



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

“DIVERSIDAD FITOPLANCTÓNICA Y SU RELACIÓN CON EL
ESTADO TRÓFICO DEL LAGO ANDINO EL VOLADERO, PROVINCIA
DEL CARCHI”

PLAN DE TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO/A EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORES:

ARIAS CUASAPAZ VALERIA STEPHANIA

ARIAS MARÍN JUAN CAMILO

DIRECTOR:

ING. DELIA ELIZABETH VELARDE CRUZ MSC.

2024



CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ibarra, 07 de febrero de 2024.

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: **“DIVERSIDAD FITOPLANCTÓNICA Y SU RELACIÓN CON EL ESTADO TRÓFICO DEL LAGO ANDINO EL VOLADERO, PROVINCIA DEL CARCHI.”**, de autoría de los señores /itas **ARIAS CUASAPAZ VALERIA STEPHANIA** y **ARIAS MARÍN JUAN CAMILO**, estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES** el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que el/la autor/a o autores ha procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencia realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

FIRMA

Ing. Elizabeth Velarde MSc.

DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

Ing. Tania Oña MSc.

MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Santiago Cabrera MSc.

MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	0401550082	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	Arias Cuasapaz Valeria Stephania	
DIRECCIÓN:		Calle Ambato y Av. Julio Robles	
EMAIL:		vsariasc@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	(06)2250079	TELÉFONO MÓVIL:	0982733989

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	FB542876	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	Arias Marín Juan Camilo	
DIRECCIÓN:		Carlos Crespi y Atucucho	
EMAIL:		jcariasm@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0980039776

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Diversidad fitoplanctónica y su relación con el estado trófico del lago andino El voladero, provincia del Carchi”
AUTOR (ES):	Arias Cuasapaz Valeria Stephania Arias Marín Juan Camilo
FECHA: DD/MM/AAAA	07/02/2024
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Delia Elizabeth Velarde Cruz MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

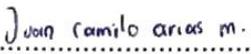
Ibarra, a los 7 días del mes de febrero de 2024

EL AUTOR:



.....

Arias Cuasapaz Valeria Stephania
CI: 0401550082



.....

Arias Marín Juan Camilo
CI: FB542876

AGRADECIMIENTO

A nuestras familias, por ser pilares y guías fundamentales de nuestras vidas, impulsándonos a seguir adelante en el camino del aprendizaje.

A la Universidad Técnica del Norte, por abrirnos las puertas hacia el estudio de tan insigne carrera como lo es la Ingeniería en Recursos Naturales Renovables; asimismo, a todos aquellos docentes que con dedicación y vocación impartieron sus conocimientos formándonos como profesionales responsables y competentes.

A nuestra directora de tesis, MSc. Elizabeth Velarde, por confiar en nosotros y permitirnos ser partícipes de uno de sus proyectos investigativos más apasionantes y bellos, haciéndonos sentir privilegiados por la experiencia que nos brindó; por guiarnos, por entregarse incondicionalmente durante el desarrollo de este trabajo de investigación. De la misma manera a nuestros asesores MSc. Tania Oña y MSc. Santiago Cabrera quienes mediante su asesoramiento y constante apoyo contribuyeron a la culminación de este proyecto.

Al equipo técnico LABINAM: Ing. Karen Portilla, por orientarnos con entusiasmo a lo largo de esta etapa de aprendizaje compartiendo no sólo su conocimiento, sino también sus experiencias y consejos indelebles más allá del mero campo académico; a todos nuestros compañeros pasantes presentes en el laboratorio quienes colaboraron directamente en el proyecto.

Al Ing. Jefferson Guerrero e Ing. Marcelo Ponce, quienes estuvieron presentes en una de las etapas más difíciles de esta investigación, colaborando con nuestra causa y animándonos para poder concluir con esta investigación.

A la Oficina Técnica Zonal 1 del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, con especial mención a la Ing. Cristina Valles e Ing. Damián Ponce, quienes siempre estuvieron dispuestos a ayudarnos desinteresadamente, con la bondad, amabilidad y el positivismo que los caracteriza.

A nuestros amigos Mateo Coral, Francisco Andrade, Galo Dávila y Alen Pereira, a quienes extendemos nuestra más inefable gratitud por su paciencia y amabilidad, acompañándonos a lo largo de este arduo camino; a nuestros amigos y compañeros quienes compartieron con nosotros su tiempo, risas y experiencias propias de estos años universitarios.

Valeria Arias y Camilo Arias.

DEDICATORIA

A mis padres, Armando Arias y Shyomara Cuasapaz, quienes me enseñaron el valor del esfuerzo y sacrificaron tanto para hacer posible este logro; su amor, guía y aliento constante han sido mi amparo en las tormentas y la luz que ha iluminado mi camino durante este desafiante viaje.

A mi hermano, Daniel Arias, mi cómplice de alegrías y confidente de sueños, quién siempre ha sido mi fortaleza y mi fuente de inspiración para seguir adelante. Este logro también es suyo, por permanecer a mi lado siendo mi refugio en los momentos difíciles y celebrando cada avance de este proceso conmigo.

A mis abuelitos, quienes siempre han creído en mí y me han alentado a perseguir mis sueños, Ligia, Jorge, Ana y Segundo, ejemplos de tenacidad y amor inagotable, cuyos valores han dejado una huella indeleble en mi vida y en este logro académico.

A mis tíos Arturo Arias, Hna. Beth. Mery Arias, Hna. Beth. Bertha Ortega y Sonia Cuasapaz, por su paciencia, comprensión y consejos sabios que han sido un faro en mi camino, siendo este logro académico un reflejo de su influencia positiva en mi vida.

A Miguel Narváez, Martha Guerrero, Lorena y Paola Narváez, por su cariño y comprensión, por su influencia positiva, apoyo constante y por formar parte esencial de este recorrido.

A Nicole Rodríguez, Jerson Delgado, David Fweltala, Francisco Andrade, Nathaly Calderón, Katty Chulde, Kevin Carrera, Mateo Coral, Alejandra Valarezo, por su alegría contagiosa y por brindarme ánimo en los momentos difíciles; por ser mi segunda familia, mi red de seguridad emocional, cómplices de risas, apoyo y momentos inolvidables. Este logro es un testimonio de nuestra inquebrantable amistad.

A Camilo Arias, compañero y amigo, por compartir esta travesía llena de desafíos y aprendizajes, por todo el trabajo en equipo, por ser una motivación, por todas las risas compartidas y por creer en mi incluso en los momentos más difíciles. Su compromiso, dedicación y ánimo inquebrantable hicieron posible la culminación de este proyecto.

Valeria Arias.

DEDICATORIA

Este trabajo y todo el sacrificio que hubo detrás se lo dedico especialmente a mi familia, a mi madre, Margarita. Quien siempre, desde la distancia que nos separa, supo apoyarme y darme palabras de aliento para seguir en este camino. A mi padre y compañía, Rossemberg y Libia, que estuvieron presentes y me apoyaron desde un inicio.

A mis hermanos, Jhon y Milena, de los cuales recibí cariño y apoyo durante toda esta etapa de mi vida, a mi pareja, Alejandra, que ha estado presente en mi caminar superando juntos muchos de los obstáculos que se presentaron. Fui muy afortunado por contar con tan maravillosas personas a mi lado, sin duda, no hubiese sido posible sin ustedes.

A Valeria Arias, mi compañera y amiga que recorrió conmigo este camino académico, del que nos llevamos un millón de enseñanzas y momentos inolvidables, su alegría y cariño fueron motivación para culminar este proyecto.

Quiero agradecer a todos los amigos que hice en esta etapa, de todos y cada uno de ellos llevo presente algo que me ha ayudado en la vida. Mil gracias por todo.

Las palabras se quedan cortas para expresar toda la gratitud que siento por quienes estuvieron a mi lado en este viaje. Este logro es tanto mío como de ustedes.

Camilo Arias.

Contenido

RESUMEN.....	15
ABSTRACT.....	16
CAPÍTULO I.....	17
INTRODUCCIÓN	17
1.1. Antecedentes	17
1.2. Problema y Justificación	18
1.3. Pregunta(s) directriz(ces) de la investigación	19
1.4. Objetivos	20
1.4.1. Objetivo general.....	20
1.4.2. Objetivos específicos	20
1.5. Hipótesis.....	20
MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. Marco teórico referencial	21
2.1.1. Lagos tropicales de alta montaña	21
2.1.2. Limnología en el norte del Ecuador	22
2.1.3. Lagos poco profundos de alta montaña	23
2.1.4. Relación del páramo con los lagos	24
2.1.5. Relación de parámetros fisicoquímicos con el fitoplancton	24
2.1.6. Función del fitoplancton	26
2.1.7. Fitoplancton como indicadores.....	27
2.1.8. Estado trófico	28
2.2. Marco Legal	29
METODOLOGÍA	31

3.1.	Área de estudio.....	31
3.2.	Materiales.....	32
3.3.	Métodos.....	33
3.3.1.	<i>Condiciones Meteorológicas</i>	33
3.3.2.	<i>Protocolo de Muestreo</i>	33
3.3.3.	<i>Conservación y Etiquetado</i>	35
3.3.4.	<i>Protocolo de Identificación y Recuento</i>	35
3.3.5.	<i>Determinación de la Diversidad Fitoplanctónica</i>	36
3.3.6.	<i>Experimentos in situ</i>	38
3.3.7.	<i>Determinación de Chl-a extraída</i>	38
3.3.8.	<i>Determinación del estado trófico del lago</i>	40
3.3.9.	<i>Relación de las comunidades fitoplanctónicas con el estado trófico</i> 43	
3.3.10.	<i>Relación de las comunidades fitoplanctónicas con parámetros físicos</i> 45	
3.3.11.	<i>Estrategias de conservación</i>	46
CAPÍTULO IV.....		47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		47
4.1.	Diagrama ombrotérmico.....	47
4.2.	Determinación de los puntos de muestreo.....	48
4.3.	Evaluación de la diversidad fitoplanctónica.....	49
4.2.1.	<i>Índices de diversidad</i>	52
4.3.	Determinación del estado trófico de El Voladero.....	53
4.3.1.	<i>Relación del estado trófico con la diversidad fitoplanctónica</i>	58
4.3.2.	<i>Resultados de los experimentos in situ</i>	64
4.3.3.	<i>Relación de los géneros con los parámetros físicos del lago</i>	66

4.4.	Estrategias de conservación	69
4.4.1.	<i>Plan de monitoreo para el sistema lacustre El Voladero</i>	69
CAPÍTULO V		72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		72
5.1.	Conclusiones	72
5.2.	Recomendaciones.....	73
Referencias.....		74
Anexos		84

Tabla de figuras

Figura 1. Lago de origen glaciar El Voladero	22
Figura 2. Estado trófico de los cuerpos de agua altoandinos del norte de Ecuador	23
Figura 3. Representación transversal de un ecosistema acuático y su dinámica .	26
Figura 4. Mapa de ubicación del lago el Voladero	31
Figura 5. Selección de puntos de muestreo en campo	34
Figura 6. Toma de muestras.	35
Figura 7. Identificación de organismos en laboratorio	36
Figura 8. Cámara Utermöhl de 10 ml	36
Figura 9. Filtro saturado de clorofila	39
Figura 10. Extracción de clorofila.....	39
Figura 11. Esquema probabilístico de clasificación de estados tróficos, basado en la concentración media de fósforo [P]	41
Figura 12. Esquema probabilístico de clasificación de estados tróficos, basado en la concentración media de clorofila [Chl].....	41
Figura 13. Esquema probabilístico de clasificación de estados tróficos, basado en la profundidad media anual del disco Secchi.....	42
Figura 14. Diagrama ombrotérmico de El Ángel (1990-2013).....	48
Figura 15. Puntos de muestreo en El Voladero	49
Figura 16. Porcentaje de abundancia relativa por Phylum.....	50
Figura 17. Curva de acumulación de especies y estimadores	51
Figura 18. Número de géneros de fitoplancton característicos de cada estado de hábitat.....	61
Figura 19. Diferencias entre las cantidades de Chl-a extraída de los diferentes tratamientos del experimento in situ	66

Figura 20. Gráfica del análisis de correspondencia canónica entre los géneros contabilizados y los parámetros físicos de El Voladero	68
Figura 21. Portada de la guía para el monitoreo del lago El Voladero.....	69
Figura 22. Puntos de muestreo para monitoreo de fitoplancton y parámetros físico-químicos de El Voladero	70

Índice de tablas

Tabla 1. Valores Generales del Índice de Estado Trófico (TSI) de Carlson (1977)	29
Tabla 2. Lista de materiales utilizados en la investigación	32
Tabla 3. Valores generales abiertos de la Clasificación de Estado Trófico. (Modificado desde OECD, 1982) y TSI Carlson (1977)	42
Tabla 4. Clasificación de los lagos neotropicales de acuerdo con el contenido de nitrógeno en sus tres formas y en TP	43
Tabla 5. Valores del índice OPI para géneros de fitoplancton.....	43
Tabla 6. Ponderación de índice de polución orgánica (OPI).....	44
Tabla 7. Coeficiente Qi como rango de la calidad de la calidad biológica de los diferentes grupos algales	44
Tabla 8. Valor Aj para la abundancia relativa en porcentaje de cada uno de los grupos.....	45
Tabla 9. Datos promedios mensuales de precipitación y temperatura de la estación meteorológica M0102 (1990-2013)	47
Tabla 10. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo	48
Tabla 11. Estimadores para datos de abundancia	51
Tabla 12. Resultados de los índices de diversidad calculados	53
Tabla 13. Promedios generales de los parámetros para evaluar el estado trófico	54
Tabla 14. Comparación de los valores obtenidos en El Voladero con los valores generales de Clasificación del Estado Trófico de la OECD (1982) y TSI Carlson (1977)	55
Tabla 15. Comparación de los valores obtenidos en El Voladero con los valores establecidos para la clasificación de los lagos neotropicales	57
Tabla 16. Clasificación de los géneros identificados según su hábitat.....	58
Tabla 17. Resultado de la aplicación del índice OPI.....	61

Tabla 18. Resultado de la aplicación del índice ITP	63
Tabla 19. Parámetros físicos de El Voladero en los cuatro puntos de muestreo ..	67

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES
DIVERSIDAD FITOPLANCTÓNICA Y SU RELACIÓN CON EL ESTADO
TRÓFICO DEL LAGO ANDINO EL VOLADERO, PROVINCIA DEL
CARCHI

Arias Cuasapaz Valeria Sthepania y Arias Marín Juan Camilo

RESUMEN

Los lagos altoandinos son ecosistemas que cumplen funciones ecológicas fundamentales, desde hábitat de una gran biodiversidad, hasta reguladores de regímenes hidrológicos, sin embargo, la información sobre el estado ecológico de muchos de estos sigue siendo escasa, a pesar de la gran importancia económica y ecológica que brindan. Con la finalidad de establecer una base de datos sobre el estado ecológico de lagos andinos del norte del Ecuador, se desarrolló una investigación en el lago El Voladero, en la Reserva Ecológica El Ángel, provincia del Carchi. El objetivo fue evaluar la diversidad fitoplanctónica y su relación con el estado trófico del lago, mediante el muestreo cualitativo y cuantitativo de fitoplancton, además, se elaboró un experimento *in situ* para la determinación de los nutrientes que limitan el crecimiento de fitoplancton, así como la radiación UV y la toma de parámetros fisicoquímicos y biológicos para la definición del estado trófico. Debido a que las muestras obtenidas eran poco densas ($< 10^3$ cel x mL⁻¹), se realizó el conteo cuantitativo mediante la utilización de la cámara Utermöhl identificándose 34 géneros cuyas abundancias totales oscilaron entre 3045 y 5632 individuos por cada 10 ml de muestra analizada. Se obtuvo una baja diversidad de acuerdo con los cuatro índices calculados (Shannon, Simpson, Pielou y Margalef) debido a una clara dominancia del género *Botryococcus*, por otro lado, se evidenció una co-limitación de nutrientes, tanto N como P son nutrientes que inciden directamente en el crecimiento de las comunidades fitoplanctónicas, al igual que la radiación UV. En cuanto al estado trófico, se determinó como oligotrófico con tendencia a mesotrófico, asimismo, se estableció una preferencia de 20 géneros a este estado ecológico. Finalmente, se elaboró un plan de monitoreo del lago como estrategia de conservación.

