas).

**Tabla 2.** Variables fisicoquímicas por hábitat muestreado en laguna 2

Hábitats muestreados	Variables					
	pH	OD(mg/l)	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$	T(°C)	PO <sub>3</sub> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <(mg/l)
L2P1	4.73	8.10	4	11.30	0.25	0.1
L2P2	3.86	3.23	3	11.13	0.09	0.1
L2P3E	4.49	5.87	2	11.41	0.18	0.1
L2P2M	4.03	3.85	2	11.12	0.40	0.1
L2P5S	4.22	3.40	4	11.22	0.06	0.1

**Tabla 3.** Variables fisicoquímicas por hábitat muestreado en laguna 3

Hábitats muestreados	Variables					
	pH	OD(mg/l)	Conductividad $\mu\text{S/cm}$	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	PO <sub>3</sub> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <(mg/l)
L3P1	3.09	2.83	4	11.16	0.05	0.1
L3P2	3.42	2.29	4	11.38	0.08	0.1
L3P3S	3.56	3.57	3	11.13	0.16	0.1
L3P2E	3.12	2.22	6	10.79	0.02	0.1
L3P5M	3.76	2.24	4	11.34	0.06	0.1

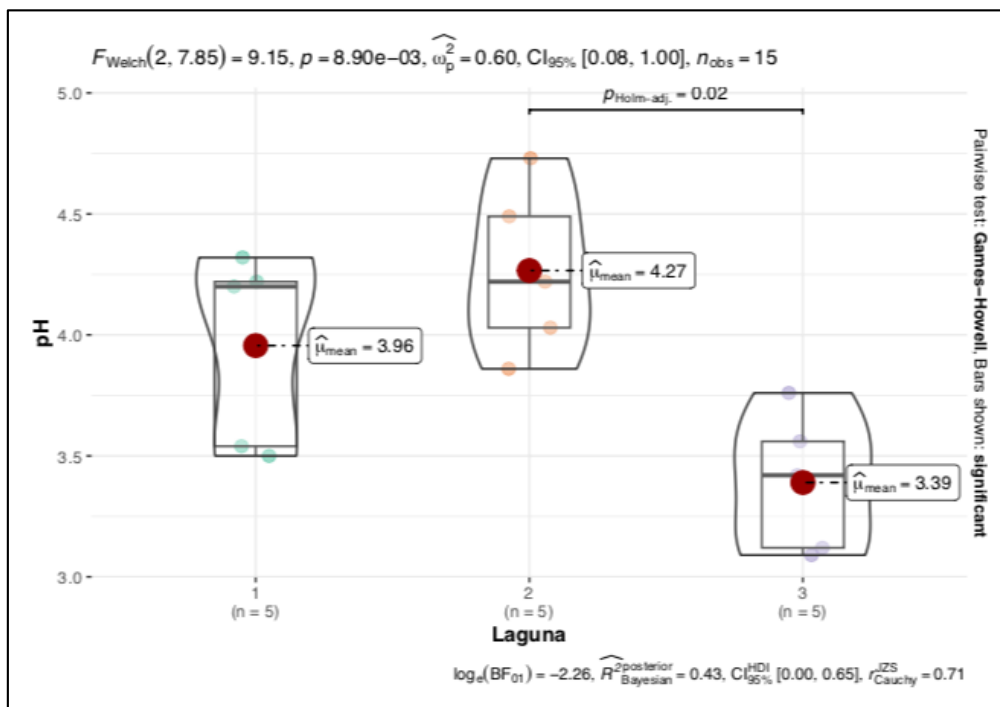
### 6.2.1. Análisis de varianza

Los resultados del análisis ANOVA para determinar diferencias estadísticamente significativas (varianza) de las métricas fisicoquímicas, se muestra en los siguientes apartados.

### 6.3. pH

El análisis ANOVA paramétrico evidenció la existencia de diferencias estadísticamente significativas del pH entre las lagunas ( $p < 0.05$ ). Por tanto, el pH promedio es distinto entre las zonas de estudio (laguna “1”, laguna “2”, y laguna “3”). Posterior al realizar las comparaciones dos a dos se puede observar que, la laguna “2” tuvo mayor promedio de pH seguido de la laguna “1” y de la laguna “3” (Figura 1).

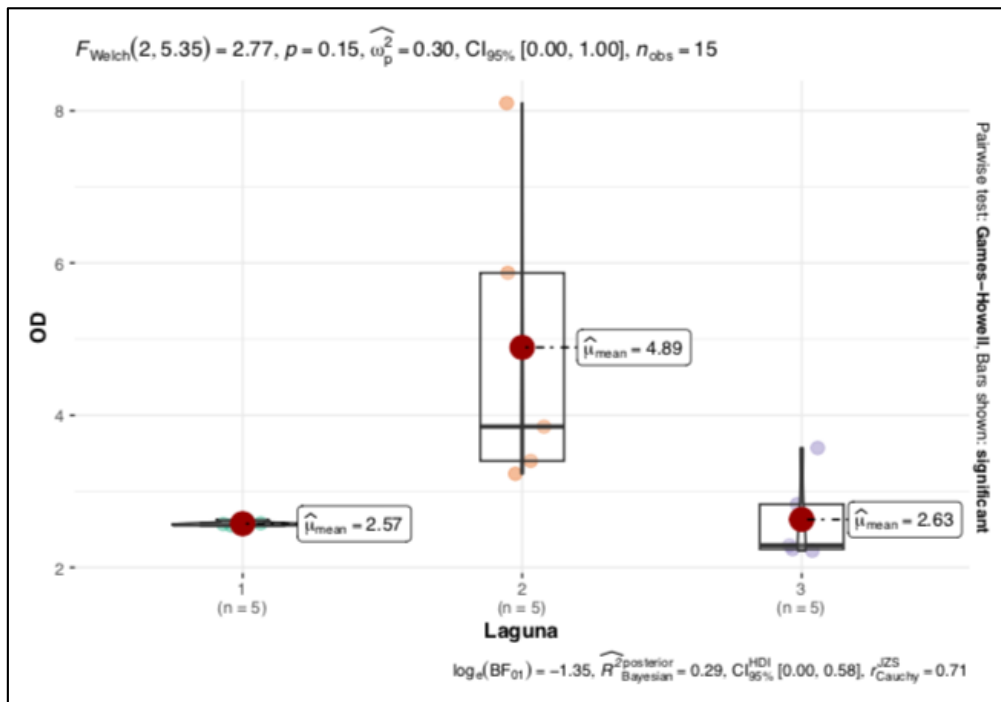
**Figura 3.** Análisis de varianza aplicado al pH de los cuerpos de agua estudiados



### 6.3.1. Oxígeno disuelto

El análisis ANOVA paramétrico demuestra que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las lagunas estudiadas ( $p > 0.05$ ). Por tanto, el promedio de oxígeno disuelto es similar en las tres (Figura 3).

**Figura 4.** Análisis de varianza aplicado al oxígeno disuelto de los cuerpos de agua estudiados

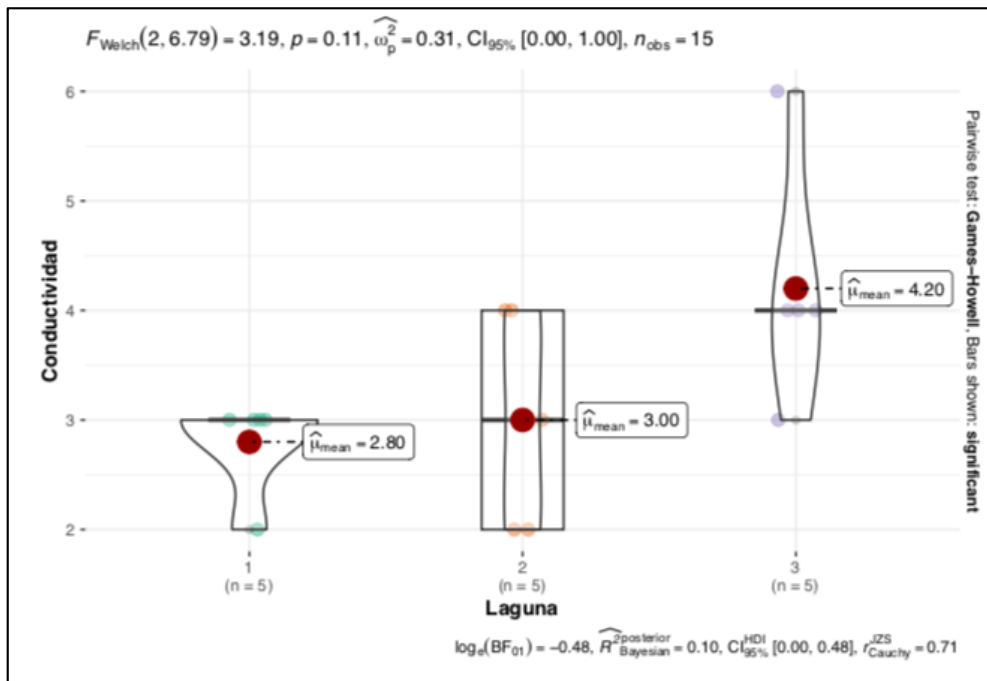


### 6.3.2. Conductividad

El análisis ANOVA paramétrico demuestra que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las lagunas estudiadas ( $p > 0.05$ ). Por tanto, el promedio de conductividad es similar en las tres (Figura 3).



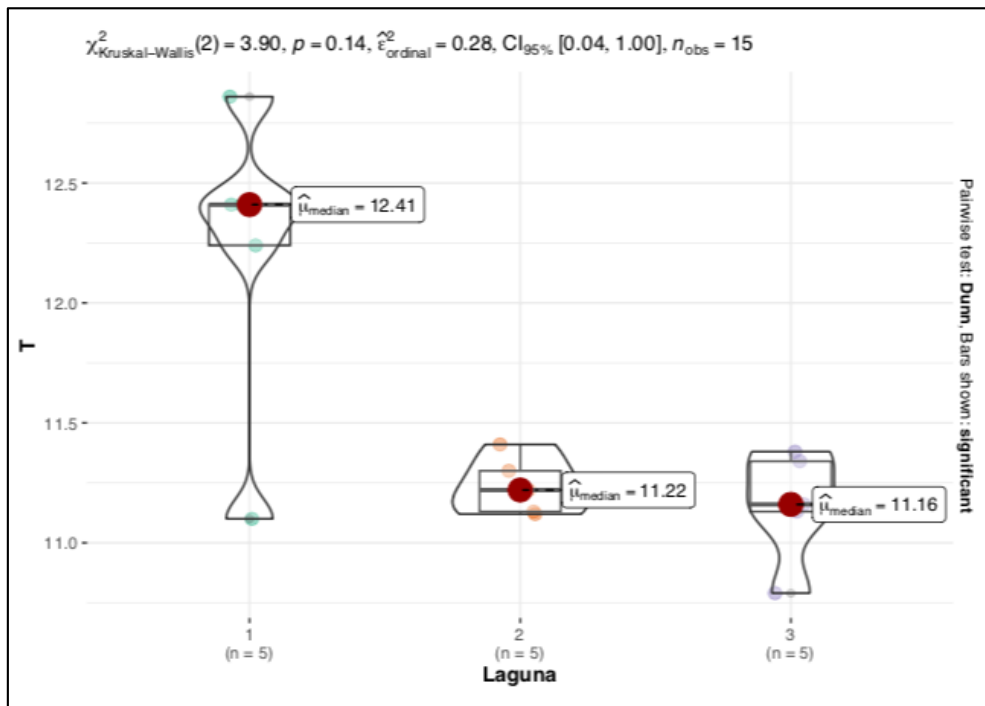
**Figura 5.** Análisis de varianza aplicado a la conductividad de los cuerpos de agua estudiados



### 6.3.3. Temperatura

De acuerdo al análisis ANOVA no paramétrico se puede establecer que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las lagunas estudiadas ( $p > 0.05$ ). Por tanto, el promedio de la temperatura es similar en las tres lagunas (Figura 4).

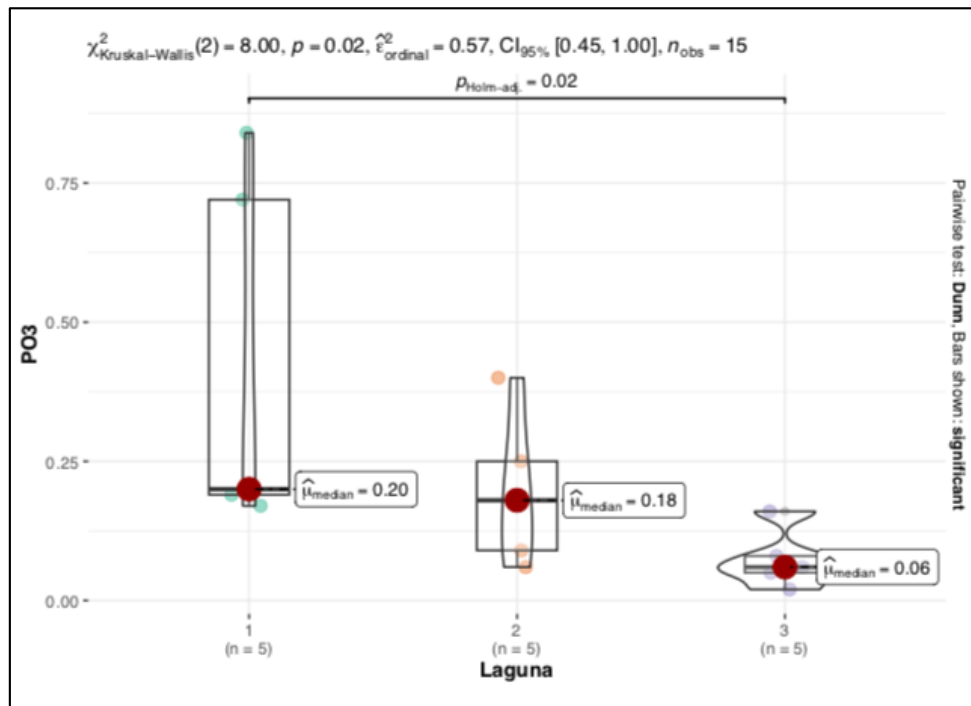
**Figura 6.** Análisis de varianza aplicado a la temperatura (°C) de los cuerpos de agua estudiados.



#### 6.3.4. Fosfato

El análisis ANOVA no paramétrico reveló diferencias estadísticamente significativas entre las lagunas ( $p < 0.05$ ). Esto indica que el valor promedio del fosfato varía entre las tres lagunas estudiadas. Las comparaciones por pares mostraron que la laguna '1' presentó el mayor promedio de fosfato, seguida de la laguna '2' y la laguna '3' (Figura 5). Es importante mencionar que el análisis no se aplicó a la variable de nitratos, ya que el método utilizado para medir sus concentraciones no proporcionó resultados específicos.

**Figura 7.** Análisis de varianza aplicado al fosfato de los cuerpos de agua estudiados

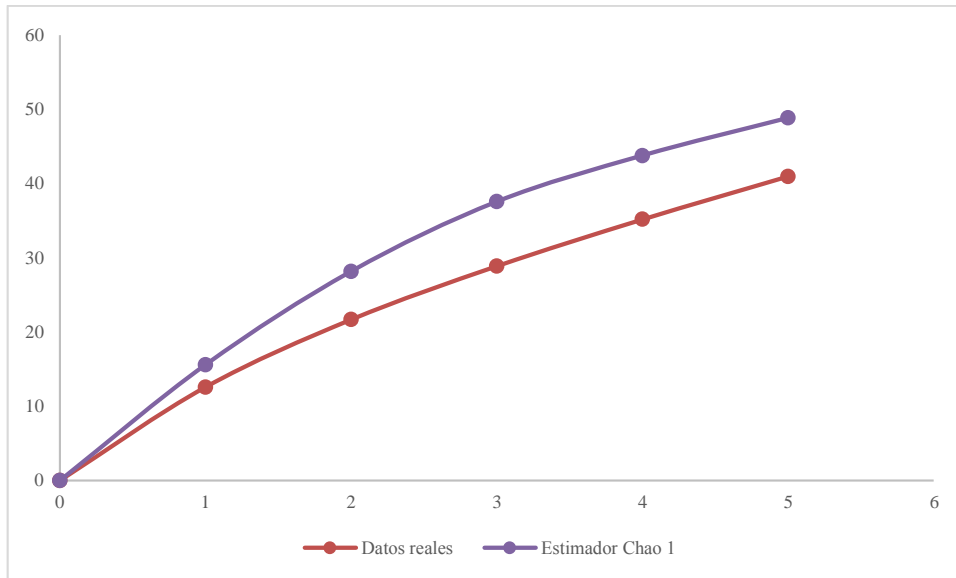


## 6.4. Composición y estructura del fitoplancton

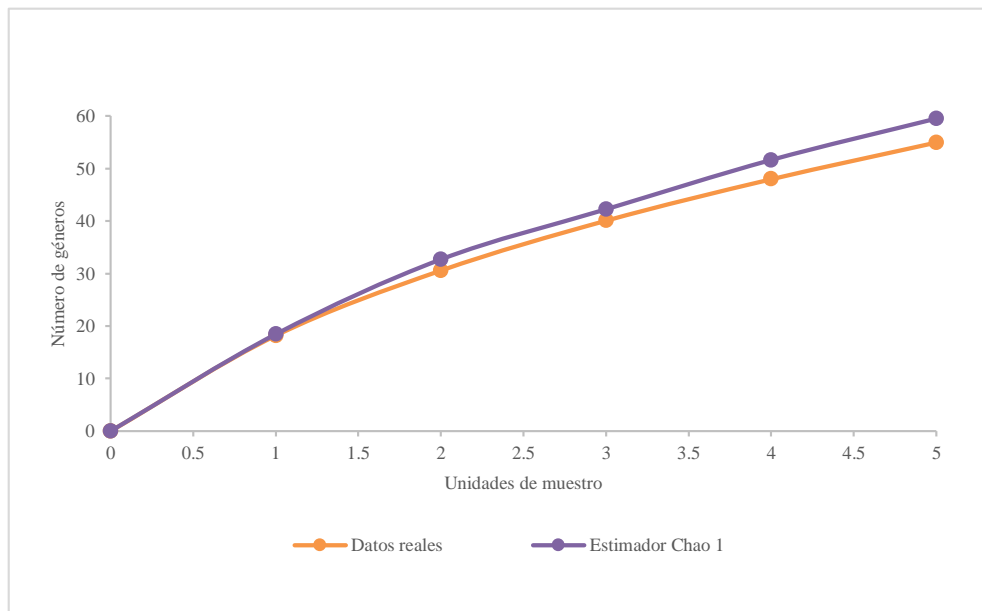
### 6.4.1. Curvas de acumulación de géneros

La curva de acumulación de géneros, basada en el estimador no paramétrico Chao 1 mostró una tendencia hacia una asíntota. La riqueza total esperada para la laguna 1 es de 49 géneros (Figura 8), mientras que, en la laguna 2 es de 60 géneros (Figura 7) y en la laguna 3 de 55 géneros (Figura 9). De tal forma se registró el 84 % de géneros para la laguna 1 (41 géneros), el 92% para la laguna 2 (55 géneros) y el 95 % para la laguna 3 (52 géneros), lo cual evidencia un muestreo eficiente (> 80%).

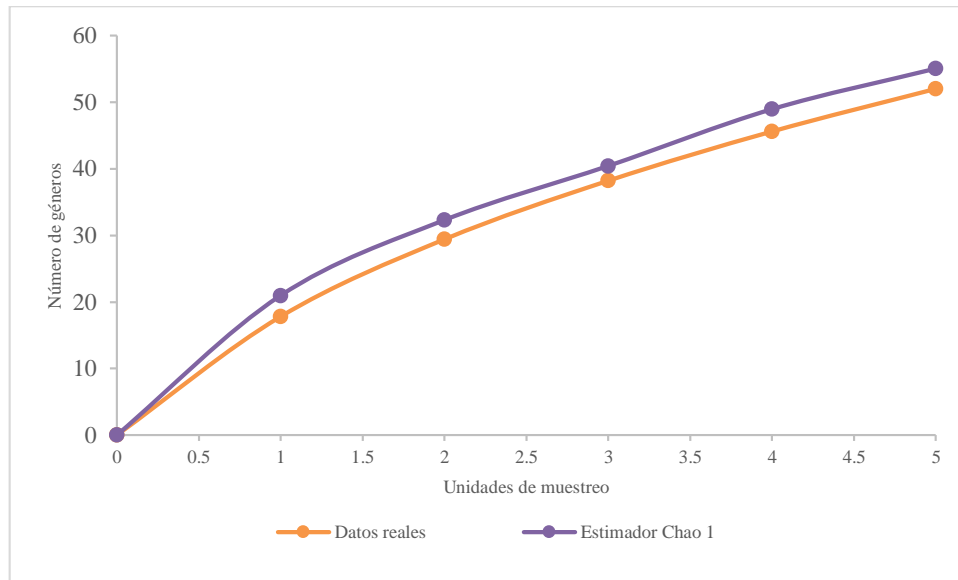
**Figura 8.** Curva de acumulación de géneros para la laguna 1, utilizando el estimador no paramétrico Chao 1



**Figura 9.** Curva de acumulación de géneros para la laguna 2, utilizando el estimador no paramétrico Chao 1



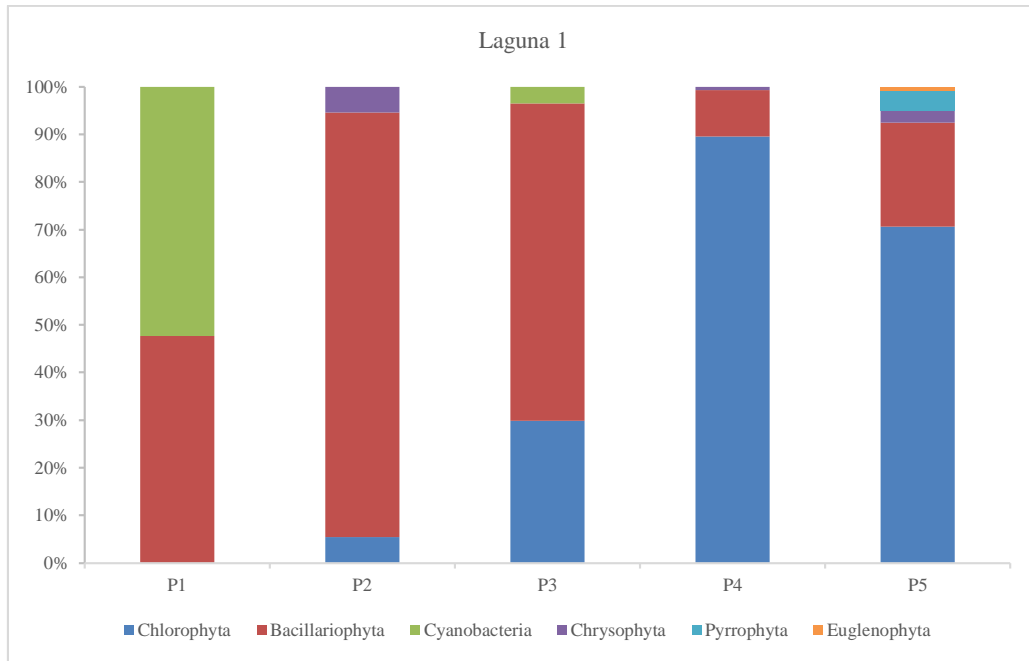
**Figura 10.** Curva de acumulación de géneros para la laguna 3, utilizando el estimador no paramétrico Chao 1



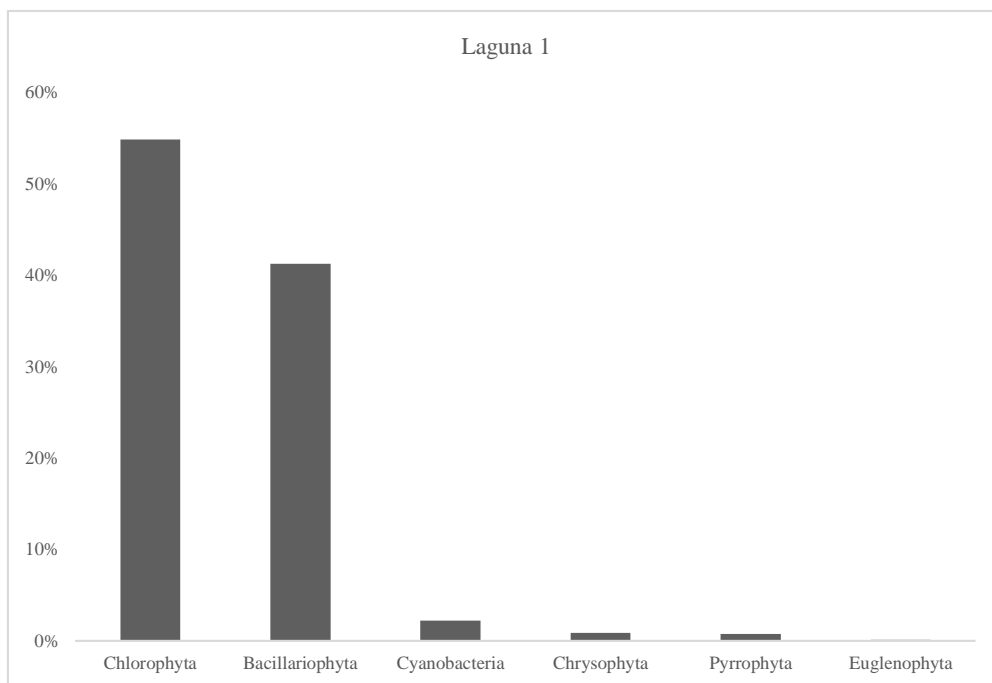
Respecto a la composición, la laguna 1 estuvo dominada por Chlorophyta, Bacillariophyta, Cyanobacteria, Chrysophyta y Phyrrophyta. La fracción de Chlorophyta aportó mayoritariamente a la estructura del fitoplancton con 26 (54,8%) géneros, luego Bacillariophyta con 25 (41,2%) y Cyanobacteria con 7 (2,2%) (Figura 10). En Chlorophyta, los géneros más abundantes y con mayor frecuencia de aparición fueron *Tribonema* sp., *Microspora* sp, y *Mougeotia* sp. En Bacillariophyta, *Asterionella* sp., predominó notablemente, y resultó frecuente *Frustulia saxónica*, así como *Frustulia* sp.1., y *Frustulia* sp.3. Las Cyanobacterias estuvieron representadas, principalmente, por los géneros *Chroococcus* sp.1 y sp.2, al igual que Chrysophyta y los Euglenophyta, por *Mallomonas* sp., y el género *Trachelomonas* sp., respectivamente (Tabla 4).

La abundancia en la comunidad fitoplanctónica de la laguna 1 evidencia que los muestreos en los hábitats P3M, P4E y P5S presentaron un alta número de células (824, 585 y 320 células observadas) (Tabla 4).

**Figura 11.** Densidad total de los phyla correspondientes a la comunidad fitoplanctónica en la laguna 1 de los diferentes hábitats muestreados. Se indican también las densidades totales por laguna



**Figura 12.** Densidad total por laguna diferentes hábitats muestreados



**Tabla 4.** Listado de taxones encontrados en la laguna 1 del sistema lacustre Tres Lagunas en los diferentes hábitats evaluados.