Palabras clave: fitoplancton, parámetros físico-químicos, estado trófico, limnología, lago poco profundo.

ABSTRACT

High Andean lakes are ecosystems that fulfill fundamental ecological functions, from habitat of great biodiversity to regulators of hydrological regimes; however, information on the ecological status of many of these lakes is still scarce, despite the great economic and ecological importance they provide. With the purpose of establishing a database on the ecological state of Andean lakes in northern Ecuador, research was carried out in El Voladero Lake, located in the El Angel Ecological Reserve, Carchi province. The objective was to evaluate the phytoplankton diversity and its relationship with the trophic state of the lake, through qualitative and quantitative sampling of phytoplankton. In addition, an *in situ* experiment was developed to determine the nutrients that limit phytoplankton growth, as well as UV radiation and physicochemical and biological parameters to define the trophic state. Because of the samples obtained were not very dense ($< 10^3$ cells x mL⁻¹), a quantitative count was performed using the Utermöhl chamber, identifying 34 genera whose total abundances ranged between 3045 and 5632 individuals per 10 ml of sample analyzed. A low diversity was obtained according to the four calculated indices (Shannon, Simpson, Pielou and Margalef) due to a clear dominance of the genus *Botryococcus*, on the other hand, a nutrient co-limitation was evidenced, both N and P are nutrients that directly affect the growth of phytoplankton communities, as well as UV radiation. As for the trophic state, it was determined as oligotrophic with a tendency to mesotrophic, and a preference of 20 genera to this ecological state was established. Finally, a monitoring plan for the lake was developed as a conservation strategy.

Key words: phytoplankton, physicochemical parameters, trophic state, limnology, shallow lake.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Los humedales son ecosistemas que cumplen funciones ecológicas fundamentales, desde hábitat de una gran biodiversidad, hasta reguladores de regímenes hidrológicos, constituyendo un recurso de gran importancia ecológica, económica, cultural, recreativa y científica que requieren conservarse (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2015a). En este sentido, Ramsar es un tratado intergubernamental mundial sobre la conservación y uso racional de los humedales, siendo así que la inclusión de un sitio a la Lista de Ramsar garantiza el deber de los gobiernos a tomar medidas de conservación y mantenimiento del sitio (Ramsar, 2010).

En este sentido, la limnología aborda problemas dentro de los ecosistemas acuáticos continentales, comúnmente se enfoca en lagos y en problemas biológicos o ecológicos, la presencia o ausencia de fitoplancton se relaciona directamente con la calidad del agua (Cole & Pace, 2020). De acuerdo con (Oliva-Martínez et al., 2014), el término fitoplancton corresponde a un grupo de microorganismos fotosintetizadores que viven en la columna de agua, estos organismos juegan un papel fundamental como base de las redes tróficas de los ecosistemas acuáticos y su evaluación en relación a factores físico-químicos de los cuerpos de agua, permiten determinar su estado de conservación.

Por otra parte, Ecuador pertenece al tratado de Ramsar al igual que La Reserva Ecológica El Ángel, la cual forma parte del listado oficial del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), ubicada en la provincia del Carchi, es un sitio Ramsar (MAE, 2015a; Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2020c), ya que, debido a sus características de suelo, se evidencia un escaso drenaje que genera acumulación de agua, convirtiéndolo en una fuente de abastecimiento de este recurso. Por lo que no solo es un sitio de importancia ecológica, y social, pues, su red hidrológica beneficia directamente a las comunidades presentes dentro

de la microcuenca del río El Ángel, utilizando el recurso hídrico para riego, hidroenergía, consumo humano y animal y actividades recreativas (Suárez, 2012).

Cabe señalar que, en Ecuador, las principales amenazas sobre los humedales, se deben a la presión ejercida sobre los recursos naturales por el incremento de actividades agropecuarias y aumento de la población, generando una creciente demanda de agua, cambiando los sistemas naturales de cuencas y subcuencas del país (Santander et al., 2006) y, dentro de la Reserva Ecológica El Ángel, se encuentran cuerpos de agua significativos, de importancia, principalmente, ecológica y recreativa; estos cuerpos de agua son el sistema lacustre El Voladero; sin embargo, a pesar de constituirse como cuerpos de agua relevantes, la información sobre sus características físicas, químicas y biológicas, son escasas, lo cual hace difícil el conocimiento sobre su estado de conservación (MAE, 2015b).

El sistema lacustre El Voladero corresponde a la categoría de los lagos andinos, los cuales poseen diversas características debido principalmente a que, muchos de ellos se ubican a grandes altitudes, por lo tanto, experimentan cambios de temperatura a lo largo del día, los procesos químicos, físicos y biológicos son drásticamente diferentes, debido a la radiación solar y producción primaria. Mayoritariamente el origen de los lagos andinos es tectónico, glaciar, volcánicos o fluvial (Aguilera et al., 2006; Ospina, 2019). Estos ecosistemas tienen importancia económica y ecológica, por ello resulta fundamental desarrollar estudios que permitan evaluar su estado y diversidad biológica, de esta manera se establezcan acciones oportunas y adecuadas para su conservación (López-Martínez et al., 2017).

1.2. Problema y Justificación

En Ecuador, los humedales y, por lo tanto, lagos y lagunas, tienen gran importancia tanto en el aspecto ecológico, como social; pues, albergan una importante biodiversidad, se constituyen como fuente importante de abastecimiento de agua para las sociedades e incluso, muchos de ellos son destinos de ecoturismo (Suárez, 2012; Cunalata & López, 2020). A pesar de que el ecoturismo trae consigo, en sentido de un aspecto social, desarrollo, conservación del espacio, participación

comunitaria y educación ambiental, desde una perspectiva ecológica, las atracciones naturales pueden sufrir una sobreexplotación y fuertes alteraciones al medio, pues los visitantes pueden alterar la vida silvestre, acarreado consigo, cambios en la alimentación y reproducción de las especies; además, implica la creación de una importante huella de carbono debido a que, para llegar a los atractivos, usualmente se requiere de viajes extensos en vehículos; por otro lado, el desarrollo mencionado en primera instancia, implica el avance de las fronteras agrícolas, la quema, la caza, la pesca, y, por ende, cambios hidrológicos, poniendo en peligro la biodiversidad y la calidad de los cuerpos de agua en sí (Cunalata & López, 2012).

Tal es el caso de la Reserva Ecológica El Ángel, en la provincia del Carchi, donde ríos, quebradas y lagunas benefician de manera directa a los habitantes de la microcuenca del río El Ángel, pues utilizan el recurso hídrico para riego, hidroenergía, consumo humano, animal y actividades recreativas, del sistema lacustre El Voladero (ECOLAP & MAE, 2007; Chimbolema et al, 2014); a pesar de que éstos cuerpos de agua son de gran importancia recreativa y ecológica y, encontrarse dentro de un área protegida, la cual cuenta con un plan de manejo, no existe hasta la actualidad información sobre el estado de conservación o la calidad de agua de los mismos, suponen un obstáculo en la estabilidad de los ecosistemas del país.

Por esta razón, el presente proyecto tiene como finalidad la generación de información base de la dinámica poblacional del fitoplancton en El Voladero definir el estado de conservación y propuestas para su conservación, así como establecer un protocolo de muestreo para cada cuerpo de agua que su posterior monitoreo y, por ende, la toma de decisiones sobre las actividades a realizarse en los cuerpos de agua .

1.3. Pregunta(s) directriz(ces) de la investigación

¿La diversidad fitoplanctónica tiene relación directa con el estado trófico del lago El Voladero?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la diversidad fitoplanctónica y su relación con el estado trófico del lago El Voladero de la provincia del Carchi

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar la diversidad fitoplanctónica en el lago El Voladero.
- Determinar el estado trófico con base en los parámetros físico-químicos de la cubeta lacustre en estudio.
- Diseñar estrategias de conservación para el lago El Voladero con base en los resultados obtenidos.

1.5. Hipótesis

- **H₀:** Los parámetros físico-químicos y la diversidad fitoplanctónica no tienen relación con el estado trófico del lago El Voladero.
- **H₁:** Los parámetros físico-químicos y la diversidad fitoplanctónica tienen relación con el estado trófico del lago El Voladero.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Marco teórico referencial

2.1.1. *Lagos tropicales de alta montaña*

Los lagos altoandinos o lagos tropicales de alta montaña son lagos de agua fría, ubicados principalmente en los Andes de Sudamérica (Ecuador, Colombia, México, Perú y Bolivia), África Central y Asia, a una altitud de aproximadamente 2000 a 4000 msnm, en eco-regiones terrestres conocidas como páramo y puna, por lo cual están expuestos a una radiación ultravioleta constante (Gunkel & Casallas, 2002; Ospina, 2019). Según Van Colen et al. (2017) estos lagos son característicamente oligotróficos debido a que presentan concentraciones menores a 1 µg/L de clorofila-a. Sin embargo, las actividades antrópicas como por ejemplo la ganadería en los páramos deteriora significativamente estos ecosistemas y su composición en las comunidades fitoplanctónicas (Van Colen et al., 2018).

De acuerdo con Aguilera et al. (2013) estos ecosistemas ofrecen condiciones de vida extrema, presentan características físico-químicas heterogéneas especialmente de pH y conductividad, a pesar de que comparten altitudes similares con los lagos alpinos, se diferencian en que no presentan una cobertura de hielo. Estos lagos presentan un crecimiento de macrófitas y fitoplancton limitado debido a la poca disponibilidad de nutrientes y alta transparencia, además de bajas temperaturas a lo largo de la columna de agua (Criales-Hernández et al., 2020; O'Sullivan & Reynolds, 2004). Dichos ecosistemas juegan un papel fundamental en la hidrología de las regiones, pues comúnmente son el suministro de diferentes cuencas hidrográficas, además de brindar diferentes servicios ecosistémicos (Buytaert et al., 2006). En Ecuador los lagos tropicales de alta montaña se encuentran en áreas protegidas, muchos de ellos son de origen glaciar formados por las depresiones geográficas (Steinitz-Kannan, 1997).



Figura 1. Lago de origen glaciar El Voladero

2.1.2. Limnología en el norte del Ecuador

En el norte del país se han desarrollado diferentes estudios limnológicos en las últimas décadas; Gunkel (2000) fue uno de los pioneros en realizar una investigación de este tipo en los lagos de la zona norte, demostró que el lago San Pablo, de acuerdo con las concentraciones de N y P, podría ser eutrófico, sin embargo, menciona que la biomasa del fitoplancton es característica de un lago mesotrófico.

Por otra parte, la laguna de Cuicocha es categorizada como oligotrófica debido a las bajas concentraciones de P y N, producto de las precipitaciones de óxidos de hierro presentes en él. Cabe mencionar que, la presencia de estos óxidos se debe a la actividad volcánica del área, además, presenta una biodiversidad relativamente baja, pues, en la zona litoral existe la presencia de una pequeña matriz de totora, además de la presencia de macrófitas hasta los 35 metros de profundidad y, las comunidades fitoplanctónicas están dominadas por diatomeas (Gunkel & Beulker, 2009).

Asimismo, se han realizado estudios en Yahuarcocha, un lago eutrófico poco profundo que presenta florecimiento de cianobacterias afectando la ecología del ecosistema, dicha perturbación es producto de las actividades antrópicas de la cuenca hidrográfica y de la presencia de especies exóticas que contribuyen a su

estado (Portilla, 2015; Van Colen et al., 2017). El caso de Mojanda es muy diferente, de acuerdo con Mandonx (2013) es un lago oligotrófico que presenta una alta diversidad en las comunidades fitoplanctónicas, indicando que el ecosistema se encuentra en un buen estado ecológico, además de bajas concentraciones de N y P debido a que no cuenta con impactos antropogénicos directos a diferencia de Yahuarcocha que es un atractivo turístico en el norte del país.