Phylum	Género	Nro. Cel.	P1	P2E	P3M	P4E	P5S
Bacillariophyta	<i>Actinella</i> sp.	7	0	0	7	0	0
Bacillariophyta	<i>Asterionella</i> sp.	602	0	52	485	27	38
Bacillariophyta	<i>Diatomea céntrica</i>	1	0	0	0	1	0
Bacillariophyta	<i>Eunotia</i> sp.2	3	0	0	3	0	0
Bacillariophyta	<i>Eunotia</i> sp.1	21	0	3	7	6	5
Bacillariophyta	<i>Eunotia</i> sp.	2	0	1	0	0	1
Bacillariophyta	<i>Frustulia vulgaris</i>	8	8	0	0	0	0
Bacillariophyta	<i>Frustulia</i> sp.1	28	0	6	8	0	14
Bacillariophyta	<i>Frustulia</i> sp.3	15	1	3	0	0	11
Bacillariophyta	<i>Frustulia</i> sp.5	1	1	0	0	0	0
Bacillariophyta	<i>Frustulia saxónica</i>	30	0	0	26	3	1
Bacillariophyta	<i>Nitzschia</i> sp.	1	0	0	1	0	0
Bacillariophyta	<i>Pinnularia</i> sp.	3	0	0	0	3	0
Bacillariophyta	<i>Tabellaria</i> sp.	7	0	0	3	4	0
Bacillariophyta	<i>Ulnaria</i> sp.	2	0	0	0	2	0
Bacillariophyta	<i>Stenopterobia</i> sp.	3	0	0	0	3	0
Bacillariophyta		3	0	0	0	3	0
Bacillariophyta		1	0	0	1	0	0
Bacillariophyta		1	0	0	0	1	0
Bacillariophyta		2	0	0	0	2	0
Bacillariophyta		3	0	1	2	0	0
Bacillariophyta		4	0	0	4	0	0
Bacillariophyta		2	0	0	2	0	0
Bacillariophyta		1	0	0	0	1	0
Bacillariophyta		1	0	0	0	1	0
Chlorophyta	<i>Botryococcus</i> sp.	1	0	0	1	0	0
Chlorophyta	<i>Closterium</i> sp.	2	0	0	0	2	0
Chlorophyta	<i>Closterium</i> sp.1	3	0	0	0	0	3
Chlorophyta	<i>Closterium</i> sp.2	3	0	0	3	0	0
Chlorophyta	<i>Cosmarium</i> sp.	1	0	1	0	0	0
Chlorophyta	<i>Cosmarium</i> sp.1	1	0	0	0	0	1
Chlorophyta	<i>Desmodesmus</i> sp.	1	0	0	1	0	0
Chlorophyta	<i>Euastrum</i> sp.	2	0	0	2	0	0
Chlorophyta	<i>Microspora</i> sp.	120	0	0	0	120	0
Chlorophyta	<i>Mougeotia</i> sp.	98	0	3	36	51	8
Chlorophyta	<i>Netrium</i> sp.	3	0	0	3	0	0

Chlorophyta	<i>Oedogonium</i> sp.	5	0	0	5	0	0
Chlorophyta	<i>Tribonema</i> sp.	503	0	0	0	339	164
Chlorophyta	<i>Spirogyra</i> sp.	20	0	0	20	0	0
Chlorophyta	<i>Staurastrum</i> sp.1	1	0	0	0	0	1
Chlorophyta	<i>Staurastrum</i> sp.2	1	0	0	0	0	1
Chlorophyta	<i>Staurodesmus</i> sp.3	7	0	0	6	1	0
Chlorophyta	<i>Staurodesmus</i> sp.2	2	0	0	1	1	0
Chlorophyta		3	0	0	3	0	0
Chlorophyta		56	0	0	56	0	0
Chlorophyta		1	0	0	1	0	0
Chlorophyta		17	0	0	17	0	0
Chlorophyta		10	0	0	0	10	0
Chlorophyta		9	0	0	0	0	9
Chlorophyta		39	0	0	0	0	39
Chlorophyta		91	0	0	91	0	0
Chrysophyta	<i>Dynobrium</i> sp.	1	0	0	0	0	1
Chrysophyta	<i>Mallomonas</i> sp.	15	0	4	0	4	7
Cyanobacteria	<i>Chroococcus</i> sp.1	3	0	0	3	0	0
Cyanobacteria	<i>Chroococcus</i> sp.2	1	0	0	1	0	0
Cyanobacteria	<i>Merismopedia</i> sp.	3	0	0	3	0	0
Cyanobacteria		3	0	0	3	0	0
Cyanobacteria		3	0	0	3	0	0
Cyanobacteria		3	0	0	3	0	0
Cyanobacteria		24	11	0	13	0	0
Dinoflagellate	<i>Peridinium</i> sp.	14	0	0	0	0	14
Euglenophyta	<i>Trachelomonas</i> sp.	2	0	0	0	0	2

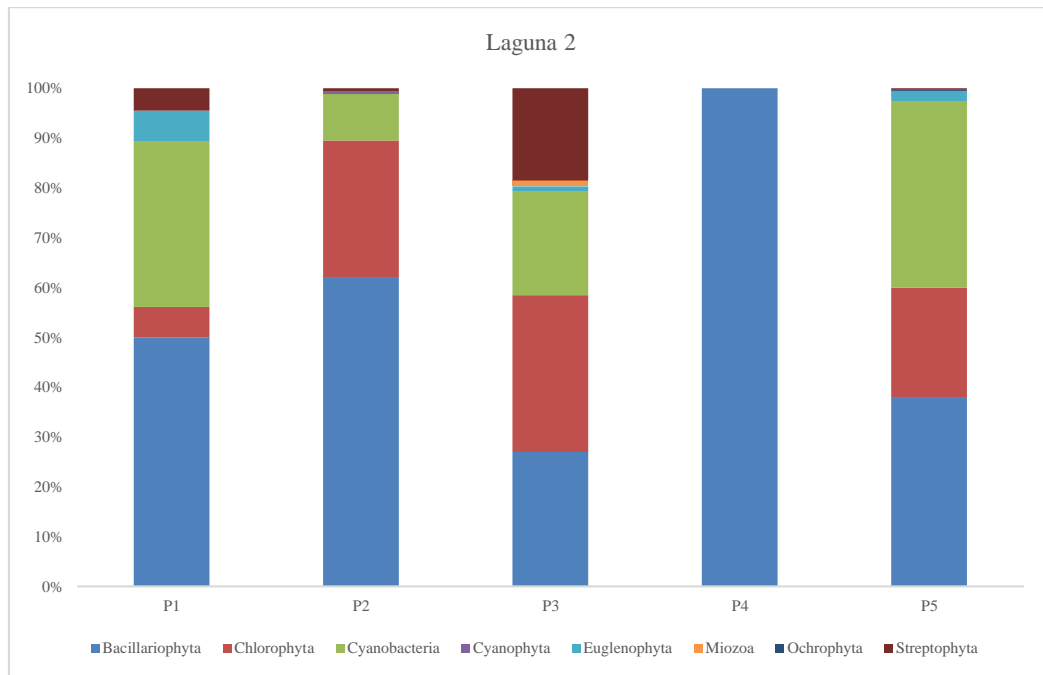
Nota: (PE= punto de muestreo con entrada de agua, PM= punto de muestreo con presencia de macrófitas, PS= punto de muestreo con salida de agua, P= punto de muestreo en aguas abiertas).

Para la laguna 2 (Figura 13 y 14) estuvo compuesta por 8 phyla (Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanobacteria, Cyanophyta, Euglenophyta, Miozoa, Ochrophyta y Streptophyta). Siendo las más representativas Bacillariophyta con 19 géneros (56 %), Chlorophyta con 16 (26 %), Cyanobacteria con 5 (15 %) y Streptophyta (1 %). Los géneros más representativos fueron *Eunotia* sp., *Frustulia* sp.1, *Cylindrocystis* sp.6, *Synechococcus* sp., *Anabaena* sp., *Trachelomonas* sp. (Tabla 5).

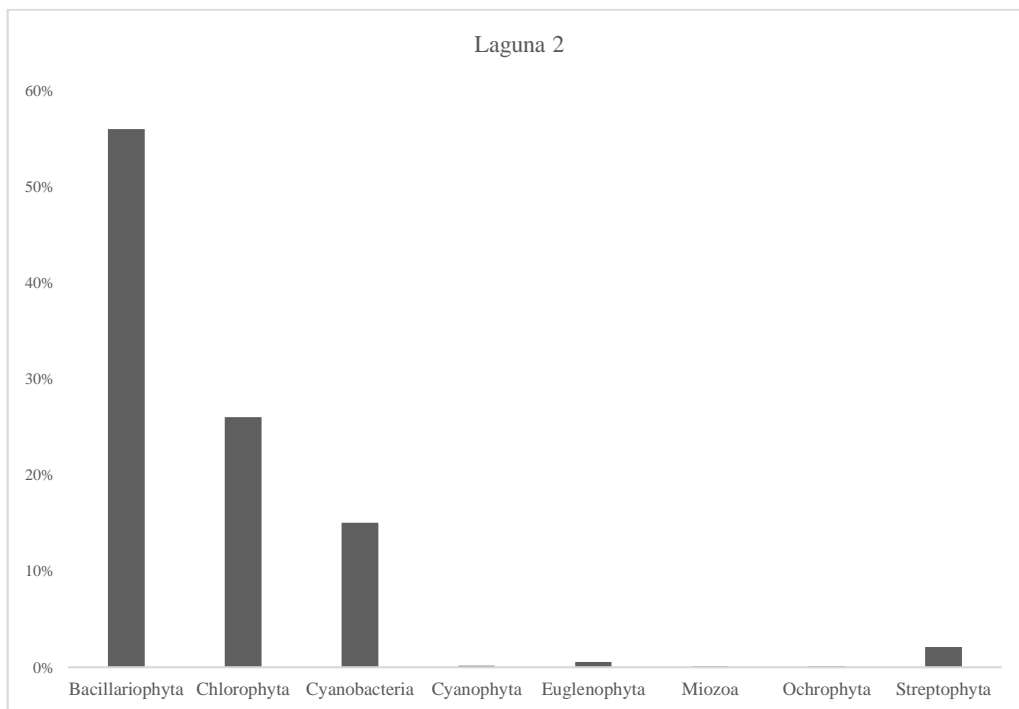
La abundancia en la comunidad fitoplanctónica de la laguna 2 indica que los muestreos en los hábitats P2M, P3 y P5 presentaron una alta densidad de fitoplancton (1742, 178 y 347 células observadas) (Anexo 3).



**Figura 13.** Densidad total de los phyla correspondientes a la comunidad fitoplanctónica en la laguna 2 de los diferentes hábitats muestreados.



**Figura 14.** Densidades totales por laguna



**Tabla 4.** Listado de taxones encontrados en la laguna 2 del sistema lacustre Tres Lagunas en los diferentes hábitats evaluados

Phylum	Género	Nro. Cel.	P1E	P2M	P3	P4S	P5
Bacillariophyta	<i>Asterionella formosa</i>	833	9	802	0	8	14
Bacillariophyta	<i>Asterionella</i> sp.	15	0	15	0	0	0
Bacillariophyta	<i>Diatomea céntrica</i>	67	0	54	13	0	0
Bacillariophyta	<i>Eunotia</i> sp.1	1	0	0	1	0	0
Bacillariophyta	<i>Eunotia</i> sp.2	25	0	2	1	4	18
Bacillariophyta	<i>Eunotia</i> sp.3	35	0	35	0	0	0
Bacillariophyta	<i>Eunotia</i> sp.4	17	0	6	0	0	11
Bacillariophyta	<i>Eunotia</i> sp.5	3	0	0	2	0	1
Bacillariophyta	<i>Eunotia</i> sp.6	20	0	0	3	2	15
Bacillariophyta	<i>Eunotia</i> sp.	40	0	6	5	2	27
Bacillariophyta	<i>Fragilaria</i> sp.	3	1	0	1	0	1
Bacillariophyta	<i>Frustulia</i> sp.	100	9	37	1	9	44
Bacillariophyta	<i>Frustulia</i> sp.1	11	0	1	8	2	0
Bacillariophyta	<i>Melosira</i> sp.	10	10	0	0	0	0
Bacillariophyta	<i>Nitzschia</i> sp.	12	0	9	2	0	1
Bacillariophyta	<i>Pinnularia</i> sp.	23	0	12	11	0	0
Bacillariophyta	<i>Tabellaria</i> sp.	3	0	3	0	0	0
Bacillariophyta	<i>Tabellaria flocculosa</i>	99	1	98	0	0	0
Bacillariophyta	<i>Ulnaria</i> sp.	3	3	0	0	0	0
Bacillariophyta		1	0	1	0	0	0
Chlorophyta	<i>Auxospore</i> sp.	2	0	0	2	0	0
Chlorophyta	<i>Bambusina</i> sp.	1	0	1	0	0	0
Chlorophyta	<i>Bambusina</i> sp.1	192	0	192	0	0	0
Chlorophyta	<i>Chroococcus</i> sp.	2	0	0	0	0	2
Chlorophyta	<i>Cosmarium</i> sp.	2	0	2	0	0	0
Chlorophyta	<i>Euastrum</i> sp.	8	0	8	0	0	0
Chlorophyta	<i>Microspora</i> sp.1	1	1	0	0	0	0
Chlorophyta	<i>Microspora</i> sp.	72	0	0	0	0	72
Chlorophyta	<i>Mougeotia</i> sp.	20	0	19	1	0	0
Chlorophyta	<i>Oocystis solitaria</i>	26	2	19	5	0	0
Chlorophyta	<i>Oocystis</i> sp.1	20	0	12	8	0	0
Chlorophyta	<i>Oocystis</i> sp.2	2	0	0	0	0	2
Chlorophyta	<i>Tetmemorus</i> sp.1	1	0	1	0	0	0
Chlorophyta	<i>Tetmemorus</i> sp.2	2	0	2	0	0	0
Chlorophyta	<i>Tolypothrix</i> sp.	1	0	0	1	0	0
Chlorophyta	<i>Ulothrix</i> sp.	201	0	201	0	0	0