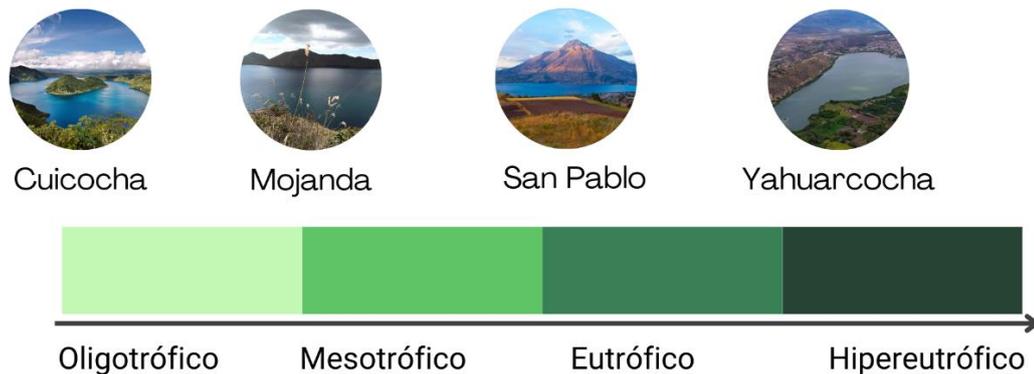


Figura 2. Estado trófico de los cuerpos de agua altoandinos del norte de Ecuador

2.1.3. *Lagos poco profundos de alta montaña*

A pesar de que los lagos poco profundos, cubren una parte significativa de la superficie del planeta y, ser de gran importancia debido a los servicios ecosistémicos que ofrecen (Downing et al., 2006), no está bien definido el criterio para ser catalogados como “poco profundos”, pues, ciertos autores, clasifican como lagos poco profundos a aquellos cuya profundidad no supera los 3 metros, sin embargo, otros autores mencionan como profundidad máxima para un lago poco profundo los 5 metros de profundidad; en este sentido, para determinar cómo lago poco profundo, se toma como concepto de éste, como aquel lago cuya estratificación no dura mucho tiempo, es decir, la columna de agua se mezcla constantemente (polimíctico) (Scheffer, 2004).

Por otra parte, cabe mencionar que, los lagos de alta montaña, debido a que se encuentran en altitudes superiores a los 3000 m.s.n.m., son lagos clasificados como lagos de agua fría, cuya temperatura, varía entre los 8 y 13 °C (Mandonx, 2013). Asimismo, Mandonx (2013), menciona que, uno de los factores más importantes a

tomar en cuenta en los lagos de alta montaña, es la radiación ultravioleta solar que éstos reciben, tanto radiación UV-A, como UV-B; pues, se estima que lagos de alta montaña en la zona ecuatorial, pueden recibir hasta 27% más radiación que aquellos que se encuentran en altitudes menores, lo que, en el fitoplancton, puede afectar la biosíntesis de pigmentos fotosintéticos. Dado que estos se encuentran en la capa superficial de los cuerpos de agua, donde la radiación penetra en mayor cantidad, en lagos de alta montaña, estos microorganismos tienen que adaptarse a condiciones de radiación alta, generando dos mecanismos que les permiten sobrevivir a estas condiciones: , la migración de los organismos a capas de agua más profundas donde la cantidad de radiación UV es menor (Padisák, 2004) y la capacidad de desarrollar pigmentos protectores capaces de filtrar radiación solar o carotenoides protectores del estrés fotooxidativo (Laurion et al., 2003).

2.1.4. *Relación del páramo con los lagos*

Los cuerpos de agua ubicados en latitudes altas como los páramos, son denominados c lagos glaciares, pues se encuentran en altitudes que varían entre los 3500 y 4500 m.s.n.m, siendo la temperatura del agua relativamente baja, variando entre los 10 y 12 °C; cabe mencionar que, los lagos de este tipo, reciben importantes aportes de nutrientes y materia orgánica directamente del suelo, pues este último, en páramos, es rico en carbono, tanto en suelo como en plantas (Zapata et al., 2021).

En los páramos, los cuerpos de agua poco profundos son característicos y, debido a que, en estas locaciones, generalmente, se encuentran rodeados de humedales, representan un contribuyente clave para la sostenibilidad de la biodiversidad y la capacidad de regular el agua (Giles et al., 2018). Sin embargo, los lagos poco profundos, son particularmente vulnerables frente al cambio climático, incluso, se ha registrado que pueden eutrofizarse más fácilmente que lagos profundos (Van Colen et al., 2017b).

2.1.5. *Relación de parámetros fisicoquímicos con el fitoplancton*

Se ha evidenciado que el fitoplancton responde rápidamente a ciertas condiciones favorables, por ejemplo: cuando se provocan fluctuaciones de nutrientes (N y P) producto de actividades antropogénicas se da un crecimiento acelerado en las

comunidades fitoplanctónicas, a este fenómeno se le conoce como blooms (Rissik et al., 2009). Se ha demostrado que estos blooms en algunos ecosistemas puede llegar a ser perjudicial para su estabilidad, algunas floraciones de cianobacterias inhiben el crecimiento de comunidades de plancton, asimismo, se evidenció que existe una relación positiva entre el Nitrógeno Total (TN) y el fitoplancton (Zhao et al., 2022).

Igualmente, la temperatura juega un rol fundamental en la fisiología y procesos metabólicos de los organismos acuáticos, en el fitoplancton la respiración, el crecimiento y la absorción de nutrientes dependen en gran medida de la temperatura del agua (Zohary et al., 2021), a una temperatura elevada y cantidad determinada de nutrientes las comunidades de fitoplancton aumentan su biomasa; sin embargo, la correlación entre el incremento en la biomasa de fitoplancton y la temperatura está sujeta al estado trófico del lago (Gerhard et al., 2019). No obstante, se ha evidenciado que un aumento en la temperatura de los cuerpos lacustres reduce significativamente la diversidad fitoplanctónica, y que solo algunos taxones como las cianobacterias están adaptadas a estas condiciones de temperatura (Rasconi et al., 2017).

Por otro lado, la penetración de la luz y la radiación solar tienen gran relevancia en los ecosistemas acuáticos, gran parte de la energía que fluye en la red trófica es proveniente de la energía solar que utiliza el fitoplancton en la fotosíntesis y síntesis de materia orgánica, estos procesos influyen directamente en la productividad de los ecosistemas (Wetzel, 2002). La absorción de luz en los cuerpos lacustres depende en gran medida por la transparencia del agua medida por la profundidad del disco Secchi y la cantidad de materia orgánica disuelta, es común que sea un indicador del estado trófico debido a la correlación con la biomasa de algas (Zou et al., 2020).

Zhen-Gang (2017) menciona que durante el proceso de la fotosíntesis las comunidades fitoplanctónicas utilizan el CO₂ para transformarlos en carbohidratos y oxígeno, bajando a su vez, la acidez del sistema (es decir el pH aumenta), durante el día los umbrales de oxígeno disuelto son altos, mientras que en la noche el proceso de respiración libera CO₂ (aumentando el pH) y los niveles de oxígeno

disuelto bajan a tal punto que es perjudicial para algunos organismos, de igual modo la disponibilidad del oxígeno disuelto en el agua se relaciona con la temperatura, una temperatura mayor es relacionada con una menor concentración de OD. Por otro lado, la profundidad cumple un rol esencial en la producción de fitoplancton, cuando el volumen de agua es mayor, el tiempo de retención incrementa, bajo condiciones ideales de nutrientes, temperatura y penetración de luz, estas comunidades tienden a florecer, es decir, existe un incremento en la producción primaria del ecosistema y los altos niveles de concentraciones de fitoplancton pueden llegar a tasas de biomasa en las que no pueden ser controladas por pastoreo de zooplancton, estas floraciones están fuertemente influenciadas por factores fisicoquímicos (Suthers & Rissik, 2009).

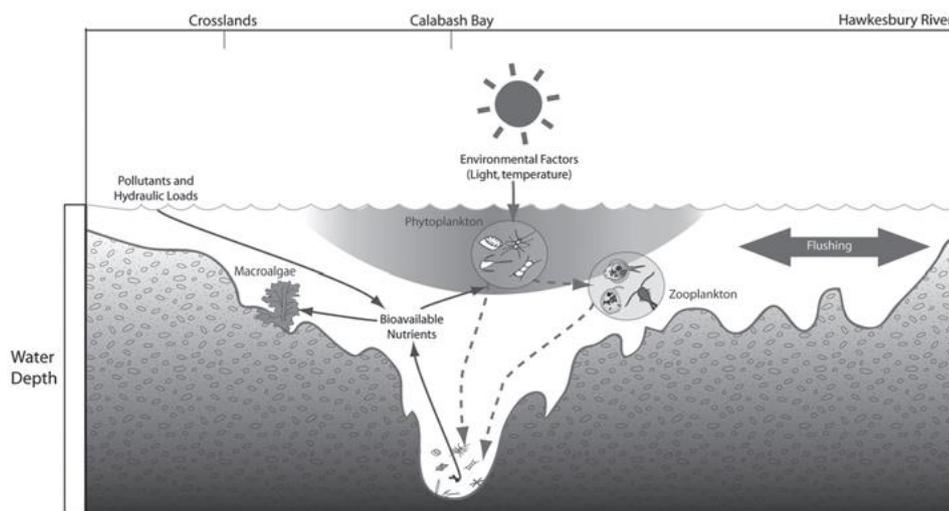


Figura 3. Representación transversal de un ecosistema acuático y su dinámica

Fuente: Suthers & Rissik (2009).

2.1.6. Función del fitoplancton

El fitoplancton, es la base de la cadena trófica, y, es de gran importancia para el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, ya que es su fuente principal de energía y, además, es el responsable de alrededor del 50 % de la producción primaria neta global (Field et al., 1998). Cabe señalar que, la composición de las comunidades fitoplactónicas determinan el destino de los procesos biogeoquímicos

que ocurren en el planeta, razón por la cual, resulta imprescindible conocer los factores que controlan la composición de especies y su dinámica en los cuerpos de agua (Winder & Sommer, 2012).

En este sentido, Winder & Sommer (2012) mencionan que la dinámica de las células fotosintéticas (fitoplancton), se relaciona con las fluctuaciones anuales de temperatura, pues, el clima, puede afectar de manera directa a través de la fisiología, como indirectamente cambiando la estratificación de la columna de agua, la disponibilidad de nutrientes y luz, lo que, a su vez, altera la estructura del fitoplancton a través del cambio de tamaño y su composición taxonómica. Así, cambios en las comunidades fitoplanctónicas, pueden generar daños ecosistémicos en cascada, tales como alteraciones en la producción primaria, la transferencia de energía a lo largo de la cadena trófica, los ciclos biogeoquímicos y la estabilidad de los ecosistemas acuáticos (Sommer et al., 2002).

2.1.7. *Fitoplancton como indicadores*

Muchas especies y comunidades son utilizadas para evaluar la calidad del ambiente y su evolución en el tiempo, algunos de estos organismos son susceptibles a pequeños cambios en el ecosistema producto de perturbaciones antropogénicas (Holt & Miller, 2011). Dichos organismos como algunos grupos de plancton pueden dar señal del estado eutrófico de los lagos, por ejemplo; se ha evidenciado que los rotíferos están presentes en lagos eutróficos, mientras que los calanoides ambientes oligotróficos (Suthers & Rissik, 2009); por otra parte, Dembowska et al. (2018) mencionan que las diatomeas toleran muchos niveles tróficos, desde mesotróficos hasta eutróficos.

Asimismo, se ha utilizado las cianobacterias como bioindicador de la calidad de agua, en Alemania, se incluyen cianobacterias para los programas de monitoreo, aunque comúnmente su presencia se asocia a un declive ecológico por su rápida respuesta al aumento de nutrientes (N y P), algunas especies son características de aguas limpias (Mateo et al., 2015). A su vez, se ha determinado la presencia de algunas especies de cianobacterias en lagos mesotróficos contaminados con metales pesados, estas especies están predominantes en los sedimentos (Custodio et al., 2022). Estudios, como el realizado por Dembowska et al. (2018) en lagos poco

profundos, reveló que el crecimiento de algas de las clases Chlorophyta y Cianobacterias, representan una eutrofización progresiva de los lagos.

Por otro lado, Chlorophyceae, es comúnmente asociado a ecosistemas saludables, es el grupo de algas presentes en agua dulce y su presencia se asocia al 90% de estos ecosistemas (Suthers & Rissik, 2009). Del mismo modo, el grupo de dinoflagelados puede proporcionar en ciertos casos información relevante del estado ambiental de los ecosistemas, por ejemplo; la presencia de *Chlorosaccus* spp se asocia a condiciones ricas en materia orgánica, asimismo la presencia *Goniochloris fallax* en ambientes con concentraciones considerables de nutrientes inorgánicos (Bellinger & Sigeo, 2015).

2.1.8. Estado trófico

El estado trófico no es una medida simple o ambigua, es el resultado de las mediciones y cálculos de los factores determinantes en los niveles tróficos, dichos parámetros son tanto fisicoquímicos, como biológicos. El Índice de Estado Trófico (TSI, por sus siglas en inglés) definido por Carlson (1977), utiliza la profundidad Secchi (m), la clorofila a (Chl a, ug/l) y el fósforo total (TP ug/l), para determinar el estado trófico de los ecosistemas, mediante el promedio de las siguientes formulas:

- $TSI_{SD} = 60 - 14.43 \ln(SD)$ (Ec 1)

- $TSI_{Chla} = 30.56 + 9.81 \ln(Chla)$ (Ec 2)

- $TSI_{TP} = 4.14 + 14.43 \ln(TP)$ (Ec 3)

- $TSI_T = \frac{(TSI_{SD} + TSI_{Chla} + TSI_{TP})}{3}$ (Ec 4)

Donde,

SD = Disco Secchi (m)

$Chl a$ = Concentración de la clorofila a en $\mu\text{g/l}$

TP = Concentración de fósforo total en $\mu\text{g/l}$

TN = Concentración de nitrógeno en $\mu\text{g/l}$

El TSI propuesto con Carlson es ampliamente utilizado, sin embargo, este es el resultado de relaciones empíricas entre los parámetros analizados para lagos templados, existen en la actualidad algunas adaptaciones para lagos tropicales (Cunha et al., 2013). En esta investigación se clasificó con el estado trófico tomando en cuenta los rangos establecidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores Generales del Índice de Estado Trófico (TSI) de Carlson (1977)

		Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipertrófico
Índice de Estado Trófico	Carlson (1977)	<40	41-50	51-70	>70

Fuente. Modificado de O'Sullivan (2005) y Chin (2013)

2.2. Marco Legal

El principal fundamento legal de la presente investigación está sustentado en la Constitución de la República del Ecuador (2008), dentro de la cual, en el Título II Derechos: Capítulo segundo; Derechos del buen vivir Sección primera Agua y alimentación, en el Art. 12 se declara al agua como patrimonio nacional estratégico para la vida y como un derecho humano fundamental y, en el Art. 14 se estipula que la población tiene derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Por otro lado, en el Título VII Régimen del Buen Vivir: Capítulo segundo; Biodiversidad y recursos naturales Sección sexta Agua, Art. 411 garantiza la conservación, recuperación y manejo de los recursos hídricos, regulando actividades que puedan afectar la calidad y cantidad de agua y, el equilibrio de los ecosistemas (Constitución De La República Del Ecuador, 2008).

En relación con los tratados y convenios internacionales, la Convención Ramsar aprobada en 1971, promueve la conservación y el uso racional de los humedales resaltando la importancia de los humedales como ecosistemas esenciales para la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible, con un gran valor económico, cultural, recreativo y científico (Ramsar, 2016).

De acuerdo con el Código Orgánico del Ambiente (COA), en el Libro II Del Patrimonio Natural: Título I De la Conservación de la biodiversidad, Art. 30 numeral 3, es fundamental establecer medidas para la conservación, uso sostenible y restauración de la biodiversidad, así como la prevención de la pérdida de los ecosistemas terrestres y acuáticos, tanto continentales como oceánicos, asimismo en el numeral 7, se estipula que se debe adoptar un enfoque integral y sistémico para la conservación y el uso sostenible de recursos hídricos (Asamblea Constituyente, 2017).

Por otro lado, el Libro III De la calidad ambiental: Título II Sistema Único de Manejo Ambiental Capítulo V Calidad de componentes abióticos y estado de los componentes bióticos, Art. 191 menciona que la Autoridad Ambiental Nacional en conjunto con el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, realizarán monitoreos, además de fomentar la generación de información sobre el estado de los componentes abióticos determinando causas y efectos de su contaminación, así como alternativas para su reducción.

Además, en la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua Título I Disposiciones preliminares: Capítulo I De los principios Art. 1 establece que los recursos hídricos son parte del patrimonio natural del Estado; el Art. 3 garantiza la gestión, preservación y restauración de los recursos hídricos. En Título II Derechos, garantías y obligaciones: Capítulo III Derechos de la naturaleza, el Art. 64 insta la conservación del agua y sus propiedades como derecho de la Pacha Mama para soporte de todas las formas de vida y, el Art. 65 determina que los recursos hídricos deben ser gestionados integralmente, de tal manera que se garantice la preservación de la biodiversidad (Asamblea Nacional, 2014).

Finalmente, se considera el Plan de Creación de Oportunidades en donde el Objetivo 11 correspondiente al Eje de Transición Ecológica, habla sobre restaurar, conservar, proteger y hacer uso sostenible de los recursos naturales y, el Objetivo 13 recalca la importancia de promover la gestión integral de los recursos hídricos (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Área de estudio

El sistema lacustre El Voladero, se ubica a 3700 msnm dentro de la Reserva Ecológica El Ángel, en la provincia del Carchi, delimitada por los cantones Espejo, Mira y Tulcán y, cubre una extensión de 24 ha (ECOLAP & MAE, 2007). De acuerdo con Valdiviezo-Rivera et al. (2016) este sistema lacustre está rodeado de abundante vegetación acuática emergente, especialmente *Scirpus californicus* (C.A.Mey.) Steud (Totorá), alejados de la zona litoral, la vegetación de páramo es característica del área donde existen grandes matrices de frailejones (*Espeletia pycnophylla* Cuatrec.), y pajonal (*Calamagrostias effusa* (Kunth) Steud.).

Dicho ecosistema presenta profundidades de 0,80 a 3 metros, además de presentar en sus sedimentos un material tipo limoso (Herrera-Madrid et al., 2020). Para esta investigación, se tomó en cuenta el lago con más influencia antrópica de todo el sistema lacustre (Figura 4), al cual se tiene acceso mediante un sendero autoguiado.

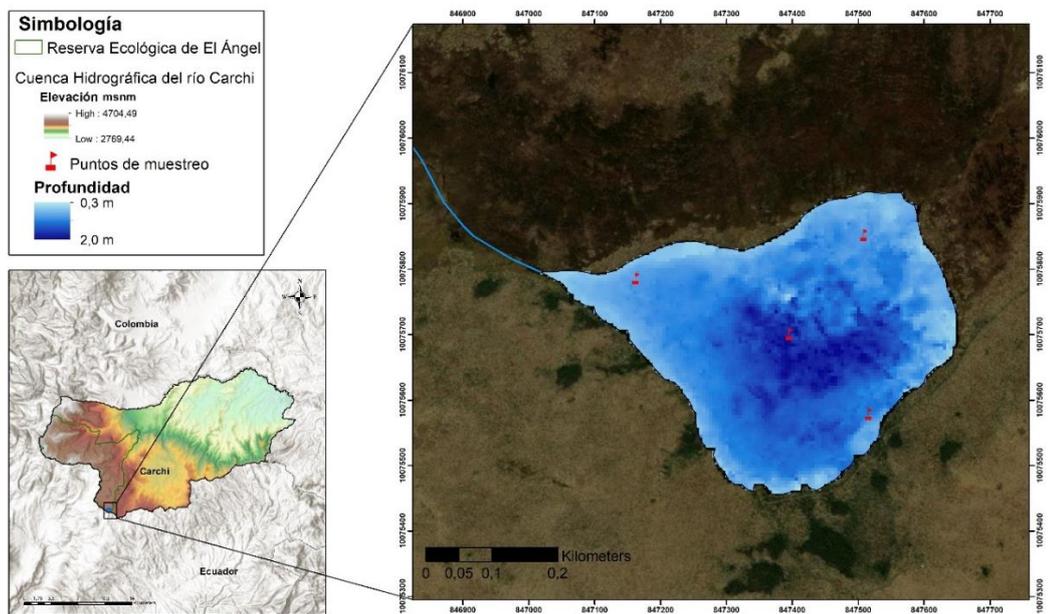


Figura 4. Mapa de ubicación del lago el Voladero

3.2. Materiales

Todos los materiales empleados, tanto para la fase de campo como para la fase de laboratorio, son detallados en la Tabla 2, detallados como insumos, equipos y softwares.

Tabla 2. Lista de materiales utilizados en la investigación

Insumos	Equipos	Softwares
Cartas topográficas del IGM de El Ángel, formato digital	GPS Garmin 62 sc	Programa ArgGIS 10.8
Anuarios meteorológicos de la estación El Ángel	Cámara fotográfica	Programa RStudio 4.2.1
Botas	Multiparámetro Hanna HI 9829	Programa Microsoft office 365
Gautes de látex	Disco Secchi	Programa Smart Counter 1.1.2
Fichas de campo	Red para fitoplancton (20 µm)	Programa EstimateS
Materiales de oficina	Red para zooplacton (64 µm)	PAST 4.03
Botellas de 1 L	Bote	
Cooler	Sonar	
Ancla móvil	Botella de Van Dorn	
Cuerdas	Fluorómetro Turner Desings 8000-010	
Agua destilada	Microscopio LAICA serie DM750	
Formaldehído al 4%	Cámara Utermöhl (10 ml)	
Solución de K ₂ HPO ₄		
Solución de NaNO ₃		
Filtros -UV		
Frame de aluminio		
Jeringas de 50 ml		
Filtros para clorofila		
Portafiltros		

3.3. Métodos

3.3.1. Condiciones Meteorológicas

Para determinar las condiciones climáticas del área de estudio se procesaron datos mensuales del clima de la ciudad o la reserva El Ángel, desde el año 1990 hasta el año 2013, obtenidos de la Estación Meteorológica El Ángel (M0102). En esta fase de la investigación se destaca que el cuerpo lacustre El Voladero se encuentra a 10.20 kilómetros de la estación meteorológica. Con la información resumida de la estación meteorológica de 23 años, se realizó el diagrama ombrotérmico de El Ángel ciudad o la reserva que, mediante el empleo de los datos mensuales de precipitación (mm) y temperatura (°C), permitió visualizar los meses ecológicamente secos y lluviosos.

3.3.2. Protocolo de Muestreo

La selección de los puntos de muestreo se realizó mediante el análisis de información cartográfica e imágenes satelitales, determinando la ubicación de puntos de salidas, entradas, el punto más profundo del lago y en las zonas donde se presencia actividades antrópicas, de manera que el muestreo incluya toda la cubeta lacustre (Figura 5). Las muestras fueron recolectadas bajo la autorización de recolección de especímenes de especies de la diversidad biológica no. 2584. Código MAATE-ARSFC-2022-2584 (Anexo 7).

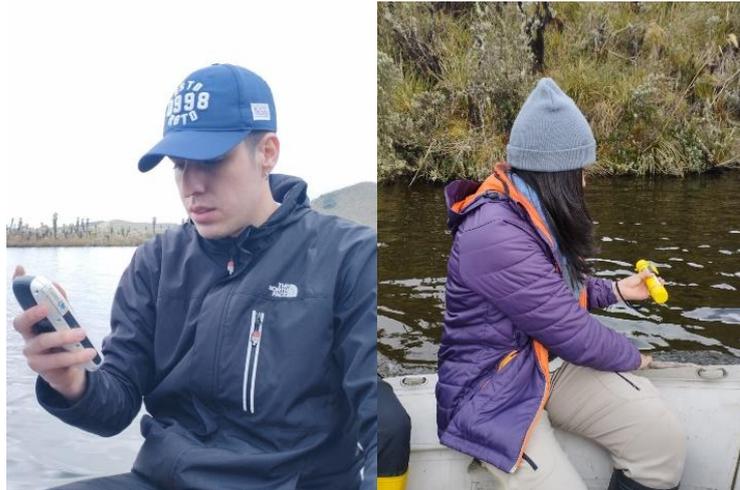


Figura 5. Selección de puntos de muestreo en campo

Cabe señalar que, la metodología de muestreo se basó en los lineamientos de la Conferencia Hidrográfica del Ebro (2005):

- Los puntos de muestreo se seleccionaron tomando en cuenta la morfometría de la cubeta lacustre (Figura 6).
- Muestras de superficie en el propio recipiente a unos 25 a 30 cm por debajo de la superficie, el recipiente debe estar lleno hasta el 90% de su capacidad.
- Muestra integrada entre la superficie y la profundidad, se toman muestras a diferentes profundidades con la botella de Van Dorn y se procede a mezclar todas las muestras, es importante tener en cuenta que las muestras que se mezclan sean de volúmenes iguales.
- Se tomaron 3 réplicas de muestras en cada punto seleccionado, además de tomar directamente los parámetros físicos con el multiparámetro.
- Con fines de muestreo cualitativo con la red de nyal se realiza un barrido por arrastre vertical hasta conseguir un filtrado visible que se añade a un recipiente de vidrio.



Figura 6. Toma de muestras.

3.3.3. Conservación y Etiquetado

Dado que las muestras no fueron examinadas inmediatamente, se añadió un conservante, formaldehído al 4 %, el cual, dada su naturaleza tóxica, requiere el uso de medidas precautelatorias (trabajar en espacios bien ventilados, uso de guantes y recipientes herméticos). Cada muestra contaba con una $\frac{1}{4}$ parte de formaldehído, posteriormente se agita la muestra para homogenizar. Es oportuno que las muestras fijadas se almacenen en el cooler y protegidas de la luz.

Todas las muestras fueron etiquetadas con información clave, como: código de la muestra, profundidad, método y punto de recolección.

3.3.4. Protocolo de Identificación y Recuento

Para la identificación de los organismos, se utilizó las características morfológicas que son percibidas a través de microscopía, la forma, el tamaño, el color de las células, el tipo de pared celular, la presencia o ausencia de flagelos y otros organelos distintivos de cada división de algas, con ayuda de un microscopio marca LEICA serie DM750 con un aumento máximo de 100X (Figura 7). Por otra parte, el uso de guías, literatura especializada y bases de datos ayudaron a la determinación taxonómica de las especies (Bicudo & Menezes, 2006; Guamán-Burneo & Goinzález, 2016), comprobando las descripciones de las especies y su información ecológica, es decir, su distribución, hábitat y requerimientos para su desarrollo. Asimismo, el trabajo de identificación y recuento se sustentó comparando con dibujos y fotos de colecciones de referencia.



Figura 7. Identificación de organismos en laboratorio

Las muestras fueron sedimentadas por 12 horas y, posteriormente, contabilizadas en una cámara Utermöhl con capacidad de 10 mL (Figura 8) óptimas para muestras con baja densidad celular (Andersen, 2005); con ayuda del microscopio se hicieron barridos verticales a lo largo de la cámara contando cada uno de los organismos con ayuda de un contador digital.



Figura 8. Cámara Utermöhl de 10 ml

3.3.5. Determinación de la Diversidad Fitoplanctónica

Para la determinación de la diversidad fitoplanctónica se utilizaron los índices de Shannon-Wiener (6), índice de Riqueza de Margalef (7) e índice de Pielou (8)

(Margalef, 1996; Pielou, 1966; Shannon, 1948; Simpson, 1949). Estos índices permiten una estimación de la variabilidad biológica a partir de datos de campo.

$$H' = \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (\text{Ec } 5)$$

Donde;

P_i = la proporción de individuos encontrados en la i -ésima, se determina calculando n_i/N , donde n_i es la abundancia de la especie i en la muestra

N = el número de individuos totales

$$Dmg = \frac{s-1}{\ln N'} \quad (\text{Ec } 6)$$

Donde;

N = el total de individuos contabilizados en la muestra

S = el número de especies registradas

$$J' = \frac{H'}{\ln(S)} \quad (\text{Ec } 7)$$

Donde;

H' = el índice de Shannon

S = el número total de géneros en la muestra

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i-1)}{N(N-1)} \quad (\text{Ec } 8)$$

Donde;

S = el número de especies

N = el total de organismos presentes

n = el número de ejemplares por especie

Cabe señalar que, el cálculo de todos los índices de diversidad, fueron realizados en el software EstimateS y Rstudio a través del paquete Vegan y BiodiversityR (Oksanen, 2010; Kindt & Kindt, 2019).

3.3.6. Experimentos in situ

La limitación de nutrientes se define mediante la respuesta del fitoplancton de los sistemas lacustres en estudio, frente a la adición de nutrientes (nitrógeno (N), fósforo (P) o ambos (NP)). Para el experimento de limitación de nutrientes, se llenaron 12 botellas de 1 L con agua del lago en estudio filtrado previamente a través de un filtro de 64 μm y, se dividieron en cuatro tratamientos: para el enriquecimiento de N, se añadió 7.01 mg L^{-1} de NaNO_3 , para el enriquecimiento de P, se añadió 0.77 mg L^{-1} de K_2HPO_4 , para NP se añadieron los dos productos químicos mencionados anteriormente en las mismas cantidades y, se dejó un tratamiento testigo o de control al cual no se le añadió ningún nutriente. Los días de incubación de los tratamientos varían dependiendo de la temperatura del agua de los lagos, para El Voladero el tiempo óptimo fue de 7 días. Al finalizar el experimento, con el fluorímetro, se midió el contenido de Chl-a como indicador de crecimiento de fitoplancton (Saelens, 2014).