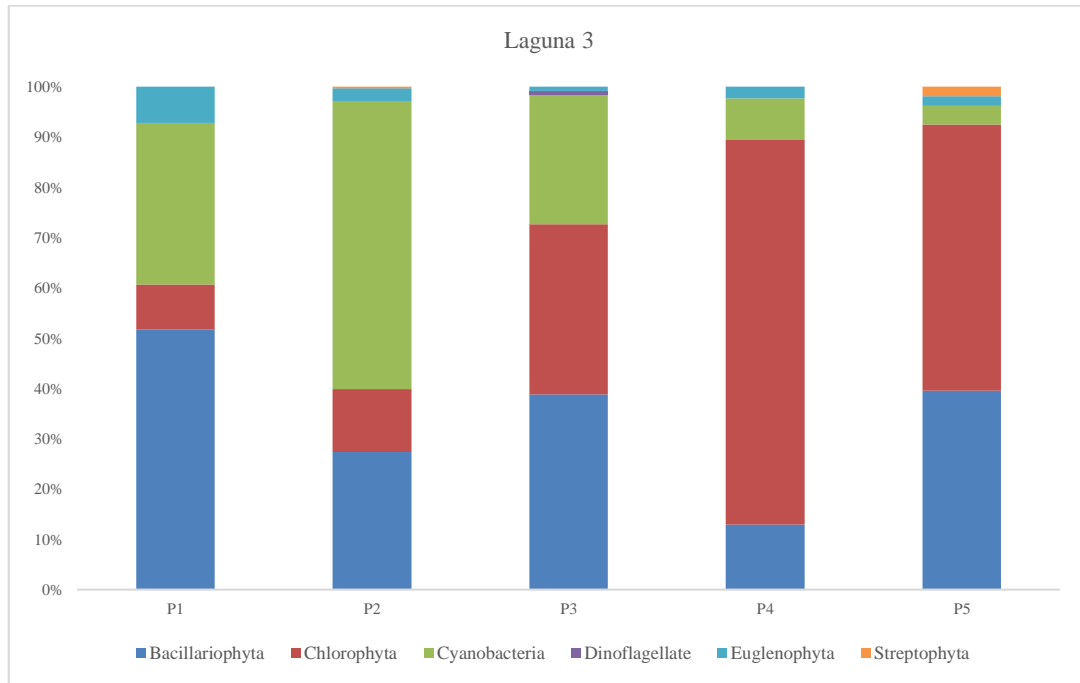
Chlorophyta		21	0	21	0	0	0
Chlorophyta		39	0	0	39	0	0
Chlorophyta		1	1	0	0	0	0
Cyanobacteria	<i>Limnococcus dispersus</i>	4	0	0	4	0	0
Cyanobacteria	<i>Phormidium</i> sp.	2	0	2	0	0	0
Cyanobacteria	<i>Pseudanabaena</i> sp.	33	0	0	33	0	0
Cyanobacteria	<i>Pseudanabaena</i> sp.2	246	22	163	0	0	61
Cyanobacteria	<i>Pseudanabaena</i> sp.1	69	0	0	0	0	69
Cyanobacteria		1	0	1	0	0	0
Cyanophyta	<i>Phormidium</i> sp.	4	0	4	0	0	0
Euglenophyta	<i>Trachelomonas</i> sp.	12	3	0	2	0	7
Euglenophyta	<i>Phacus</i> sp.	1	1	0	0	0	0
Miozoa	<i>Peridinium</i> sp.	2	0	0	2	0	0
Ochrophyta	<i>Mallomonas</i> sp.1	1	0	0	0	0	1
Ochrophyta	<i>Mallomonas</i> sp.2	1	0	1	0	0	0
Streptophyta	<i>Euastrum</i> sp.	2	0	2	0	0	0
Streptophyta	<i>Mesotaenium</i> sp.2	2	0	0	2	0	0
Streptophyta	<i>Mesotaenium</i> sp.3	5	3	0	2	0	0
Streptophyta	<i>Mesotaenium</i> sp.4	4	0	0	4	0	0
Streptophyta	<i>Mesotaenium</i> sp.	4	0	3	1	0	0
Streptophyta	<i>Staurastrum</i> sp.1	1	0	1	0	0	0
Streptophyta	<i>Staurastrum</i> sp.2	1	0	1	0	0	0
Streptophyta	<i>Staurastrum</i> sp.3	5	0	5	0	0	0
Streptophyta	<i>Zygnema</i> sp.	24	0	0	24	0	0
Streptophyta		1	0	0	0	0	1

Nota: PE= punto de muestreo con entrada de agua, PM= punto de muestreo con presencia de macrófitas, PS= punto de muestreo con salida de agua, P= punto de muestreo en aguas abiertas.

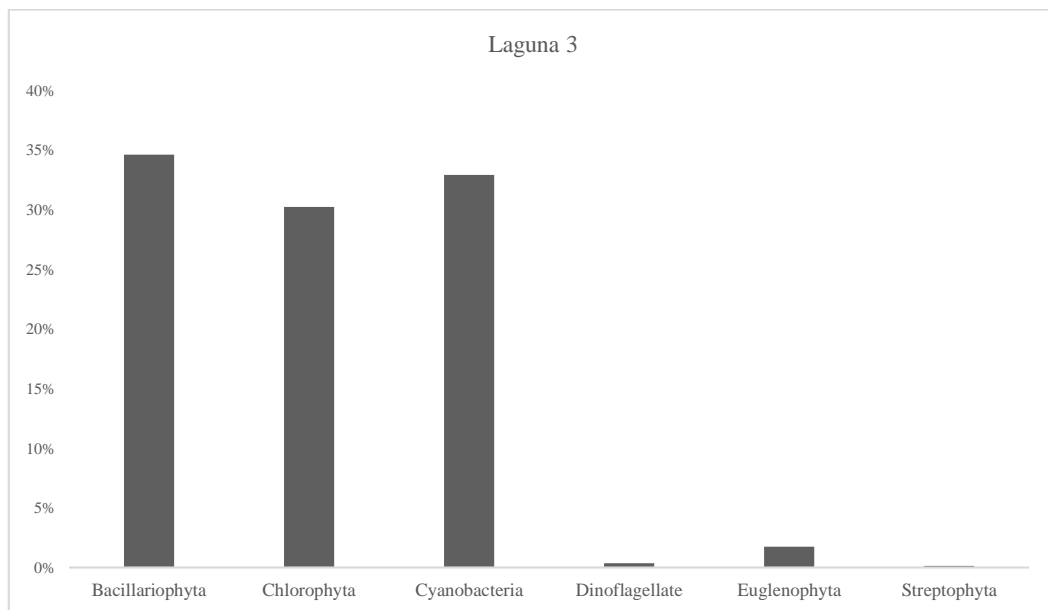
En la Laguna 3 la comunidad fitoplanctónica presentó una composición de seis phyla (Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanobacteria, Pyrrophyta, Euglenophyta y Streptophyta), Bacillariophyta aportó mayoritariamente a la estructura del fitoplancton con 21 géneros (34,6%), luego Cyanobacteria con 5 (32,9%), Chlorophyta con 23 (30,2%), y Euglenophyta 2 (1,7%) (Figura 15 y 16). Los géneros más representativos fueron *Asterionella* sp., *Frustulia* sp., *Tabellaria* sp., *Bambusina* sp.1, *Ulothrix* sp., *Pseudanabaena* sp.2, y *Zygnema* sp. *Actinastrum* sp. (Tabla 5).

La abundancia en la comunidad fitoplanctónica de la laguna 3 evidencia que los muestreos en los hábitats P2, P3E y P4M presentaron un alto número de células fitoplanctónicas (383, 796 y 85 células observadas) (Tabla 5).

**Figura 15.** Densidad total de los phyla correspondientes a la comunidad fitoplanctónica en la laguna 3 de los diferentes hábitats muestreados.



**Figura 16.** Se indican también las densidades totales por laguna.



**Tabla 5.** Listado de taxones encontrados en la laguna 3 del sistema lacustre Tres Lagunas en los diferentes hábitats evaluados

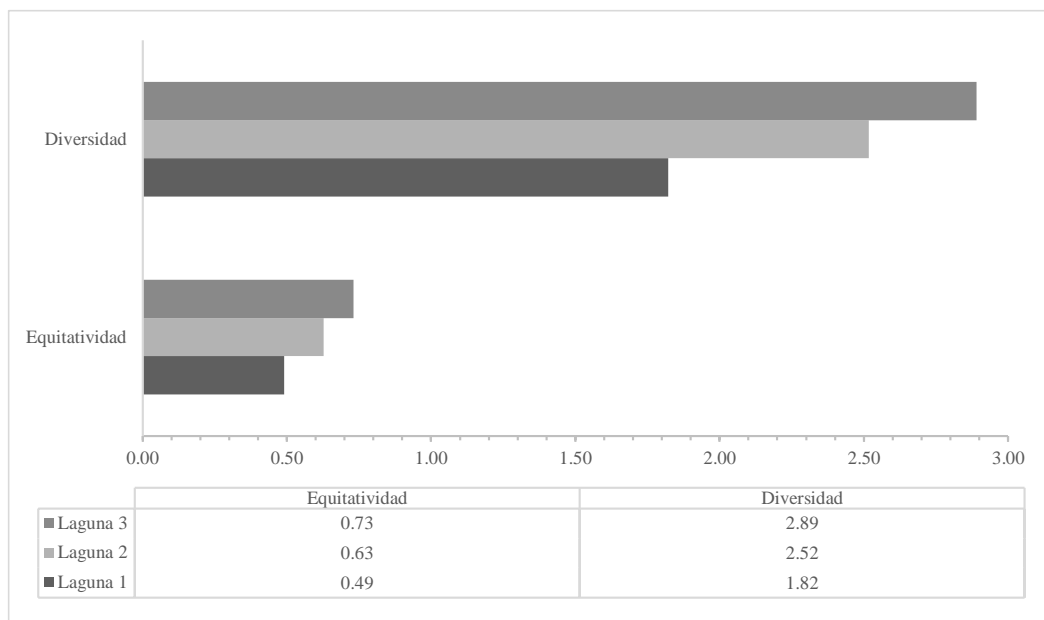
Phylum	Género	Nro. Cel.	P1S	P2	P3E	P4M	P5
Bacillariophyta	<i>Achnantheidium</i> sp.	5	0	4	0	1	0
Bacillariophyta	<i>Actinella</i> sp.	1	0	0	0	1	0
Bacillariophyta	<i>Asterionella</i> sp.	12	6	0	0	0	6
Bacillariophyta	<i>Brachysira</i> sp.	3	0	3	0	0	0
Bacillariophyta	<i>Eunotia</i> sp.1	17	0	6	11	0	0
Bacillariophyta	<i>Eunotia</i> sp.2	22	3	0	19	0	0
Bacillariophyta	<i>Eunotia</i> sp.3	1	0	0	1	0	0
Bacillariophyta	<i>Eunotia</i> sp.	61	0	20	39	2	0
Bacillariophyta	<i>Fragilaria</i> sp.	57	0	0	57	0	0
Bacillariophyta	<i>Frustulia</i> sp.	48	6	23	14	1	4
Bacillariophyta	<i>Frustulia</i> sp.1	57	0	0	57	0	0
Bacillariophyta	<i>Navicula</i> sp.1	1	0	0	0	1	0
Bacillariophyta	<i>Nitzschia</i> sp.1	5	1	0	2	1	1
Bacillariophyta	<i>Nitzschia</i> sp.2	2	2	0	0	0	0
Bacillariophyta	<i>Nitzschia</i> sp.4	22	2	11	9	0	0
Bacillariophyta	<i>Nitzschia</i> sp.	20	0	0	19	1	0
Bacillariophyta	<i>Melosira</i> sp.	2	0	0	0	0	2
Bacillariophyta	<i>Pinnularia</i> sp.1	1	0	1	0	0	0
Bacillariophyta	<i>Pinnularia</i> sp.2	8	0	8	0	0	0
Bacillariophyta	<i>Pinnularia</i> sp.	9	5	1	0	1	2
Bacillariophyta	<i>Ulnaria</i> sp.	36	0	16	14	2	4
Bacillariophyta		85	4	12	67	0	2
Chlorophyta	<i>Auxospore Ulnaria</i>	12	0	0	12	0	0
Chlorophyta	<i>Bulbochaeta</i> sp.	3	0	0	0	0	3
Chlorophyta	<i>Chlamidomonas</i> sp.	7	0	5	0	2	0
Chlorophyta	<i>Chlorella</i> sp.	43	0	0	43	0	0
Chlorophyta	<i>Cladophora</i> sp.	5	0	1	4	0	0
Chlorophyta	<i>Cosmarium</i> sp.	2	0	0	0	2	0
Chlorophyta	<i>Cylindrocystis</i> sp.2	9	0	0	9	0	0
Chlorophyta	<i>Cylindrocystis</i> sp.1	6	0	0	6	0	0
Chlorophyta	<i>Cylindrocystis</i> sp.3	4	0	0	4	0	0
Chlorophyta	<i>Cylindrocystis</i> sp.4	4	0	0	4	0	0
Chlorophyta	<i>Cylindrocystis</i> sp.5	2	2	0	0	0	0