Debido a que se trata de un lago de alta montaña, también se realizó un experimento UV, para el cual, al experimento de nutrientes se añadieron 3 botellas de 1 L adicionales, a las cuales se las cubrió con papel filtro UV (-UV) y no se añadieron nutrientes en absoluto; cabe señalar que el tratamiento testigo empleado para la parte de experimentación de nutrientes, también fue empleado con el mismo propósito para el experimento UV (Mandonx, 2013).

3.3.7. Determinación de Chl-a extraída

Para la determinación de clorofila extraída se utilizó el método de fluorimetría propuesto por Rice et al. (2017), en donde se utilizó metanol como solvente para extraer la clorofila de las células, para el procedimiento se tomó una muestra de 300 ml de cada botella que fue previamente filtrada con la red de 64 μm , para pasar por los filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F (0,7 μm de poro), el volumen filtrado varía dependiendo de la saturación del filtro (Figura 9) (Wetzel & Likens, 2000).



Figura 9. Filtro saturado de clorofila

Los filtros fueron cortados en pequeños fragmentos y fueron almacenados en un tubo protegido de la luz con 10 ml de metanol (Figura 10) que posteriormente fueron refrigerados por 24 horas a 4°C y se centrifugaron a 3000 rpm durante 20 minutos. La medición fluorométrica se realizó con el equipo Turner Desings 8000-010, los resultados arrojados por el equipo se transformaron utilizando la siguiente fórmula (9).

$$Chla (\mu g/L) = \frac{1.1526 * (\text{valor fluorímetro}) * \left(\frac{Vol\ metanol}{Vol\ filtrado}\right)}{2.45} \quad (\text{Ec } 9)$$



Figura 10. Extracción de clorofila

Una vez obtenidos los valores de Chl-a, se depuró la base de datos y, posteriormente, se realizaron pruebas de normalidad para determinar si los datos eran paramétricos o no, luego se realizó un análisis de datos paramétricos aplicando el método de ANOVA, seguidamente de una prueba Post-Hoc de Tukey para

comparar las medias que difieren significativamente entre pares de tratamientos. Una vez obtenidos los valores de Chl-a, se depuró la base de datos y, posteriormente, se realizaron pruebas de normalidad para determinar si los datos eran paramétricos o no luego se realizó un análisis de datos paramétricos aplicando el método de ANOVA, seguidamente de una prueba Post-Hoc de Tukey para comparar las medias que difieren significativamente entre pares de tratamientos. Una vez obtenidos los valores de Chl-a, se depuró la base de datos y, posteriormente, se realizaron pruebas de normalidad para determinar si los datos eran paramétricos o no luego se realizó un análisis de datos paramétricos aplicando el método de ANOVA, seguidamente de una prueba Post-Hoc de Tukey para comparar las medias que difieren significativamente entre pares de tratamientos. Todas las pruebas estadísticas fueron ejecutadas en el software RStudio (Mandonx, 2013).

3.3.8. Determinación del estado trófico del lago

Para determinar el estado trófico de El Voladero se usó el Índice de Estado Trófico (TSI) de Carlson (1977), utilizando datos promedios de: profundidad del Disco Secchi (m), clorofila a ($\mu\text{g/l}$) fósforo total (TP) y nitrógeno total (TN); dichos datos fueron usados en fórmulas (Ec 1, Ec 2, Ec 3) establecidas para cada parámetro mencionado anteriormente y, mediante el promedio de las fórmulas, se obtuvo el valor final de TSI, el cual fue comparado con los niveles tróficos expuestos por Carlson (1977).

Además, se comparó el valor de cada parámetro de manera individual, con la tabla de valores generales abiertos establecidos de la clasificación del estado trófico de la OECD (1982) y TSI Carlson (1977), presentados en la Tabla 3.

Cabe señalar que, debido a que el sistema de límites tróficos abiertos agrega un aspecto probabilístico para su clasificación, en primera instancia se comparó cada parámetro con su respectivo gráfico de predicción de la probabilidad del estado trófico, desarrollado por la OECD, donde el eje “Y” representa la probabilidad, mientras que en el eje “X” se muestra la concentración del parámetro; por ejemplo, en el caso del fósforo (Figura 11), un valor de $10 \mu\text{g/l}$ de TP, sugiere un 60% de probabilidad de que se trate de un lago oligotrófico, un 25% de probabilidad de que

sea mesotrófico y, un 10 % de probabilidad de ultra-oligotroficidad. De la misma manera, se analizan los valores de clorofila-a y disco Secchi (Figura 12 y 13) mediante los gráficos de probabilidad.

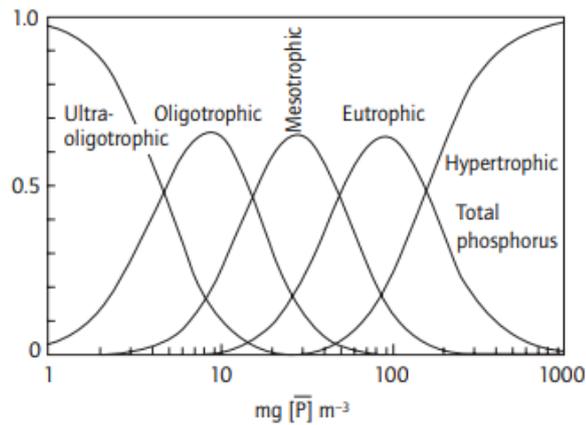


Figura 11. Esquema probabilístico de clasificación de estados tróficos, basado en la concentración media de fósforo [P]

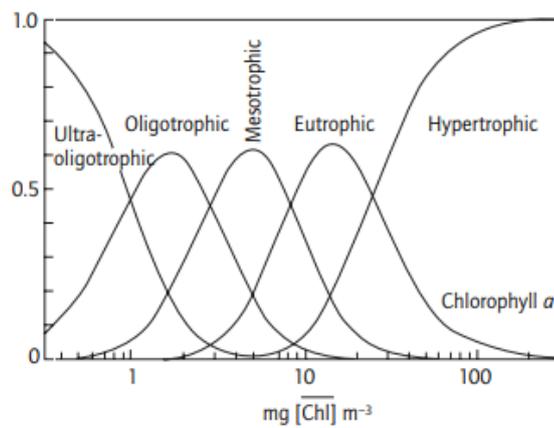


Figura 12. Esquema probabilístico de clasificación de estados tróficos, basado en la concentración media de clorofila [Chl]

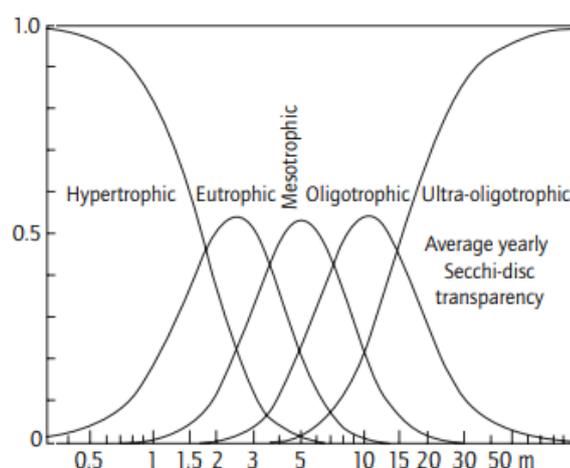


Figura 13. Esquema probabilístico de clasificación de estados tróficos, basado en la profundidad media anual del disco Secchi

Tabla 3. Valores generales abiertos de la Clasificación de Estado Trófico. (Modificado desde OECD, 1982) y TSI Carlson (1977)

		Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipertrófico
Concentración de fósforo total ($\mu\text{g/L}$)	Promedio	8.0	26.7	84.4	-
	Rango	3.0 – 17.7	10.9 – 95.6	16 - 386	750 – 1200
Concentración de nitrógeno total ($\mu\text{g/L}$)	Promedio	661	753	1875	-
	Rango	307 - 1630	361 - 1387	393 - 6100	-
Concentración de clorofila a ($\mu\text{g/L}$)	Promedio	1.7	4.7	14.3	-
	Rango	0.3 – 4.5	3 - 11	3 - 78	100 – 150
Disco Secchi (m)	Promedio	9.9	4.2	2.45	-
	Rango	5.4 – 28.3	1.5 – 8.1	0.8 – 7.0	0.4 – 0.5
Índice de Estado Trófico	Carlson (1977)	<40	41-50	51-70	>70

Fuente:. Modificado de O'Sullivan (2005) & Chin (2013)

Además, se compararon valores de amonio, nitritos, nitratos y Fósforo Total con la tabla de clasificación de lagos neotropicales de acuerdo con el contenido de

nitrógeno en sus tres formas y el Fósforo Total (Tabla 4) establecida por Esteves (1998).

Tabla 4. Clasificación de los lagos neotropicales de acuerdo con el contenido de nitrógeno en sus tres formas y en TP

Estado trófico	Amonio (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Fósforo total (mg/L)
Oligotrófico	0.0 – 0.3	0.0 – 1.0	0.0 – 0.5	< 0.01
Mesotrófico	0.3 – 2.0	1.0 – 5.0	0.5 – 5.0	0.01 – 0.02
Eutrófico	2.0 – 15.0	5.0 – 50.0	5.0 – 15.0	0.02 – 1.00

Fuente: Roldán & Ramírez (2008)

3.3.9. Relación de las comunidades fitoplanctónicas con el estado trófico

Una vez identificados los organismos presentes en el cuerpo de agua, se estableció la relación de éstas con el estado trófico del hábitat del que son característicos, para lo cual se revisó material bibliográfico sobre los aspectos ecológicos correspondientes a cada taxón de fitoplancton identificado.

Además, para corroborar la información obtenida bibliográficamente, se emplearon los siguientes dos índices:

- Índice de Polución Orgánica (OPI), cuyo cálculo consiste en considerar 20 de las algas más tolerantes (Tabla 5) cuya densidad en una muestra de 1 mL, debe ser mayor a 50 individuos (Palmer, 1979); este índice se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$OPI = \sum_{i=1}^{20} \text{Valor del índice para cada género} \quad (\text{Ec } 10)$$

Tabla 5. Valores del índice OPI para géneros de fitoplancton

Género	OPI
Euglena y Oscillatoria	5
Chlamydomonas y Scenedesmus	4
Chlorella, Navicula y Nitzschia	3

Ankistrodesmus, Phacus, Stigeoclonium y Synedra	2
Anacystis, Closterium, Cyclotella, Gomphonema, Leponciclis, Melosira, Micractinium, Pandorina y Phormidium	1

Fuente: Palmer (1979)

La interpretación del resultado de este índice se expresa en la Tabla 6.

Tabla 6. Ponderación de índice de polución orgánica (OPI)

Valores	Características
≥ 20	Alta polución orgánica
15 - 19	Polución orgánica intermedia
< 15	Baja contaminación orgánica

Fuente: Ramírez (2000)

- Índice Trófico Planctónico (ITP) establecido por Barbe *et al.* (2003), el cual considera 9 grupos algales a los cuales se les atribuye un coeficiente (Tabla 7) y, la abundancia relativa de éstos a la cual, al igual que a los grupos algales, se le atribuye un valor (Tabla 8). Este índice es expresado mediante la fórmula:

$$ITP = \sum Q_i * A_j \quad (\text{Ec } 11)$$

Tabla 7. Coeficiente Q_i como rango de la calidad de la calidad biológica de los diferentes grupos algales

Q_i	Grupo algal
1	Desmidiaceae
2	Bacillariophyceae
3	Chrysophyceae
4	Dinophyceae
5	Cryptophyceae y Clorophyceae
6	Haptophyceae y Cyanophyceae

Fuente: Barbe *et al.* (2003)

Tabla 8. Valor Aj para la abundancia relativa en porcentaje de cada uno de los grupos

Aj	Abundancia relativa
0	De 0 a 10
1	De 10 a 30
2	De 30 a 50
3	De 50 a 70
4	De 70 a 90
5	De 90 a 100

Fuente: Barbe *et al.* (2003)

El valor obtenido con el cálculo de este índice revela el estado trófico del medio, donde los valores se clasifican entre 0 – 20, 21 – 50 y 51 – 100, indicando un estado oligotrófico, mesotrófico y eutrófico, respectivamente.

3.3.10. Relación de las comunidades fitoplanctónicas con parámetros físicos

Para establecer la relación entre variables físicas del lago y abundancias de especies se utilizó un análisis de correspondencia canónica, este método permite establecer una relación entre dos matrices, una matriz de variables ambientales y una matriz de abundancia de especies permitiendo visualizar la asociación entre los conjuntos de datos (Ter Braak, 1986). Esta metodología es ampliamente utilizada en limnología, para determinar la relación de variables físicas del lago con las comunidades fitoplanctónicas identificadas del Voladero se estableció 999 permutaciones Monte Carlo para evaluar la significancia estadística generando muestras aleatorias entre la matriz de datos ambientales y la matriz de abundancia de especies (Santana *et al.*, 2018; Ter Braak & Verdonschot, 1995).

3.3.11. Estrategias de conservación

Las estrategias de conservación deben considerar factores ecológicos y sociales además de estar diseñadas de manera técnica con base al estado de la cubeta lacustre estudiada; en este sentido, el planteamiento de las estrategias de conservación se basó en los lineamientos de la literatura sobre el concepto de estrategias de manejo de los lagos poco profundos, enfocados en la conservación y del análisis de los resultados de los parámetros físicos de mayor relevancia, los mismos que influyen en el estado trófico del lago en estudio.

Un elemento esencial en cualquier proyecto de manejo es el seguimiento del proceso y sus resultados, el cual se puede llevar a cabo a través del monitoreo, (Callaway et al., 2001). Si se pretende proteger los cuerpos de agua y éstos retengan sus nutrientes, el monitoreo de la calidad del agua puede ser suficiente, pero, si lo que se busca es reducir la eutrofización de un lago, el monitoreo debe estar enfocado a la medición de las concentraciones de clorofila o la turbidez (Sánchez et al., 2007). Un programa de monitoreo participativo promueve el involucramiento de las personas de las comunidades, gobiernos locales, además, de formar capacidades que permitan conservar los ecosistemas y valoren los impactos de las actividades sobre estos, por ello su implementación supondría una potencial estrategia de conservación de las áreas de estudio (UICN, 2018).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Diagrama ombrotérmico

Para la determinación de la estacionalidad climática (época seca y época lluviosa) del área de estudio, se emplearon datos de temperatura (Anexo 1) y precipitación (Anexo 2) de la estación meteorológica M0102 (Tabla 9). El diagrama ombrotérmico es el resultado del promedio de 23 años de anuarios meteorológicos del INAMHI.