Chlorophyta	<i>Cylindrocystis</i> sp.6	4	0	0	4	0	0
Chlorophyta	<i>Cylindrocystis</i> sp.	26	0	10	15	1	0
Chlorophyta	<i>Muogeotia</i> sp.	17	0	6	11	0	0
Chlorophyta	<i>Oedogonium</i> sp.	43	0	0	42	0	1
Chlorophyta	<i>Oocystis</i> sp.	3	0	0	0	0	3
Chlorophyta	<i>Cylindrocapsa</i> sp.	1	0	0	1	0	0
Chlorophyta	<i>Penium</i> sp.	11	0	0	0	0	11
Chlorophyta	<i>Schizogonium</i> sp.	33	0	0	0	33	0
Chlorophyta	<i>Radiofilum</i> sp.	3	0	0	3	0	0
Chlorophyta	<i>Tetmemorus</i> sp.	27	0	0	0	27	0
Chlorophyta	<i>Ulothrix</i> sp.	20	0	20	0	0	0
Chlorophyta		130	3	6	111	0	10
Cyanobacteria	<i>Anabaena</i> sp.	52	0	0	52	0	0
Cyanobacteria	<i>Chroococcus</i> sp.	1	1	0	0	0	0
Cyanobacteria	<i>Gloeocaps</i> sp.	1	0	0	0	0	1
Cyanobacteria	<i>Planktothrix</i> sp.	2	0	0	0	2	0
Cyanobacteria	<i>Synechococcus</i> sp.	374	1	216	154	3	0
Cyanobacteria		22	16	3	0	2	1
Dinoflagellate	<i>Peridinium</i> sp.	5	0	0	5	0	0
Euglenophyta	<i>Phacus</i> sp.	11	4	6	0	1	0
Euglenophyta	<i>Trachelomonas</i> sp.	13	0	4	7	1	1
Streptophyta	<i>Mesotaenium</i> sp.	2	0	1	0	0	1

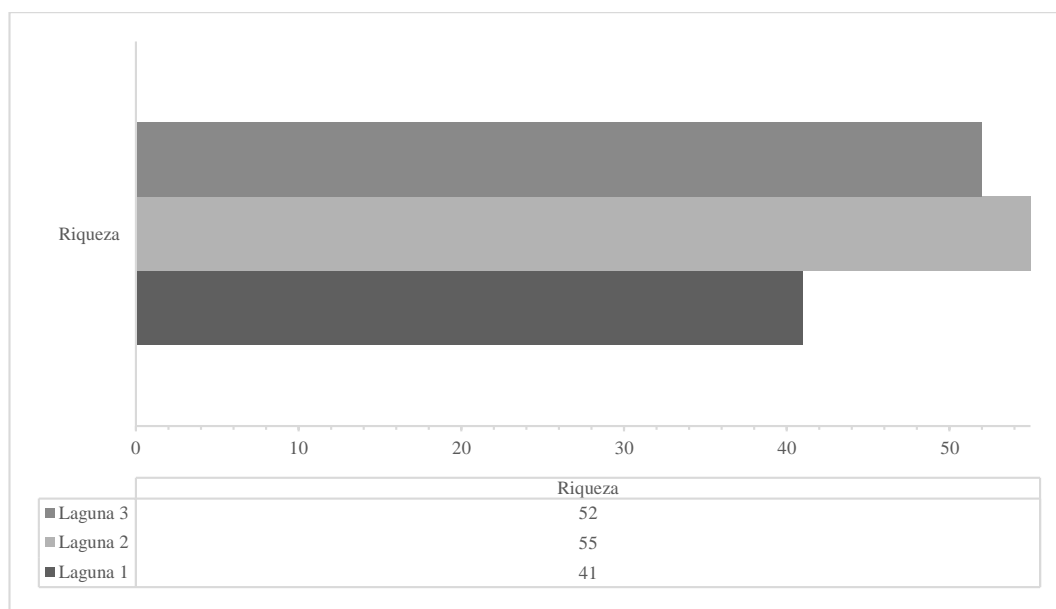
Nota: PE= punto de muestreo con entrada de agua, PM= punto de muestreo con presencia de macrófitas, PS= punto de muestreo con salida de agua, P= punto de muestreo en aguas abiertas.

En relación a los índices estudiados la Figura 17, muestra que la laguna 3 presentó la mayor diversidad ( $H'=2.89$ ) y equitatividad ( $J'=0.73$ ) de géneros, seguida por la laguna dos y uno. En cuanto a la riqueza, esta fue más alta en la laguna 2 y algo menor en la laguna 3, mientras que la laguna 1 exhibió la menor riqueza (Figura 18).

**Figura 17.** Índices de equitatividad, diversidad por lagunas



**Figura 18.** Riqueza detectada por lagunas

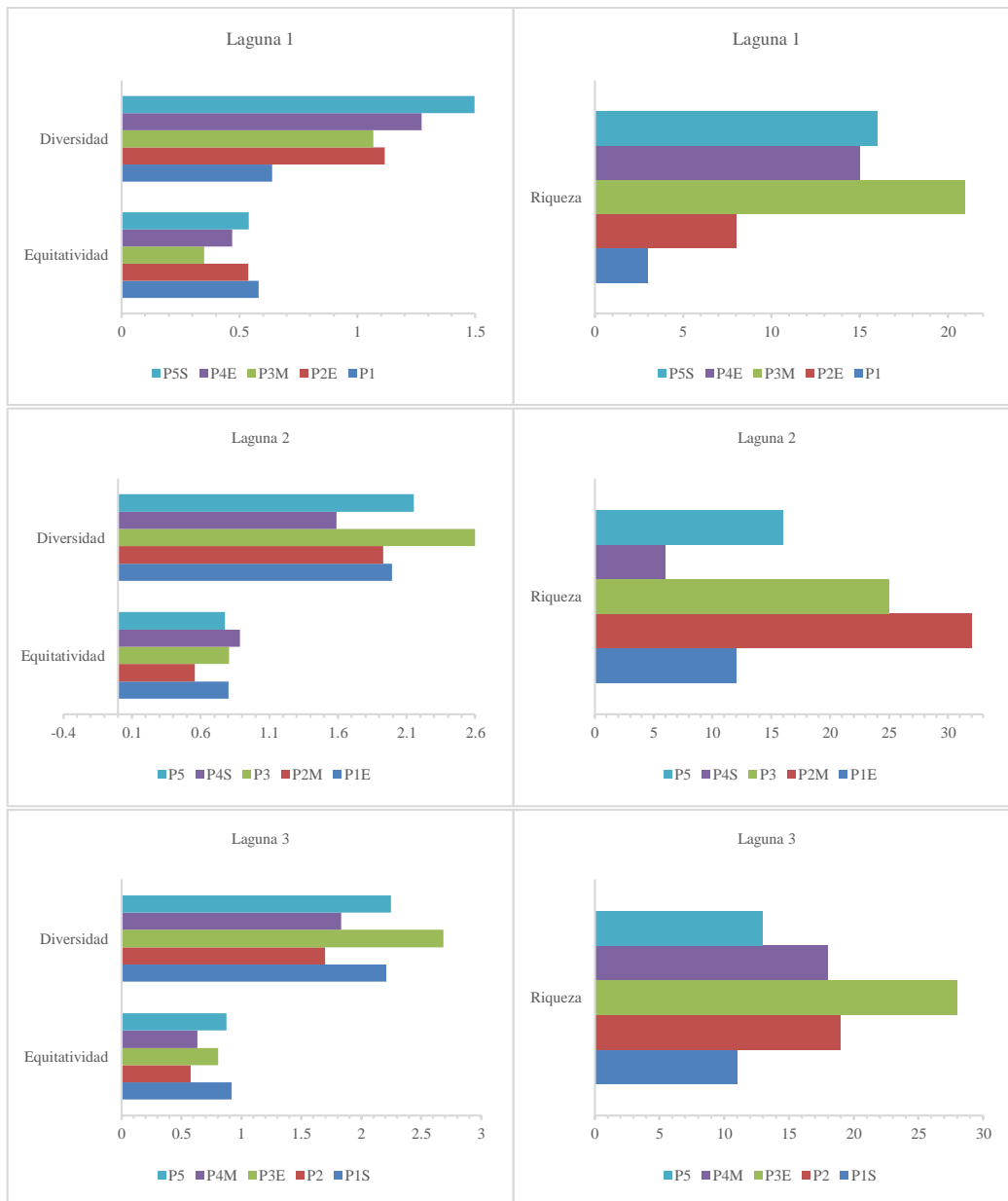


#### **6.4.2. Riqueza, diversidad y equitatividad en los hábitats de las lagunas evaluadas**

En la laguna 1, las muestras recolectadas en los hábitats con vegetación macrófita, así como en las áreas con entradas y salidas de agua, mostraron una mayor riqueza, diversidad y equitatividad de géneros en comparación con las muestras obtenidas en el entorno de aguas

abiertas, donde los valores de estos índices fueron bajos. Por otro lado, en las lagunas 2 y 3, se observó una mayor uniformidad en los índices en todos los hábitats muestreados (Figura 15).

**Figura 15.** Índices de equitatividad, diversidad y riqueza por hábitats en las tres lagunas de estudio



Nota: (PE= punto de muestreo con entrada de agua, PM= punto de muestreo con presencia de macrófitas, PS= punto de muestreo con salida de agua, P= punto de muestreo en aguas abiertas).

El análisis de las relaciones entre las variables fisicoquímicas y la estructura de la comunidad de fitoplancton en las lagunas altoandinas revela importantes correlaciones. Las



aguas ácidas (pH 3.39 – 4.73) y frías (11.16 – 12.20 °C) con baja conductividad (2.80 – 4.20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) influyen directamente en la composición y abundancia del fitoplancton. Por ejemplo, altos niveles de fosfatos en la laguna 1 (0.17 - 0.84 mg/L) están asociados con una mayor riqueza de géneros de Chlorophyta y Bacillariophyta, indicando que la disponibilidad de nutrientes es un factor clave para el crecimiento de estos microorganismos. Además, la presencia de macrófitas y la ubicación de los puntos de entrada y salida de agua también afectan la distribución de las comunidades fitoplanctónicas, proporcionando hábitats específicos que favorecen diferentes grupos taxonómicos. En resumen, la variabilidad en las condiciones fisicoquímicas, como el pH, la temperatura, la conductividad y la concentración de nutrientes, determina la estructura y dinámica de la comunidad de fitoplancton, reflejando la salud y el estado ecológico de estos ecosistemas acuáticos.

## 7. Discusión

Los resultados de este estudio revelan la influencia significativa de las variables fisicoquímicas en la estructura de la comunidad de fitoplancton en las lagunas altoandinas. Las aguas ácidas (pH 3.39 – 4.73), frías (11.16 – 12.20 °C) y de baja conductividad (2.80 – 4.20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), combinadas con niveles variables de fosfatos, particularmente elevados en la laguna 1, demostraron ser factores determinantes en la composición y diversidad del fitoplancton. La mayor riqueza y diversidad de géneros en la laguna 1 se relaciona con la disponibilidad de nutrientes, destacándose Chlorophyta y Bacillariophyta como los grupos predominantes.

En cuanto al pH, se observaron diferencias que podrían estar influenciadas por procesos naturales y actividades humanas (Gomez, 2024). Estos niveles pueden afectar directamente la solubilidad y disponibilidad de nutrientes, alterando así la composición de las comunidades bióticas (Silva, 2022). El oxígeno disuelto es crucial para la salud ecológica del agua y la supervivencia de especies acuáticas. En relación a las variaciones observadas pueden deberse a factores como la temperatura del agua y la actividad fotosintética del fitoplancton (Rivera, 2023).

La conductividad eléctrica, influenciada por la concentración de iones disueltos, es sensible a la entrada de flujos contaminantes y cambios en la composición química del agua (Hernández et al., 2020). En cuanto a la temperatura del agua, afecta los procesos metabólicos

de los organismos acuáticos y su cinética química, atribuible a factores climáticos y humanos (Rivera, 2023). El fosfato es esencial para el crecimiento del fitoplancton, y sus variaciones en concentración a menudo se asocian con actividades agrícolas y tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, en áreas donde estas actividades no están presentes, es importante considerar otras fuentes de variación. Factores como la temperatura, el pH del agua y la descomposición de materia orgánica, como la muerte de animales en los alrededores, pueden influir significativamente en los niveles de fosfato (Baffico, 2021).

De acuerdo a lo mencionado por Gibbons y Bridgeman (2020) la liberación de fosfatos de los sedimentos puede verse afectada por la temperatura del agua esta puede aumentar la liberación de fósforo debido a una mayor actividad microbiana y la descomposición de materia orgánica. Además, el pH puede afectar la solubilidad del fósforo; en condiciones de pH bajo o alto, el fósforo puede estar más disponible en el agua. Además, la descomposición de materia orgánica, como la muerte de animales cercanos, puede liberar fósforo al agua.

El análisis de varianza realizado revela diferencias estadísticamente significativas entre las lagunas, influenciadas por diversos factores ambientales y antropogénicos así lo manifiesta Hidalgo y Veintimilla, (2024).

Las especies predominantes de fitoplancton desempeñan un papel crucial en las interacciones alimenticias y en la salud general del ecosistema acuático, ya que su presencia puede indicar condiciones específicas del entorno y reflejar el estado general del ecosistema (Arias Cuasapaz y Arias Marín, 2024). La composición y estructura del fitoplancton en las lagunas estudiadas revela una notable diversidad biológica y una compleja organización ecológica en el sistema de Tres Lagunas, lo que resalta la influencia de factores ambientales, geográficos y antropogénicos en las comunidades acuáticas (Juárez, 2021). Un aumento en los niveles de nutrientes en el agua puede favorecer el crecimiento excesivo de ciertas variedades de fitoplancton, desencadenando desajustes en el equilibrio ecológico y afectando negativamente la biodiversidad y la calidad del agua (Blanco et al., 2020). Esto subraya la importancia de monitorear y gestionar adecuadamente los niveles de nutrientes para mantener la salud del ecosistema

El análisis determina que la composición del fitoplancton entre las distintas lagunas, una predominancia de grupos biológicos particulares como las diatomeas (*Bacillariophyta*) y las algas verdes (*Chlorophyta*) en ciertas lagunas (Albrecht, 2020). Estas disparidades pueden explicarse por fluctuaciones en las propiedades físicas y químicas del agua, como el pH, la temperatura y la disponibilidad de nutrientes (Baffico, 2021; Gomez, 2024). Las diatomeas, reconocidas por su capacidad para adaptarse a variaciones en la disponibilidad de nutrientes y temperatura, pueden prosperar en entornos con condiciones específicas, lo que puede explicar su prevalencia en ciertas lagunas.

Además de los factores ambientales, los aspectos antropogénicos también influyen en la distribución del fitoplancton. La contaminación derivada de la incorporación de nutrientes por acción humana puede promover el crecimiento excesivo de ciertas especies de fitoplancton provocando el proceso de eutrofización, dicho fenómeno puede alterar la estructura de la comunidad fitoplanctónica y perturbar el equilibrio ecológico del ecosistema acuático, que fue lo que se observó en la Laguna 1 (Ginez, 2021; Rodas y Vasquez, 2020).

El análisis de la composición fitoplanctónica revela una variedad significativa de especies y géneros presentes en estos ecosistemas acuáticos Albrecht (2020), señala la predominancia de ciertos grupos biológicos, como las diatomeas (*Bacillariophyta*) y las algas verdes (*Chlorophyta*) en algunas de las lagunas estudiadas, resaltando la complejidad de la composición fitoplanctónica y sugiere una influencia importante de los factores ambientales y geográficos en la distribución de estas comunidades acuáticas.

En la comparación de las comunidades de fitoplancton entre las lagunas estudiadas revela una notable diversidad taxonómica y estructural en estos ecosistemas acuáticos, se observa una predominancia de ciertos grupos biológicos, como las diatomeas (*Bacillariophyta*) y las algas verdes (*Chlorophyta*), lo cual puede atribuirse a fluctuaciones en las propiedades físicas y químicas del agua, así como a factores ambientales, geográficos y antropogénicos (Laureano et al., 2024).

Las actividades humanas, como el turismo, la agricultura y la contaminación, también ejercen un impacto característico en la composición y salud de las comunidades fitoplanctónicas. Molina (2023) advierte sobre los efectos negativos del turismo no sostenible

( principal impacto negativo en la zona de estudio), que puede aumentar la presencia de contaminantes y nutrientes en el agua, propiciando la eutrofización y alterando la estructura del fitoplancton.

Las prácticas culturales también tienen implicaciones en la salud de los ecosistemas lacustres. Bautista (2020) destaca la importancia de examinar cómo las costumbres locales, como el uso de sustancias en los cuerpos de agua, afectan la pureza del agua y la diversidad de fitoplancton. Por ejemplo, en algunos rituales, se utilizan sustancias químicas como mercurio, azufre en polvo, y aceites esenciales, que pueden contaminar el agua y alterar los ecosistemas acuáticos. Además, la construcción de carreteras cerca de los cuerpos de agua puede introducir sedimentos y otros contaminantes que también impactan negativamente en la biodiversidad

En definitiva, la comparación de las comunidades de fitoplancton entre las lagunas estudiadas resalta la influencia interrelacionada de factores ambientales y humanos en la estructuración y salud de estos ecosistemas acuáticos, adicionalmente, la comprensión de estos procesos es crucial para implementar estrategias de conservación efectivas que aseguren la preservación a largo plazo de la biodiversidad y el funcionamiento saludable de los sistemas lacustres altoandinos (Arenas, 2022).

La influencia de los factores fisicoquímicos en la comunidad de fitoplancton es un tema de gran relevancia en la ecología acuática, especialmente en ecosistemas lacustres como los estudiados en esta investigación, por lo que según los hallazgos presentados, se destaca que las propiedades fisicoquímicas como la acidez del agua, la temperatura, la disponibilidad de nutrientes y la exposición a la luz solar juegan un papel crucial en la composición y estructura de la comunidad fitoplanctónica (Piscoya, 2022), esto se relaciona con los resultados obtenidos ya que se destacan que las propiedades fisicoquímicas, como la acidez del agua (pH 3.09 - 4.73), la temperatura (10.79 - 12.86 °C), la disponibilidad de nutrientes (particularmente los fosfatos con niveles de 0.02 - 0.84 mg/L) y la exposición a la luz solar, juegan un papel crucial en la composición y estructura de la comunidad fitoplanctónica.

Lo expuesto por Garcés (2021), la variabilidad en las condiciones climáticas y fisicoquímicas del agua ejerce una influencia significativa en la diversidad y abundancia del fitoplancton. En el sistema lacustre Tres Lagunas, los resultados del análisis fisicoquímico

muestran que las lagunas presentan aguas ácidas (pH 3.39 – 4.73), frías (11.16 – 12.20 °C) y con baja conductividad (2.80 – 4.20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Estas condiciones, junto con los altos niveles de fosfatos, especialmente en la laguna 1 (0.17 - 0.84 mg/L), crean un entorno óptimo para el crecimiento de ciertos grupos biológicos como Chlorophyta y Bacillariophyta. La dominancia de estos grupos en determinadas lagunas puede atribuirse a las condiciones fisicoquímicas específicas que favorecen su proliferación.

El estudio también señala la importancia de los factores geográficos, como la altitud y la cantidad de luz solar recibida, en la formación de diferentes microambientes en cada cuerpo de agua, lo que afecta en la diversidad del fitoplancton (Gomez, 2024), influenciando su diversidad hasta la configuración de patrones de distribución (Avilés, 2020).

Así también en estudios similares al presente subrayan la importancia de adoptar un enfoque integral que considere tanto los aspectos naturales como las influencias humanas en la gestión de estos valiosos recursos naturales (Quintana y Tingo, 2023).

La diversidad y distribución del fitoplancton en el sistema lacustre Tres Lagunas están influenciadas por una variedad de factores ambientales y antropogénicos. Comprender estos factores es fundamental para la gestión sostenible de los recursos hídricos y la conservación de la biodiversidad acuática en esta región (Mence y Nicole, 2023). Es crucial continuar investigando cómo el fitoplancton responde a los cambios en el entorno para desarrollar estrategias efectivas de conservación y gestión de estos ecosistemas acuáticos (Pereira y Portillo, 2021). Estos hallazgos son fundamentales para la gestión sostenible de los recursos hídricos y la conservación de la biodiversidad acuática en el sistema lacustre Tres Lagunas pues permite ver las afecciones de la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos (Campusano, 2022).

## 8. Conclusiones

El estudio verificó que existen diferencias de importancia notoria en cuanto a las condiciones físicas y químicas entre las tres lagunas que fueron analizadas. En particular, el análisis identificó diferencias notables en los valores de acidez (pH) y la concentración de fosfato, mostrando la diversidad ambiental presente en el ecosistema del sistema lacustre Tres Lagunas. Estas variaciones son de suma importancia ya que impactan directamente en la composición del fitoplancton que se encuentra en estas aguas, desempeñando así un papel vital en el bienestar ecológico del sistema acuático. Estos descubrimientos resaltan la relevancia de llevar a cabo inspecciones periódicas de las propiedades físicas y químicas de los lagos ubicados en zonas altas de los Andes, especialmente en situaciones de transformaciones en el entorno causadas por la naturaleza y por la actividad humana.

El estudio realizó un análisis de la diversidad y organización del fitoplancton, resaltando una amplia gama de grupos como Bacillariophyta y Chlorophyta, entre otros, que se encontraron presentes. Fueron identificadas importantes disparidades en cuanto a la composición y diversidad del fitoplancton entre las distintas lagunas, lo que sugiere que estas comunidades reaccionan de manera única a las condiciones ambientales específicas presentes en cada cuerpo de agua.

El análisis de fitoplancton proporciona una comprensión profunda de la complejidad ecológica de los ecosistemas acuáticos en zonas de alta montaña. La identificación de las especies y géneros presentes, junto con el entendimiento de los factores que afectan su distribución, es esencial para la conservación y gestión sostenible de estos valiosos recursos acuáticos.

## 9. Recomendaciones

El estudio destaca que hay diferencias significativas en las condiciones fisicoquímicas y la biodiversidad del fitoplancton observadas en las distintas lagunas analizadas. Este hallazgo indica la importancia de implementar iniciativas de vigilancia ambiental a largo plazo que abarquen aspectos físico-químicos, biológicos y ecológicos en su totalidad.

Estos sistemas tendrían la capacidad de reconocer modificaciones que se producen en diferentes momentos y lugares en las variables ambientales de suma importancia y cómo estas afectan a la diversidad de vida en los ecosistemas acuáticos. Asimismo, se plantea la recomendación de establecer colaboraciones entre distintas instituciones como universidades, centros de investigación y autoridades locales, con el objetivo de ampliar la cobertura y la calidad de estos programas. Esto permitiría simplificar el proceso de tomar decisiones fundamentadas en datos científicos para promover la conservación y la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Dado el importante rol que desempeña la comunidad local en la protección y conservación de los ecosistemas acuáticos, es aconsejable implementar iniciativas de educación ambiental destinadas específicamente a las comunidades locales, visitantes turísticos y otros grupos involucrados en el cuidado del medio ambiente. Sería beneficioso que estos programas se centraran en crear una mayor conciencia sobre la relevancia del fitoplancton como un indicador crucial de la salud ecológica de las lagunas, así como en resaltar su función en la diversidad biológica del ecosistema.

## 10. Bibliografía

- Albrecht, M. (2020). Diversidad fitoplanctónica como indicador de calidad de agua en subembalses de la represa de Yacyretá, Departamento Itapúa, Paraguay. *repositorio.conacyt.gov.py*.  
<http://repositorio.conacyt.gov.py/handle/20.500.14066/2935>
- Altamirano, K. (2022). Diversidad y abundancia de fitoplancton en cuatro estaciones fijas en la zona suroeste del Golfo de Guayaquil en el período 2002, 2003 y 2005. *repositorio.upse.edu.ec*. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8110>

- Andrés, E., y Garreta, A. (2021). Tasas de crecimiento de *Dinophysis caudata* y otros taxones de fitoplancton seleccionados en la Bahía dels Alfacs. *Algas*. [https://www.researchgate.net/profile/Maria-Altamirano-Jeschke/publication/369763957\\_ALGAS\\_57\\_2021\\_Analisis\\_biogeografico\\_de\\_la\\_flo\\_ra\\_marina\\_de\\_macroalgas\\_de\\_la\\_demarcacion\\_marina\\_Estrecho-Alboran\\_Mar\\_Mediterraneo/links/642c0c2220f25554da0b97ad/ALGAS-57-20](https://www.researchgate.net/profile/Maria-Altamirano-Jeschke/publication/369763957_ALGAS_57_2021_Analisis_biogeografico_de_la_flo_ra_marina_de_macroalgas_de_la_demarcacion_marina_Estrecho-Alboran_Mar_Mediterraneo/links/642c0c2220f25554da0b97ad/ALGAS-57-20)
- Arenas, M. (2022). Efluentes de la mina buenaventura y los efectos en la calidad del agua, macrobentos y comunidad planctonica de la laguna Añilcocha Oyón, 2022. *repositorio.unac.edu.pe*. <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/6936>
- Arias Cuasapaz, V., y Arias Marín, J. (2024). Diversidad fitoplanctónica y su relación con el estado trófico del lago andino el voladero, provincia del Carchi. *repositorio.utn.edu.ec*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15624>
- Avilés, C. (2020). Periurbanización y Amenazas del Paisaje Lacustre: Hacia Nuevos Pasajes- Paisajes de Desarrollo Sostenible en la Conurbación Villarrica-Pucón. *search.proquest.com*. <https://search.proquest.com/openview/b22b4c6e2d65a7573fd1f72f2240cb28/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- Ayuda en Acción . (2022). *Nuestros páramos nuestras vidas* . Blog: <https://ayudaenaccion.ec/blog/cambio-climatico/protegemos-paramos-ecuador/>
- Baffico, G. (2021). Factores que controlan el crecimiento de la comunidad perifítica en distintos ambientes acuáticos en Patagonia. *rdi.uncoma.edu.ar*. <http://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/16140>
- Barrera, J. (2021). Evaluación del efecto del cambio climático en la hidrología superficial de la cuenca hidrográfica del lago de Tota, Boyacá. *repositorio.escuelaing.edu.co*. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1349>
- Bautista, M. (2020). Biohabitabilidad. La construcción de un hábitat saludable. *oa.upm.es*. <https://oa.upm.es/id/eprint/57973>



- Benavides, C. (2021). Evaluación de la diversidad ictiológica del lago Yahuarcocha, provincia de Imbabura. *repositorio.utn.edu.ec*.  
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11753>
- Blanco, E., De la Parra, A., García, C., y Villarreal, E. (2020). Análisis físico-químico y fitoplanctónico de la ciénaga Puerto Caimán, vertiente Caribe, Colombia. *Intropica*.  
<https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/3650>
- Cáceres, J. (2020). Los páramos de la parte altoandina de la reserva de la biosfera macizo del Cajas (Ecuador): gestión para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos. *ddd.uab.cat*. <https://ddd.uab.cat/record/239052>
- Campusano, A. (2022). Evaluación de índice de geoacumulación de metales en sedimentos de la laguna Magdalena del sistema lacustre de Atillo del Parque Nacional Sangay. *dspace.esPOCH.edu.ec*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/18022>
- Cano, M. (2022). Análisis de la gestión de espacios naturales costero-marinos protegidos: nuevos enfoques y tendencias. *rodin.uca.es*. <https://rodin.uca.es/handle/10498/28839>
- Castilla, J., Armesto, J., y Martínez, M. (2021). Conservación en la Patagonia chilena: evaluación del conocimiento, oportunidades y desafíos. *Ediciones UC*.  
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=g1I\\_EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4&dq=ticos++gran+variabilidad+clim%C3%A1tica+importancia+recopilar+informaci%C3%B3n+fundamental+y+fiable+que+pueda+reforzar+de+manera+efectiva+los+programas+de+conservaci%C3%B3n&ots=1wl4H](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=g1I_EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4&dq=ticos++gran+variabilidad+clim%C3%A1tica+importancia+recopilar+informaci%C3%B3n+fundamental+y+fiable+que+pueda+reforzar+de+manera+efectiva+los+programas+de+conservaci%C3%B3n&ots=1wl4H)
- Castro, L., y Rodríguez, E. (2021). Relación entre las prácticas de alimentación y su efecto sobre la calidad del agua en estanques de piscicultura. *repositorio.uan.edu.co*.  
<http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/5062>
- Chinchilla, M. (2024). *Distribución geográfica y cinturones altitudinales de vegetación para Eremotherium laurillardi y Notiomastodon platensis durante el cuaternario en Colombia*. Universidad de los Andes Colombia:  
<https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/91c75b5b-c70b-4768-b719-fc72d79d17c5>