Tabla 9. Datos promedios mensuales de precipitación y temperatura de la estación meteorológica M0102 (1990-2013)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Prec. (mm)	88.50	84.51	98.70	90.75	70.94	34.39	25.03	19.65	35.69	83.12	115.41	109.84
Temp. (°C)	12.07	12.07	12.31	12.51	12.43	11.88	11.36	11.31	11.88	12.27	12.17	12.09

El diagrama ombrotérmico de El Ángel, muestra una temperatura media de 12.03 °C y, una precipitación media de 71.38 mm. El análisis de la temperatura y la precipitación, indica que, en esta área, el mes de agosto pertenece a la época seca, con una temperatura promedio de 11.31 °C y precipitación media de 19.65 mm; por otro lado, el resto de meses pertenecen a la época lluviosa, siendo noviembre y diciembre los meses con mayor precipitación, con 115.41 mm y 109.84 mm, respectivamente; por ende, el diagrama ombrotérmico, indica un régimen de anual de lluvias uniforme, ya que las precipitaciones están bien distribuídas a lo largo del año (Figura 14).

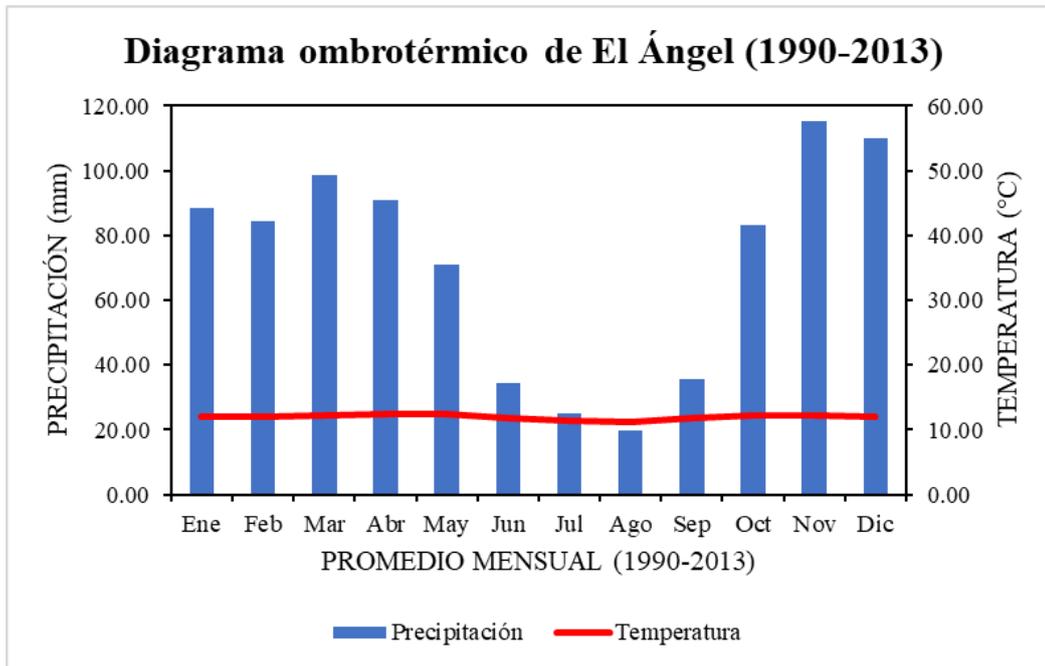


Figura 14. Diagrama ombrotérmico de El Ángel (1990-2013)

4.2. Determinación de los puntos de muestreo

Se seleccionaron 4 puntos de muestreo dentro del lago, cuyas coordenadas se encuentran expresadas en la Tabla 10 e. Cabe mencionar que el Punto 1 corresponde a la zona cercana con actividad antrópica (P1_AA), el punto 2 es el punto más profundo del lago (P2_PP), el punto 3 se encuentra cerca la salida de agua del lago (P3_SAL) y, el punto 4 se encuentra cercano a la zona litoral (P4_LIT).

Tabla 10. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo

El Voladero		
	Latitud	Longitud
P1_AA	0°41'02.7888" N	77°52'53.1696" W
P2_PP	0°41'07.4220" N	77°52'41.3904" W
P3_SAL	0°40'55.8768" N	77°52'46.3728" W

Como se puede observar en la Figura 15, los puntos de muestreo establecidos abarcan las zonas de interés establecidas en el protocolo de muestreo.

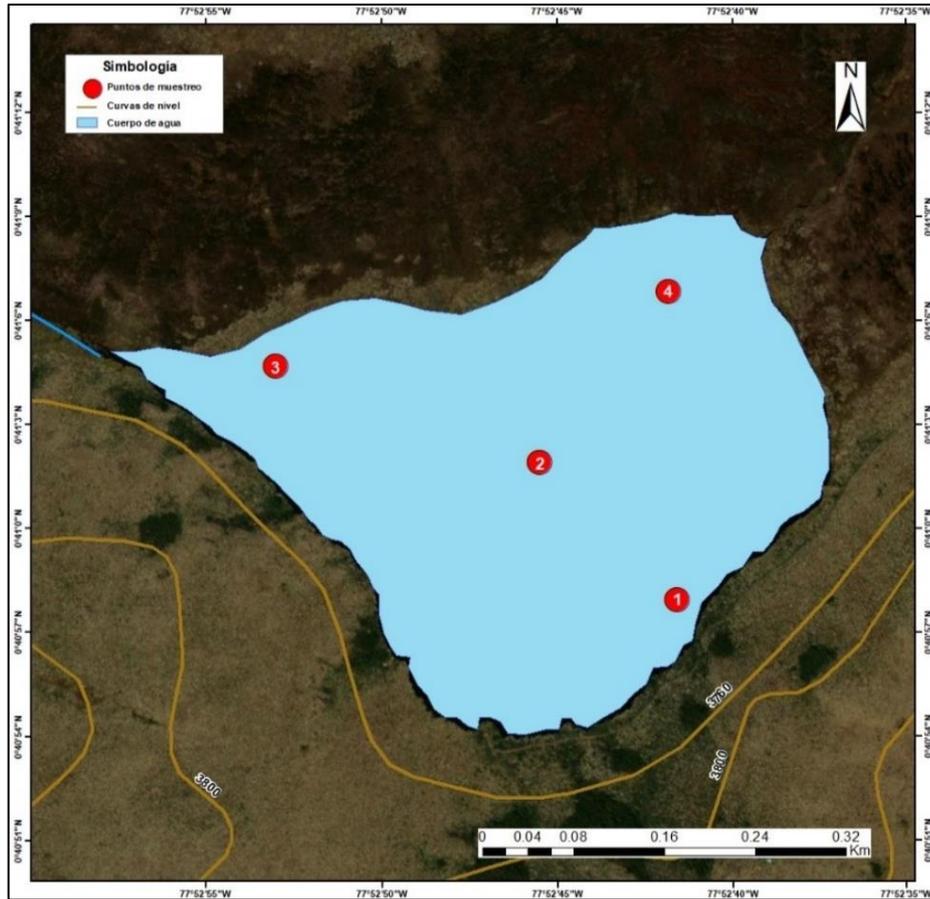


Figura 15. Puntos de muestreo en El Voladero

4.3. Evaluación de la diversidad fitoplanctónica

La identificación de las especies de fitoplancton se realizó mediante el análisis de la muestra obtenida por arrastre. Se identificaron 34 géneros distribuidos en 26 familias, 19 órdenes, 9 clases y 7 divisiones (Anexo 4), las abundancias totales oscilaron entre 3045 y 5632 individuos por cada 10 ml de muestra analizada (Anexo 5). Los diferentes géneros se agruparon en phylum para determinar si existe algún patrón de abundancia ya que es un nivel alto en la clasificación taxonómica y se determinó el porcentaje de abundancia relativa en los diferentes puntos de muestreo

(Figura 16) evidenciando una fuerte dominancia de algas Chlorophyta, la misma dominancia de este phylum fue reportada por Mandonx, (2013) en Mojanda un lago altoandino con condiciones físicas similares al área de estudio y por Van Colen et al., (2017) en lagos altoandinos del Parque Nacional Cajas, la dominancia de Chlorophyta está relacionada con la ecología del phylum, estos organismos son autótrofos y obtienen su almidón de la fotosíntesis por lo que prefieren aguas superficiales y ecosistemas lacustres donde la luz está presente en gran parte de la columna de agua (Reynolds, 2006); estas condiciones son propias de lagos oligotróficos.

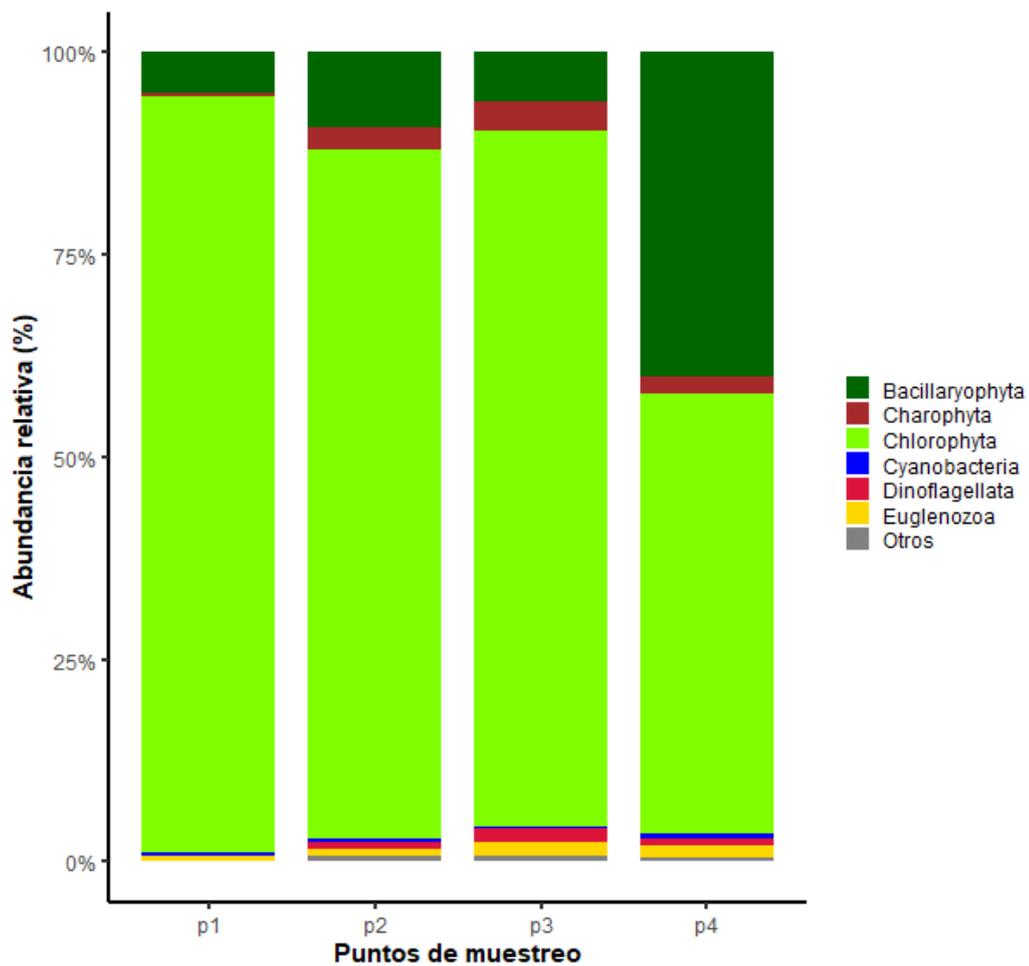


Figura 16. Porcentaje de abundancia relativa por Phylum

Basándose en la curva de estimación de especies (Figura 17), se puede determinar que el esfuerzo de muestreo es adecuado para el sistema lacustre, ya que la curva asintótica tiende a descender indicando que, aunque aumente el número de

muestreos no incrementara significativamente el número de especies encontradas (Villarreal et al., 2006).

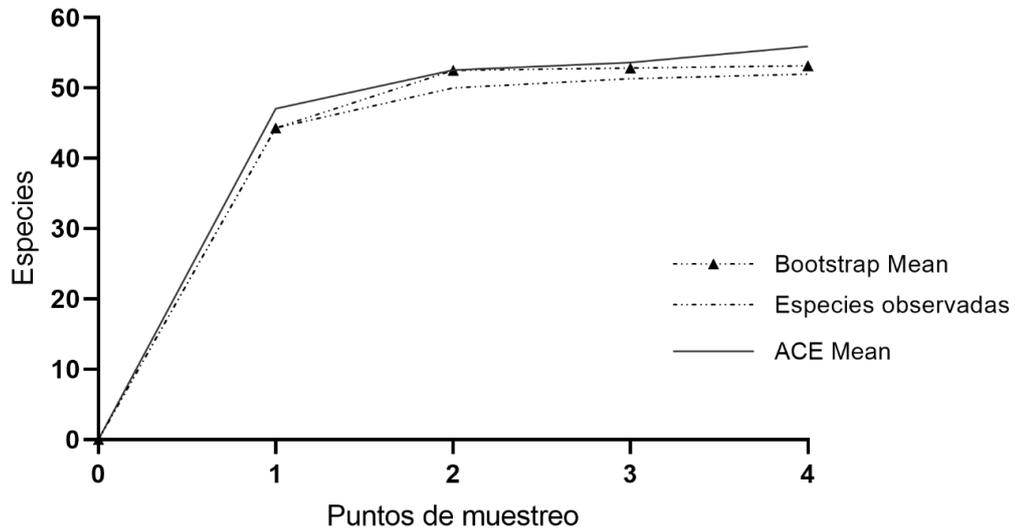


Figura 17. Curva de acumulación de especies y estimadores

Asimismo, los estimadores (Tabla 11) muestran una eficiencia > 90% indicando que con el número de eventos de muestreo aplicados se logró determinar más del 90% de las especies estimadas para el ecosistema.