- Corbella, J. (2023). Efecto del disturbio hidrometeorológico en el fitoplancton de una laguna pampásica de la provincia de Buenos Aires. *sedici.unlp.edu.ar*.  
<https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/155794>
- Coronel, D. (2023). Evaluación de la calidad del agua del Río Vilcanota y su influencia en la biota acuática en el sector del km 104 al 114 del Santuario Histórico Machupicchu–Cusco. *repositorio.uandina.edu.pe*.  
<http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/6052>
- Darío, S. (2022). La Comunidad Fitoplanctónica De Lagunas De Agua Dulce De La Provincia De Esmeraldas. *repositorio.puce.edu.ec*.  
<https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d3d1b306-b7fb-4d97-a23a-36ff0cd13209/content>
- Delgado, E. (2022). Caracterización del estado actual de eutrofización a partir de los parámetros físicos, químicos y biológico del humedal de Conococha–Ancash–2021. *repositorio.unasam.edu.pe*. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5137>
- Fernández, J., Hazbún, R., Oviedo, D., y Pitre, J. (2023). Solución para el abastecimiento de agua en el Corregimiento de San Marino, Chocó. *manglar.uninorte.edu.co*.  
<https://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/11802>
- Fernández, M. (2021). Microscopio de bajo coste con capacidad de fluorescencia y espectroscopía Raman para la identificación de fitoplancton. *repositorio.unican.es*.  
<https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/22709>
- Forero, J. (2021). Estudio de la incidencia de actividades agropecuarias en cuerpos lénticos de alta montaña de la cordillera andina colombiana. *repository.unad.edu.co*.  
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/39046>
- Garcés, M. (2021). Efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas del río Ambato. *Universidad Técnica de Ambato*.  
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34004>

- Gaytan, B. (2020). Evaluación de perifiton y macroinvertebrados bentónicos como bioindicador de calidad del agua superficial de la subcuenca Carash, Áncash 2019. *repositorio.ucv.edu.pe*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/92554>
- Gibbons, K., y Bridgeman, T. (2020). Efecto de la temperatura sobre el flujo de fósforo de los sedimentos anóxicos del oeste del lago Erie. *Investigación del agua*, 187(1), 116022. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116022>
- Gil, I., Villabona, S., y Ríos, M. (2022). Dinámica temporal y espacial de los grupos funcionales del fitoplancton en un embalse tropical colombiano. *Limnetica*. <https://www.limnetica.net/documentos/limnetica/limnetica-41-2-07.pdf>
- Ginez, P. (2021). Reducción de la contaminación de agua mediante aireación y cosecha de Lenteja en la Bahía interior del Lago Titicaca, Puno. 45.231.83.156. <http://45.231.83.156/handle/20.500.12996/5003>
- Gomez, N. (2024). Comunidad fitoplanctónica en la laguna Guitarrachayocc Paras, Ayacucho 2018. *repositorio.unsch.edu.pe*. <https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/6395>
- Grosman, F. (2008). Capítulo I: Una invitación a conocer nuestras lagunas pampeanas. *Espejos en la llanura: nuestras lagunas de la región pampeana*. [https://www.researchgate.net/profile/Fabian-Grosman/publication/267259914\\_CAPITULO\\_I\\_UNA\\_INVITACION\\_A\\_CONOCER\\_NUESTRAS\\_LAGUNAS\\_PAMPEANAS/links/5759cc2608aed884620b294f/CAPITULO-I-UNA-INVITACION-A-CONOCER-NUESTRAS-LAGUNAS-PAMPEANAS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Fabian-Grosman/publication/267259914_CAPITULO_I_UNA_INVITACION_A_CONOCER_NUESTRAS_LAGUNAS_PAMPEANAS/links/5759cc2608aed884620b294f/CAPITULO-I-UNA-INVITACION-A-CONOCER-NUESTRAS-LAGUNAS-PAMPEANAS.pdf)
- Gualli, M. J., y Hidalgo, S. (2022). Determinación del enriquecimiento de metales pesados en las lagunas de Colta y Yambo de la zona 3 del Ecuador. *dspace.esPOCH.edu.ec*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17672>
- Guevara, L. (2022). Estudio limnológico y evaluación de la calidad del agua en el humedal Jaime Duque cuerpo de agua n° 1-Parque Jaime Duque. *repositorio.ecci.edu.co*. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/2716>

- Gunkel, G. (2003). Limnología de un Lago Tropical de Alta Montaña, en Ecuador: Características de los sedimentos y tasa de sedimentación. *Revista de Biología Tropical*.  
[https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442003000200010&script=sci\\_arttext&tlng=en](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442003000200010&script=sci_arttext&tlng=en)
- Hernández, E., Aguirre, N., Palacio, K., Palacio, J., Ramírez, J., Duque, S., y Kruk, C. (2020). Clasificación de grupos morfofuncionales del fitoplancton en seis sistemas lénticos de las regiones Caribe, Andina y Amazónica de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0370-39082020000200392&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0370-39082020000200392&script=sci_arttext)
- Hidalgo, D., y Veintimilla, C. (2024). Caracterización de la calidad de agua el río Isinche para el análisis de la descarga en la planta de tratamiento del campus CEASA. *repositorio.utc.edu.ec*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11732>
- Huaman, N., y Caballero, L. (2022). Estudio geológico y geotécnico para la construcción de la presa Marhuay del distrito de Coya, provincia de Calca, Cusco. *repositorio.unsaac.edu.pe*. <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/7001>
- Huayanay, K. (2023). Estudio del impacto de los efluentes de una planta desalinizadora de agua sobre la diversidad hidrobiológica del cuerpo receptor, Lima 2022. *repositorio.continental.edu.pe*.  
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12911>
- Huertas, K., Guevara, G., y Florez, G. (2023). FITOPLANCTON DE UN HUMEDAL TROPICAL SOMERO DE ZONAS BAJAS Y SU RELACIÓN CON VARIABLES FISICOQUÍMICAS. *Acta Biológica Colombiana*.  
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/97060>
- Jarabo, P. (2022). Aspectos generales sobre servicios ecosistémicos e instrumentos como el pago de servicios hidrológicos y fondos de agua para asegurar la calidad y seguridad hídrica. *revistas.unne.edu.ar*.  
<https://revistas.unne.edu.ar/index.php/mom/article/view/5861>

- Juárez, M. (2021). Posibles relaciones estructurales y funcionales entre el fitoplancton y el bacterioplancton heterotrófico en el Lago Cráter Atexcac, Puebla. *ru.dgb.unam.mx*.  
<https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000813764/3/0813764.pdf>
- Lao, K. (2023). Educación Ambiental y Turismo¿ Cómo convergen en el Parque Nacional Cañón del Sumidero? Un Análisis del Programa Educativo Ambiental 2018-2022. *repositorio.unicach.mx*. <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/4988>
- Laureano, L., Dalinger, F., Moraña, L., y Borja, C. (2024). Variación Fitoplanctónica del Embalse Campo Alegre (Salta) Luego de 15 Años. *Revista Ciencias Naturales*.  
<http://170.210.203.22/index.php/rfcn/article/view/4253>
- López. (2022). Características físicos-químicas del agua de mar asociada a las floraciones algales en la bahía “El Ferrol”(Ancash, Perú), en los años 2015 y 2016. *repositorio.uns.edu.pe*. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4101>
- López, J. (2022). Variabilidad espacio-temporal del fitoplancton en la región sur del Golfo de California. *repositorio.uas.edu.mx*.  
[http://repositorio.uas.edu.mx/jspui/handle/DGB\\_UAS/311](http://repositorio.uas.edu.mx/jspui/handle/DGB_UAS/311)
- Lozada, A., y Uzcanga, M. (2020). Microbios acuáticos: diminutos protagonistas de historias gigantes. *Ecofronteras*.  
<http://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/1911>
- Marmolejo, M. (2023). Desarrollo sostenible y medio ambiente. *dspace.tdea.edu.co*.  
<https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/4784>
- Mence, V., y Nicole, L. (2023). Diversidad y abundancia de fitoplancton en relación con parámetros físicos presente en el río Javita, Santa Elena-Ecuador. *repositorio.upse.edu.ec*. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10124>
- Molina, A. (2023). Evaluación del estado de eutrofización del Río Torococha en la Ciudad de Juliaca 2022. *repositorio.uancv.edu.pe*.  
<https://repositorio.uancv.edu.pe/items/6dd064d2-f520-46f5-b169-056cd1cddbe0>

- Molina, M., Terneus, E., y Cueva, M. (2018). RESILIENCIA DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA EN LA LAGUNA ANDINA DE PAPALLACTA Y SUS AFLUENTES, OCHO AÑOS DESPUÉS DE UN DERRAME PETROLERO. *La granja*, 28(2), 67-83. <https://doi.org/https://doi.org/10.17163/lgr.n28.2018.05>
- Moncada, N. (2023). Análisis Socio-ecológico en Relación con el Cambio Climático para la Laguna de Tota, Aquitania, Boyacá. *repository.unad.edu.co*. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/58137>
- Moreno, F. (2012). Diseño de un manual guía del docente para el estudio limnológico de ecosistemas acuáticos para el fortalecimiento de conceptos científicos en estudiantes de educación media. *repositorio.unal.edu.co*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75102>
- Neyra, E. (2023). Influencia del manejo sostenible de *Podocnemis unifilis* "Taricaya" en la mitigación de la deforestación del sector Samiria en la Reserva Nacional Pacaya Samiria, periodo 2014-2020. *repositorio.unu.edu.pe*. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/6772>
- Patiño, K. (2020). Evaluación de la inhibición del crecimiento de fitoplancton por paja de cebada *hordeum vulgare* en el lago Yahuarcocha. *repositorio.utn.edu.ec*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10483>
- Pereira, V., y Portillo, E. (2021). Identificación y variación espacio-temporal del fitoplancton en el embalse Tacuary, Carmen del Paraná, Itapúa, Paraguay. *Revista Impacto*. <https://revistas.uni.edu.py/index.php/impacto/article/view/345>
- Pérez, Á., Marcos, C., y Pérez, M. (2021). Principios ecológicos y gestión de sistemas complejos. *Rev. Acad. Canar. Cienc.* [https://www.researchgate.net/profile/Angel-Perez-Ruzafa/publication/358118659\\_Principios\\_ecologicos\\_y\\_gestion\\_de\\_sistemas\\_complejos/links/61f1115d5779d35951d48c47/Principios-ecologicos-y-gestion-de-sistemas-complejos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Angel-Perez-Ruzafa/publication/358118659_Principios_ecologicos_y_gestion_de_sistemas_complejos/links/61f1115d5779d35951d48c47/Principios-ecologicos-y-gestion-de-sistemas-complejos.pdf)

- Pinilla , G. (2005). *Ecología del fitoplancton en un lago amazónico de aguas claras*. Universidad de Bogotá: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field\_attached\_file/pdf-ecologia\_del\_fitoplancton-\_pag.pdf
- Piscoya, E. (2022). Influencia de factores físico-químicos en la distribución vertical del picoplancton en la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO) del norte de Chile: La influencia relativa del bajo pH/bajo O<sub>2</sub>. *repositorio.udec.cl*. <http://repositorio.udec.cl/handle/11594/9830>
- Poot, C., y Pérez, A. (2023). Variación espaciotemporal del fitoplancton nocivo en playas recreativas de Campeche, sureste del golfo de México. *cienciasmarinas.com.mx*. <https://cienciasmarinas.com.mx/index.php/cmarinas/article/view/3389>
- Quintana, E., y Tingo, L. (2023). Evaluación de impactos ambientales de las actividades antrópicas en la microcuenca del lago Yahuarcocha. *repositorio.utn.edu.ec*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14219>
- Rivera, J. (2023). Calidad del agua del río Nangaritza mediante el análisis de la comunidad fitoplanctónica. *dspace.ucacue.edu.ec*. <https://dspace.ucacue.edu.ec/items/8b1d9d73-0d3d-4446-8673-b35e59afe6dc>
- Rodas, E., Vasquez, C., y García, O. (2020). Dinámica del consumo y aporte de nutrientes de fitoplancton, dominado por *Microcystis* sp.(Cyanophyceae) del lago de Amatitlán. *Ciencia, Tecnología y Salud*. <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/cytes/article/view/709>
- Rodas, E., y Vasquez, C. (2020). Evaluación anual del fitoplancton y su respuesta a la calidad de agua en el lago de Amatitlán, Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*. <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/cytes/article/view/708>
- Rodríguez, F. (2021). El enfoque ecosistémico en la gestión de las aguas subterráneas de la Ciudad de México como estrategia para hacer frente al cambio climático. *Impactos del cambio climático: una visión desde México*. <https://www.researchgate.net/profile/Marcelo->

Olivera/publication/359074539\_Impactos\_del\_cambio\_climatico\_una\_vision\_desde\_Mexico/links/64021364b1704f343f9d502c/Impactos-del-cambio-climatico-una-vision-desde-Mexico.pdf#page=145

- Rodríguez, F. (2023). El fitoplancton y zooplancton como bioindicadores de calidad del agua, durante el periodo del 2015 al 2020, en la laguna de Yarinacocha, Ucayali, 2023. *repositorio.unu.edu.pe*. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/6962>
- Roldán, G., y Ramírez, J. (2022). Fundamentos de limnología neotropical. *repositorio.accefyn.org.co*. <https://repositorio.accefyn.org.co/handle/001/2381>
- Roman, C., y Henao, S. (2023). Lineamientos De Gestión Para La Sostenibilidad Turística En Las Áreas Naturales Protegidas De Risaralda. Caso De Estudio: Centro De Visitantes Planes De San Rafael En Santuario Y La Pastora En Pereira. *repositorio.utp.edu.co*. <https://repositorio.utp.edu.co/bitstreams/543d7eb6-919d-41c9-8eca-800cbf8b4dd1/download>
- Sánchez, R., y Aguilar, N. (2023). Bases teóricas de la conciencia ambiental como estrategia para el desarrollo sostenible. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*.
- Sierra, Y., Ramos, A., y Riaño, N. (2021). Estructura del fitoplancton de lagos andinos ubicados en diferente rango altitudinal. *Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8464162>
- Silva, S. (2022). Variabilidad de fitoplancton en aguas residuales de la playa Chipipe, Salinas 2021. *Universidad Estatal Península de Santa Elena*. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8104>
- Valderrama, H. (2021). Identificación de impactos del cambio climático en cuerpos superficiales de agua dulce de la Región Caribe colombiana. *repositorio.uptc.edu.co*. <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/8700>
- Valdéz, A. (2023). Registro del componente productor (fitoplancton) y componente consumidor (zooplancton y microinvertebrados) del arroyo intermitente" Los



Ahuehuetes", corriente de agua de la barranca de Chalchihuapan, del municipio de Cuernavaca, Morelos, México. [riaa.uaem.mx](http://www.riaa.uaem.mx).  
<http://www.riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/3242>

Vasquez, J. (2021). *Tres lagunas* . Cultura científica : <https://culturacientifica.utpl.edu.ec/tres-lagunas/>

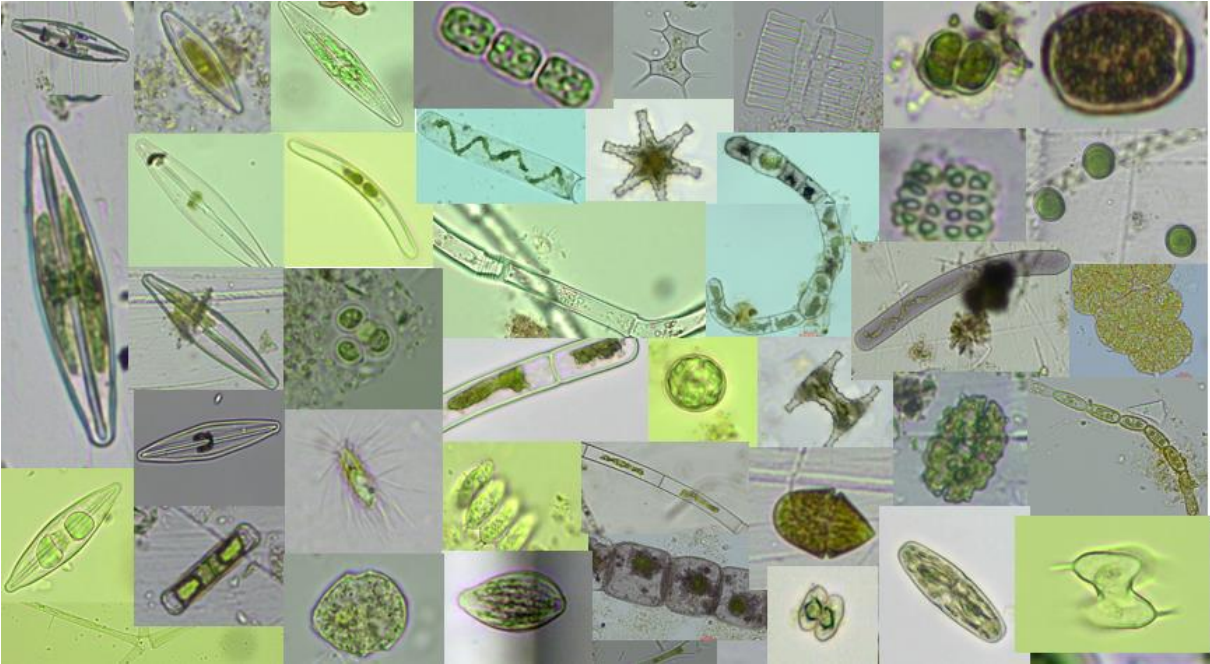
Zapata, F., y Chávez, P. (2020). Parámetros limnológicos y productividad piscícola para la piscicultura de trucha arco iris en lagunas altoandinas-Junín, Perú. *Prospectiva Universitaria*, 17(1), 159-165.  
<https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/prospectiva/article/view/1400>

## 11. Anexos

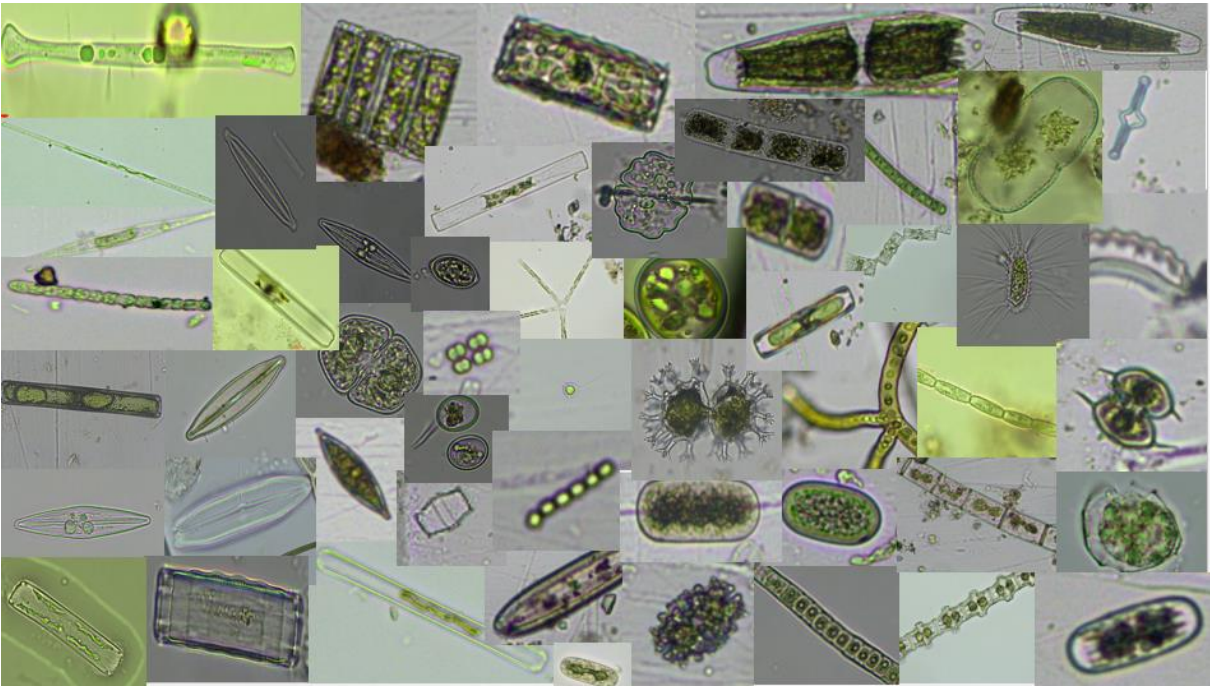
**Anexo 1.** Ficha técnica de información en campo.

Laguna:		
Punto:		
Fecha:		
Altitud:		
Ubicación geográfica:		
<b>Físico_Química</b>	<b>Valor</b>	<b>Profundidad</b>
pH		
Oxígeno disuelto		
Conductividad		
Turbidez		
Temperatura		
Solidos Totales Disueltos		

**Anexo 2.** Parte del fitoplancton encontrado en la laguna 1.

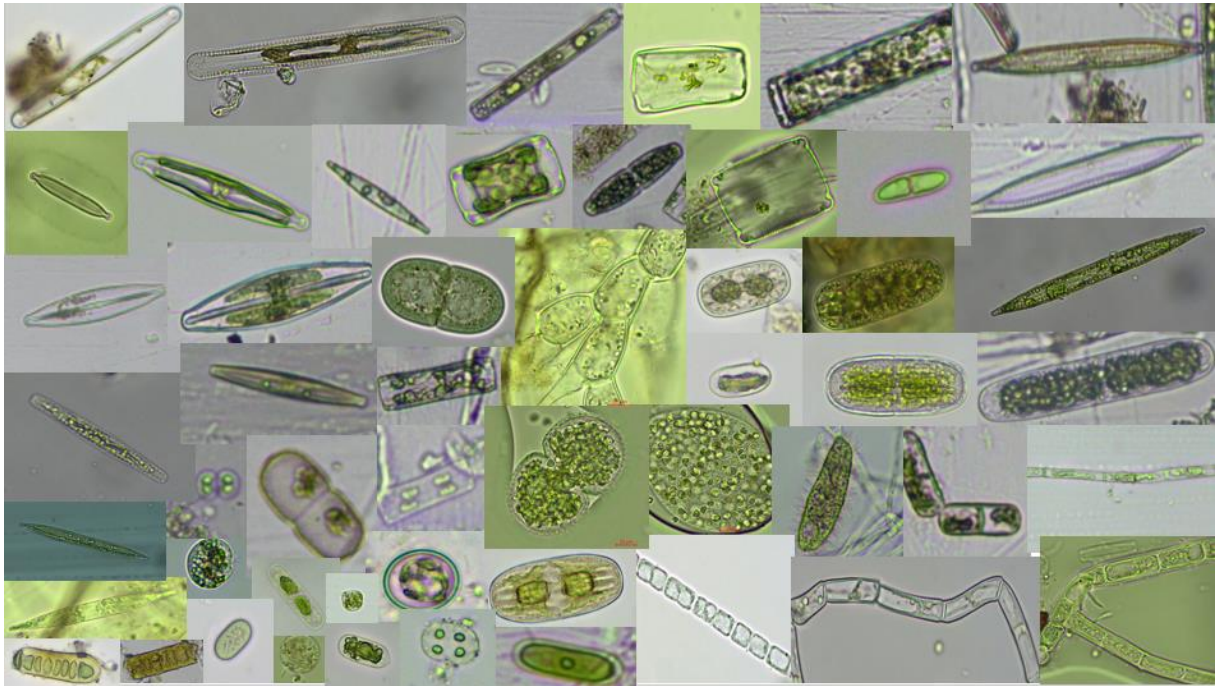


**Anexo 3.** Parte del fitoplancton encontrado en la laguna 2.





**Anexo 4.** Parte del fitoplancton encontrado en la laguna 3.



**Anexo 5.** Muestreos efectuados en la zona litoral de los objetos de estudio.



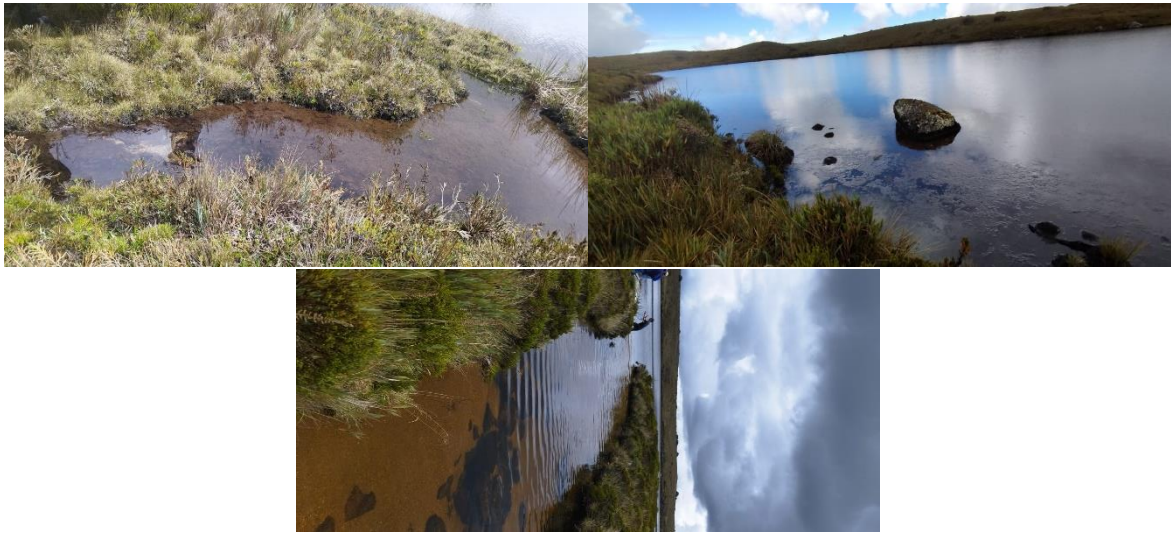




**Anexo 6.** Muestreos efectuados en la zona limnética de los objetos de estudio.



**Anexo 7.** Tipos de hábitat muestreados en los objetos de estudio.



**Anexo 8.** Presencia de contaminación en los objetos de estudio.





**Anexo 9.** Belleza escénica de los objetos de estudio.



**Anexo 10.** Muestras de fitoplancton preparadas para recuento e identificación.





**Anexo 11.** Certificado de traducción del resumen

CERTIFICADO DE TRABAJO

Loja, 22 de febrero de 2024

Lic.

Nathaly Antonela Ramón Maldonado

**Licenciada en Pedagogía en el Idioma Inglés**

**CERTIFICO:**

En calidad de traductora del idioma inglés, a través de la Certificación de conocimiento de inglés, nivel B2, certifico que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del resumen (Abstract) del trabajo de titulación: **Ecología de fitoplancton en el sistema lacustre tres lagunas, en el sur de Ecuador**; de la autoría de Edison Junior Mora Armijos con CI: 1105090680, egresado de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja.

En cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado, señor Edison Junior Mora Armijos, hacer uso del presente, según estime conveniente.

**Atentamente:**

NATHALY  
ANTONELA  
RAMON  
MALDONADO

Firmado digitalmente  
por NATHALY ANTONELA  
RAMON MALDONADO  
Fecha: 2024.07.22  
11:32:18 -05'00'