Tabla 11. Estimadores para datos de abundancia

Puntos de muestreo	ACE Mean	Chao 1 Mean	Jack 1 Mean	Bootstrap Mean	MMRuns Mean
Punto 1	47,09	46,56	44,32	44,32	0
Punto 2	52,57	52,27	54,98	52,5	60,44
Punto 3	53,61	53,28	53,83	52,83	57,39
Punto 4	55,94	55	54,25	53,18	56,31
Eficiencia	91,17	92,73	94,01	95,90	90,57

4.2.1. Índices de diversidad

Una vez contabilizadas las muestras de agua, correspondientes a los cuatro puntos de muestreo, se evidencia que, a pesar de que existe gran riqueza no se evidencia uniformidad entre los géneros identificados, pues, en todas las muestras, la mayoría de los individuos contabilizados corresponden a *Botryococcus* cuya abundancia, en cada muestra, corresponde aproximadamente, a la mitad de todos los individuos contabilizados; esta ausencia de uniformidad, evidencia en el cálculo del índice de Pielou, siendo el Punto 1 ($J' = 0.22$), el menos uniforme y, el Punto 4 ($J' = 0.66$), el que mayor uniformidad presenta, Cavero et al., (2020) obtuvieron valores similares en donde la dominancia del género *Botryococcus* fue relevante en tres lagunas altoandinas de Perú, esto puede ser explicado al tratarse de una alga cosmopolita.

Así pues, mediante el cálculo de cuatro índices de diversidad (Tabla 12), es posible afirmar que en el lago El Voladero, no existe una alta diversidad. En el caso del índice de Shannon, todos los valores obtenidos, son inferiores a 3, por lo que son interpretados como poco diversos, es decir, éste índice en específico, indica que al muestrear una especie aleatoriamente, lo más probable es que se trate de una especie perteneciente al género más abundante (*Botryococcus*), resultados similares fueron reportados en un estudio de lagos altoandinos al sur del Ecuador donde el promedio de índice de Shannon estaba por debajo de 1, debido a una evidente dominancia de algunos taxones (Cartuche et al., 2019).

Por otro lado, para una mejor interpretación del índice de Simpson, se calculó el inverso del índice de Simpson, de manera que valores más altos indican mayor diversidad. En este caso, el valor más alto, es el correspondiente al del Punto 4 ($D^{-1} = 5.55$) y, tomando en cuenta que el valor máximo de este índice sería el mismo número de géneros (34), el valor antes mencionado, es demasiado bajo, por lo que una vez más, se habla de una baja diversidad, por lo que, al muestrear aleatoriamente dos individuos, es muy probable que sean del mismo género.

Es así como, conforme con todos los índices calculados, el Punto 1 es el que menos diversidad presenta, lo cual puede explicarse debido a que es el punto más cercano a donde hay más influencia de actividad antrópica en el lago. Por otro lado, el Punto 4 es el que cuenta con mayor diversidad, sin embargo, los valores de este son

relativamente bajos de acuerdo con los supuestos de cada índice t por lo que, a pesar de ser el más alto de los cuatro puntos de muestreo, no se puede hablar de una alta diversidad.

Sin embargo, el índice Margalef de acuerdo con su valor > 5 indica una alta biodiversidad (Margalef, 1996). Este resultado iría en contraposición de los demás obtenidos, esto se debe a que el índice toma en cuenta la riqueza, enfocándose en la distribución numérica de las especies de acuerdo con el número de individuos, Laura et al., (2018) reportó una biodiversidad media en un lago altoandino de Perú y atribuye que existen cambios en la composición de fitoplancton en las diferentes épocas del año, en nuestros resultados no se tuvo en cuenta la estacionalidad y los resultados son producto de un solo muestreo experimental en el mes de enero del año 2023.

Tabla 12. Resultados de los índices de diversidad calculados

Puntos de muestreo	Índice Shannon	Invt Simpson	Índice de Pielou	Índice Margalef
Punto 1	0.7	1.33	0.22	2.74
Punto 2	1.53	2.37	0.45	3.37
Punto 3	1.5	2.23	0.44	3.24
Punto 4	2.30	5.55	0.66	3.59
Promedio	1.51	2.87	0.44	3.24

4.3. Determinación del estado trófico de El Voladero

Los datos empleados para el cálculo del TSI son promedios generales de parámetros físicos, químicos y biológicos; esto, debido a que, se contaba con tres datos por cada parámetro químico y, seis datos del parámetro biológico. Como se muestra en la Tabla 13, en el caso del parámetro físico, es decir, la profundidad del disco Secchi, se obtuvo un valor de 2.10 m; con respecto a los parámetros químicos, obtenidos por un análisis realizado en el Laboratorio Nacional de Referencia del Agua de la Universidad Regional Amazónica Ikiam, se obtuvo, para Nitrógeno Total, empleándose el método HACH 10072, un valor promedio de 430 $\mu\text{g/l}$; por otro

lado, mediante el método HACH 8190, se concluyó que los valores de Fósforo Total son menores al límite de detección ($> 60 \mu\text{g/l}$), por lo que, para la aplicación del TSI de Carlson, se empleó como valor el límite de detección anteriormente mencionado.

Tabla 13. Promedios generales de los parámetros para evaluar el estado trófico

Parámetro	Valor	Unidades
Disco Secchi (SD)	2.1	(m)
Fósforo total (TP)	< 60	($\mu\text{g/l}$)
Nitrógeno total (TN)	430	($\mu\text{g/l}$)
Clorofila a (Chl-a)	0.76	($\mu\text{g/l}$)

Dado que, el cálculo de TSI de Carlson emplea únicamente tres datos, se obtuvo que el valor del índice de estado trófico del disco Secchi (TSI_{SD}) fue de 49.29, el índice del estado trófico para el fósforo total (TSI_{TP}) fue de 63.22 y, el valor del índice de estado trófico de la clorofila a (TSI_{Chla}) fue de 27.87; el promedio de estos tres valores, es decir, el valor del índice de estado trófico total (TSI_T) fue de 46.79.

$$TSI_{SD} = 60 - 14.43 \ln(2.10) = 49.29$$

$$TSI_{TP} = 4.14 + 14.43 \ln(60) = 63.22$$

$$TSI_{Chla} = 30.56 + 9.81 \ln(0.76) = 27.87$$

$$TSI_T = \frac{TSI_{SD} + TSI_{TP} + TSI_{Chla}}{3} = 46.79$$

Por otro lado, como se muestra en la Tabla 14, se compararon los valores de cada parámetro con los valores generales de la clasificación del estado trófico de la OECD (1984) y se agregó una fila con los rangos de TSI de Carlson (1977).

Tabla 14. Comparación de los valores obtenidos en El Voladero con los valores generales de Clasificación del Estado Trófico de la OECD (1982) y TSI Carlson (1977)

		Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipertrófico	El Voladero
Concentración de fósforo total ($\mu\text{g/L}$)	Promedio	8	26.7	84.4	-	< 60
	Rango	3.0 – 17.7	10.9 – 95.6	16 - 386	750 – 1200	
Concentración de nitrógeno total ($\mu\text{g/L}$)	Promedio	661	753	1875	-	430
	Rango	307 - 1630	361 - 1387	393 - 6100	-	
Concentración de clorofila a ($\mu\text{g/L}$)	Promedio	1.7	4.7	14.3	-	0.76
	Rango	0.3 – 4.5	3.0 - 11.0	3.0 - 78.0	100 – 150	
Disco Secchi (m)	Promedio	9.9	4.2	2.45	-	2.1
	Rango	5.4 – 28.3	1.5 – 8.1	0.8 – 7.0	0.4 – 0.5	
Índice de Estado Trófico	de Carlson (1977)	<40	41-50	51-70	>70	46.79

Tanto el valor de TN ($430 \mu\text{g/l}$), como el valor de Chl-a ($0.76 \mu\text{g/l}$), se encuentran en estado oligotrófico; por otra parte, teniendo en cuenta que la profundidad del disco Secchi (2.10 m) es coincidente con la profundidad máxima del lago, este valor también es ubicado dentro de la clasificación de oligotrófico. Sin embargo, de acuerdo con la concentración de TP, con un valor $< 60 \mu\text{g/l}$, se encuentra entre estado oligotrófico y mesotrófico. Es así que el TSI total, con un valor de $46.79 \mu\text{g/l}$, de acuerdo con los valores establecidos por Carlson, muestra que el lago El Voladero se encuentra en un nivel mesotrófico, en donde la mayoría de los resultados (TN, Chl-a y SD), indican valores ubicados en el estado oligotrófico; sin embargo, tomando en cuenta que para TP se empleó como valor el menor límite de detección, este parámetro indica un estado mesotrófico del lago, es, en este caso, el factor de mayor afectación al estado trófico del lago en estudio.

Acerca del estado trófico obtenido se ha determinado que la cantidad de fósforo total influye significativamente, Jarosiewicz et al., (2012) han discutido la relevancia de TP en el estado trófico de los lagos, señalando que valores altos de fósforo están asociados a sistemas que presentan estado eutrófico, producto de actividades antrópicas. Este es el caso del sistema alto andino Laguna de Yambo donde sus valores elevados de TP están asociados a actividades antrópicas del área dando como resultado un estado eutrófico (Orquera & Cabrera, 2020).

Si bien, El Voladero no presenta una fuerte actividad antrópica los valores de TP son considerados mesotróficos, este resultado puede estar asociado a diversos factores, principalmente a la litología del área, de acuerdo con Tonneijck et al., (2010) la composición de los suelos de los páramos del norte del Ecuador son principalmente de dos grupos; Andosoles e Histosoles, los primeros se caracterizan por una gran capacidad de retener agua, alta permeabilidad y gran contenido de materia orgánica además, estos suelos presentan la característica de contener fosfato, se estima que posee la capacidad de retener cerca del 25% de fósforo (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014; McDaniel et al., 2012). Los Histosoles se forman por material orgánico acumulado en donde las tasas de descomposición se ven afectadas por factores como la temperatura y el oxígeno, tienen un alto potencial en el almacenamiento de carbono (P. Huang & Sumner, 2011).

Aunque las cantidades de nitrógeno total no son propios de un sistema eutrófico, sus valores pueden estar influenciados por la disponibilidad de materia orgánica del área y sus suelos, los resultados obtenidos de NT llegan a umbrales similares a los reportados por Rey Romero et al., (2022) en aguas de un páramo de Colombia que presenta actividades agrícolas. La transparencia registrada se extendió hasta la zona fótica llegando al fondo del sistema (2.1 m), algo muy característico en lagos pocos profundos de alta montaña, en donde la penetración de luz atraviesa toda la columna de agua, permitiendo procesos fisiológicos en todos los organismos presentes del ecosistema (Zapata et al., 2021). Sin embargo, no es el caso de Van Colen et al., (2017) en donde reportaron que la transparencia del agua fue relativamente baja y no afectó positivamente el proceso de fotosíntesis realizado por las comunidades fitoplanctónicas.

Las concentraciones de Chl-a son bajas propias de un sistema oligotrófico, a pesar de las concentraciones de nutrientes que pueden permitir un incremento en la biomasa, de acuerdo con Van Colen et al., (2018); Van Colen et al., (2017) esto puede ser explicado por la poca biodisponibilidad de los nutrientes, en donde la bajas temperaturas y alta radiación reducen la actividad biológica.

Por otro lado, al comparar los valores de amonio, nitritos, nitratos y TP correspondientes a El Voladero, con la tabla establecida para la clasificación de lagos neotropicales (Tabla 15), se observa que todos los valores corresponden a la categoría de oligotrófico, por lo que, se menciona que El Voladero, de acuerdo con estos parámetros, se encuentra en estado oligotrófico.

Cabe mencionar que los valores de las tres formas del nitrógeno también fueron obtenidos mediante análisis en el Laboratorio Nacional de Referencia del Agua de Ikiam; en lo que respecta al amonio, se empleó el método ASTM D6919.03, para nitratos, se empleó el método EPA 300, mientras que, para nitratos, el método no fue especificado.

Tabla 15. Comparación de los valores obtenidos en El Voladero con los valores establecidos para la clasificación de los lagos neotropicales

Parámetros	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	El Voladero
Amonio (mg/L)	0.0 - 0.3	0.3 - 2.0	2.0 - 15.0	0.06
Nitratos (mg/L)	0.0 - 1.0	1.0 - 5.0	5.0 - 50.0	0.003
Nitritos (mg/L)	0.0 - 0.5	0.5 - 5.0	5.0 - 15.0	0.01
Fósforo total (mg/L)	< 0.01	0.01 - 0.02	0.02 - 1.00	< 0.60

Es así, que teniendo en cuenta los dos métodos empleados para determinar el estado trófico de El Voladero, es posible afirmar que este lago poco profundo se encuentra en estado oligotrófico con tendencia a mesotrófico.

4.3.1. Relación del estado trófico con la diversidad fitoplanctónica

Todos los géneros identificados en el conteo cualitativo fueron clasificados en la Tabla 16, de acuerdo con el ambiente del que, según bibliografía analizada, son característicos; es decir, el estado trófico del ambiente en el que viven.

Tabla 16. Clasificación de los géneros identificados según su hábitat

Género	Estado del hábitat	Aspectos ecológicos	Referencia
<i>Amphora</i>	Oligotrófico	En aguas con altas concentraciones de oxígeno. Agua ligeramente alcalina	(Guapi et al., 2022)
<i>Ankistrodesmus</i>	Oligotrófico	Tolerancia a déficit de nutrientes y alta turbidez	(Reynolds, 2006; Padisak et al., 2009)
<i>Botryococcus</i>	Oligotrófico	pH ligeramente ácido y tolerancia a baja cantidad de nutrientes	(Reynolds, 2006)
<i>Denticula</i>	Oligotrófico	Tolerancia a elevadas concentraciones de nitrógeno	(Guamán & Gonzales, 2016)
<i>Epithemia</i>	Oligotrófico	Medios alcalinos	(Guamán & Gonzales, 2016)
<i>Euastrum</i>	Oligotrófico	Medios ácidos	(Guiry & Guiry, 2013)
<i>Frustulia</i>	Oligotrófico	Lagos ligeramente ácidos con conductividad baja	(Cuna et al., 2022)
<i>Micrasterias</i>	Oligotrófico	Sensibles a la contaminación, prefieren aguas frías con alta transparencia	(González & Inostroza, 2017)
<i>Stauroneis</i>	Oligotrófico	Ambientes con baja carga orgánica	(Joh, 2014)
<i>Pinnularia</i>	Oligotrófico	Baja conductividad y aguas ligeramente ácidas	(Cuna et al., 2022)
<i>Planotaenium</i>	Oligotrófico	Ecosistemas de agua dulce ligeramente ácidos	(Garduño Solorzano et al., 2020)

<i>Tabellaria</i>	Oligotrófico	pH ligeramente ácido (pH 0.09 – 1.17) y tolerancia a déficit de nutrientes	(Sabater, 2009)
<i>Cymbella</i>	Oligo-mesotrófico	Tolerancia amplia a los cambios de temperatura	(Morales & Salazar, 2012)
<i>Elakatothrix</i>	Oligo-mesotrófico	Tolerancia a lagos mezclados y con alta transparencia	(Reynolds, 2006; Padisak et al., 2009)
<i>Navicula</i>	Oligo-mesotrófico	Aguas ricas en nutrientes y pobres en oxígeno	(Guapi et al., 2022)
<i>Oocystis</i>	Oligo-mesotrófico	Salinidad moderada o baja y pH ácido	(Reynolds, 2006)
<i>Staurodesmus</i>	Oligo-mesotrófico	pH ácido (3.5 – 5.4) y tolerancia a déficit de nutrientes	(Reynolds, 2006; Souza et al., 2008)
<i>Chlamydomonas</i>	Mesotrófico	Ecosistemas con un alto contenido orgánico	(Padisak et al., 2009)
<i>Peridinium</i>	Mesotrófico	Tolerancia a un aumento de nutrientes	(Reynolds, 2006)
<i>Planktosphaeria</i>	Mesotrófico	Tolerancia a lagos mezclados y con alta transparencia	(Guapi et al., 2022)
<i>Sphaerocystis</i>	Meso-eutrófico	Frecuentes en aguas con baja temperatura	(Padisak et al., 2009)
<i>Staurastrum</i>	Meso-eutrófico	Agua alcalina y Tolerancia a déficit de luz	(Guapi et al., 2022)
<i>Hemidinium</i>	Eutrófico	Tolerancia a ambientes con alta turbidez	(Reynolds, 2006)
<i>Ceratium</i>	Eutrófico	Tolerancia a un aumento de nutrientes	(Reynolds, 2006)
<i>Closterium</i>	Eutrófico	Tolerancia a déficit de luz y C	(Reynolds, 2006)
<i>Fragilaria</i>	Eutrófico	Indicadores de alto contenido de nutrientes	(Reynolds, 2006)
<i>Franceia</i>	Eutrófico		(MAPA, 2012)

<i>Pseudoanabaena</i>	Eutrófico	Tolerancia en aguas con baja penetración de luz	(Reynolds, 2006)
<i>Scenedesmus</i>	Eutrófico	Agua ricas en nutrientes, en especial en altas concentraciones de nitrógeno inorgánico	(Guapi et al., 2022)
<i>Tetraëdron</i>	Eutrófico	Tolerancia a condiciones ricas en nutrientes	(Padisak et al., 2009)
<i>Trachelomonas</i>	Eutrófico	Medios ácidos o neutros (pH 4.5-7) con conductividad alta	(Guapi et al., 2022)
<i>Ulnaria</i>	Eutrófico	No tolerante a déficit de nutrientes	(Sevindik, 2010)
<i>Pediastrum</i>	Eutrófico	Tolerancia a condiciones ricas en nutrientes	(Happey-Wood, 1988)

En la Figura 18 se observa el total de géneros correspondientes a cada estado del hábitat; es así que, 12 géneros son característicos de ambientes en estado oligotrófico, entre los cuales se encuentra el género más abundante (*Botryococcus*). En lo que se refiere al estado oligo-mesotrófico, se identificaron 5 géneros característicos de este tipo de hábitat y 3 para mesotrófico, de esta manera, en relación con los índices de estado trófico de El Voladero calculados anteriormente, 20 del total de los géneros identificados, son característicos en ambientes que varían entre oligotrófico y mesotrófico. Por otro lado, los géneros correspondientes a estado eutrófico, se ubican en segundo lugar como más abundantes con 11 géneros.

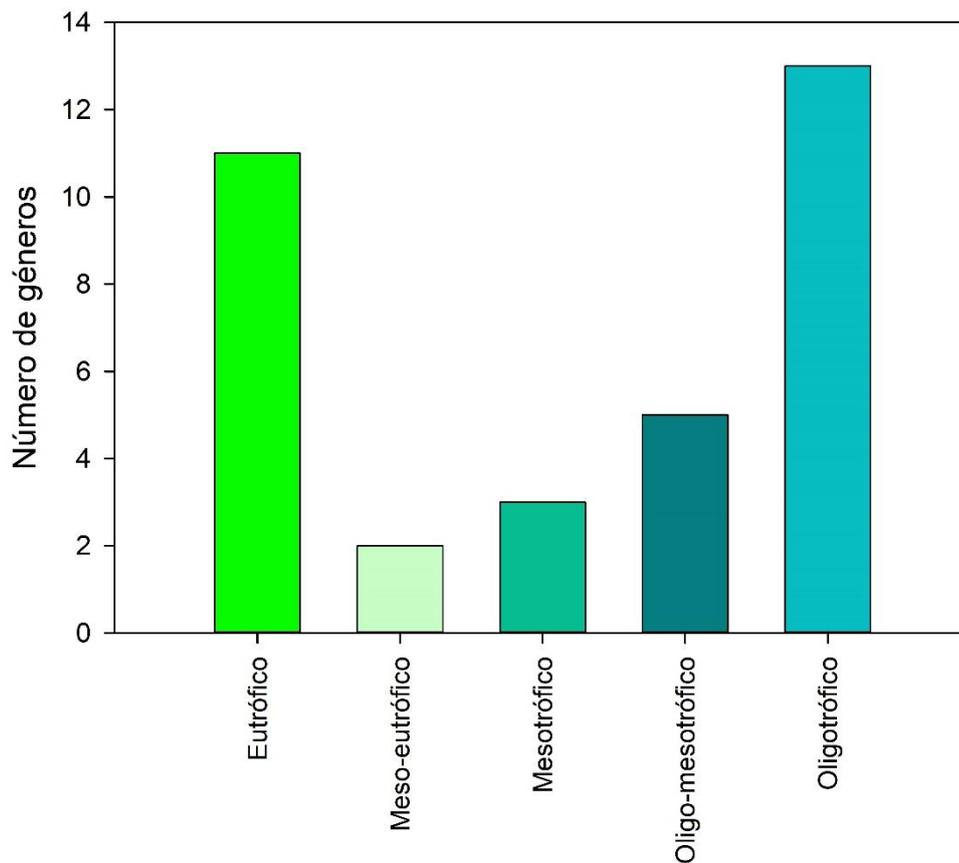


Figura 18. Número de géneros de fitoplancton característicos de cada estado de hábitat

Con base en los índices que relacionan el fitoplancton con el estado trófico del lago, se obtuvo que, al aplicar el índice OPI (Tabla 17), se encontró en el lago dos géneros de los 20 establecidos por Palmer (1979): *Ankistrodesmus* y *Navicula*, dando como resultado un valor de 5 para todo el cuerpo de agua, lo que determina que existe una baja contaminación orgánica.

Tabla 17. Resultado de la aplicación del índice OPI

GÉNERO	P1 (AA)	P2 (PP)	P3 (SAL)	P4 (LIT)	Total	1 mL	OPI
<i>Botryococcus</i>	2624	2523	3686	2142	10975	1098	
<i>Oocystis</i>	143	638	612	423	1816	182	

<i>Ankistrodesmus</i>	5	103	326	337	771	77	2
<i>Pinnularia</i>	77	53	95	475	700	70	
<i>Navicula</i>	11	56	33	452	552	55	3
<i>Tabellaria</i>	10	39	33	468	550	55	
<i>Fragilaria</i>	18	98	88	228	432	43	
<i>Denticula</i>	2	34	16	251	303	30	
<i>Sphaerocystis</i>	14	86	55	92	247	25	
<i>Trachelomonas</i>	20	38	95	87	240	24	
<i>Frustulia</i>	12	52	30	146	240	24	
<i>Closterium</i>	5	53	108	54	220	22	
<i>Elakathotrix</i>	0	53	79	31	163	16	
<i>Amphora</i>	2	8	7	124	141	14	
<i>Planktosphaeria</i>	25	30	41	44	140	14	
<i>Hemidinium</i>	0	27	79	32	138	14	
<i>Franceia</i>	1	32	74	8	115	12	
<i>Cymbella</i>	13	19	18	49	99	10	
<i>Stauroneis</i>	0	40	80	35	155	16	
<i>Ulnaria</i>	2	6	20	48	76	8	
<i>Pseudanabaena</i>	12	14	16	29	71	7	
<i>Planotaenium</i>	1	9	15	18	43	4	
<i>Chlamydomonas</i>	0	8	28	1	37	4	
<i>Scenedesmus</i>	21	0	4	8	33	3	
<i>Epithemia</i>	7	5	2	19	33	3	
<i>Peridinium</i>	2	5	9	10	26	3	
<i>Staurastrum</i>	5	1	0	9	15	2	
<i>Ceratium</i>	0	3	3	4	10	1	

<i>Tetraëdron</i>	0	0	2	4	6	1	
<i>Euastrum</i>	0	1	0	3	4	0	
<i>Staurodesmus</i>	0	1	1	2	4	0	
<i>Micrasterias</i>	0	0	0	1	1	0	
TOTAL					18356	1836	5

En el caso del Índice Trófico Planctónico, se encontraron 6 grupos algales de los 9 mencionados por Barbe *et al.* (2003): Desmidiaceae, Chlorophyceae, Cyanophyceae, Euglenophyceae, Bacillariophyceae y Dinophyceae (Tabla 18). Con el cálculo de este índice se obtuvo un valor de 2, correspondiente a estado oligotrófico.

Tabla 18. Resultado de la aplicación del índice ITP

Grupo algal	Género	P1 (AA)	P2 (PP)	P3 (SAL)	P4 (LIT)	Total	1 mL	ITP			
								Qi	Abundancia Relativa	Aj	
Familia	<i>Euastrum</i>	0	1	0	3	4	0	1	0.29	0	
	<i>Micrasterias</i>	0	0	0	1	1	0				
	<i>Staurastrum</i>	5	1	0	9	15	2				
	<i>Staurodesmus</i>	0	1	1	2	4	0				
	<i>Chlamydomonas</i>	0	8	28	1	37	4				
	<i>Sphaerocystis</i>	14	86	55	92	247	25				
Clase	Chlorophyceae	<i>Tetraëdron</i>	0	0	2	4	6	1	5	5.96	0
		<i>Ankistrodesmus</i>	5	103	326	337	771	77			
		<i>Scenedesmus</i>	21	0	4	8	33	3			
	Cyanophyceae	<i>Pseudanabaena</i>	12	14	16	29	71	7	6	0.39	0
	Euglenophyceae	<i>Trachelomonas</i>	20	38	95	87	240	24	7	1.31	0

	<i>Denticula</i>	2	34	16	251	303	30			
	<i>Cymbella</i>	13	19	18	49	99	10			
	<i>Fragilaria</i>	18	98	88	228	432	43			
	<i>Ulnaria</i>	2	6	20	48	76	8			
Bacillariophyceae	<i>Frustulia</i>	12	52	30	146	240	24	2	14.06	1
	<i>Stauroneis</i>	0	40	80	35	155	16			
	<i>Navicula</i>	11	56	33	452	552	55			
	<i>Epithemia</i>	7	5	2	19	33	3			
	<i>Tabellaria</i>	10	39	33	468	550	55			
	<i>Amphora</i>	2	8	7	124	141	14			
Dinophyceae	<i>Ceratium</i>	0	3	3	4	10	1			
	<i>Hemidinium</i>	0	27	79	32	138	14	4	0.94	0
	<i>Peridinium</i>	2	5	9	10	26	3			
TOTAL								2		

4.3.2. Resultados de los experimentos *in situ*

Debido a que El Voladero es un cuerpo lacustre poco profundo y, la profundidad del disco Secchi fue la misma que el punto más profundo del lago (2.10 m), el experimento fue colocado a 1 m de profundidad. Ya que la temperatura del agua registrada mediante el multiparámetro era de 10 °C, el tiempo de incubación fue de 7 días, es decir, el tiempo en el que permaneció el experimento dentro del lago.

Por otra parte, los datos obtenidos del experimento fueron tratados en RStudio con el lenguaje de programación R, para determinar la distribución de los datos se aplicó Shapiro-Wilk, sin embargo sus valores $p < 0.05$ indicaban que se trataban de datos no paramétricos, para lograr la normalidad en los datos se realizó una transformación Box-Cox con ayuda del paquete “MASS” que logra extraer el valor exacto de lambda λ y transformar la variable Chl-a, se corrieron nuevamente pruebas de normalidad obteniendo valores ($p > 0.05$) (Shapiro Wilk & Kolmogorov-

Smirnov) demostrado que no existen suficiente evidencias para rechazar la hipótesis nula de que los datos provienen de una distribución normal.

El resultado de anova unidireccional para evaluar diferencias significativas entre el valor de Chl-a y los tratamientos indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos [$F(5,95) = 24.98, p < 0.001^{***}$], el valor de F sugiere que estas diferencias entre las medias de los tratamientos y es afirmado el valor de significancia ($p < 0.001^{***}$). Asimismo se determinaron mediante la prueba Post-Hoc (Tukey) que tratamientos muestran cambios relevantes (Figura 16), con un el valor de intervalo de confianza del 95%, el valor de p ajustado < 0.05 determina que existen discrepancias estadísticamente relevantes entre las medias de pares de grupos, los tratamientos que variaciones relevantes muestran diferentes simbologías, en el caso de de Ia (Chl-a inicial) y Ca (Control) no exhiben diferencias puesto que su p ajustado > 0.05 , no es el caso de N y P puesto que existe una cambio estadísticamente notorio entre los tratamientos (p ajustado < 0.05) dichas conclusiones se pueden afirmar a través de la Figura 19, De esta manera se determinó que existe una co-limitación de nutrientes, donde tanto N como P son limitantes del crecimiento de las comunidades fitoplanctónicas, además de la radiación UV.

Sin embargo, Liang et al., (2020) sugieren que la co-limitación de nutrientes es común en lagos hipereutróficos. Es importante tener en cuenta que estos hallazgos se basan en estudios específicos y no se pueden generalizar a todos los lagos. La co-limitación de nutrientes puede variar según las características específicas de cada lago. Por otro lado, se ha estudiado ampliamente como la radiación UV afecta el crecimiento de las comunidades fitoplanctónicas y sus procesos fisiológicos como la fotosíntesis y la captura de carbono, si bien algunos taxones muestran una evidente adaptación a altos niveles de radiación a través de mecanismos que permiten contrarrestar los daños producidos por esta (Cabrera et al., 1997; Doyle et al., 2005; Korbee et al., 2012).

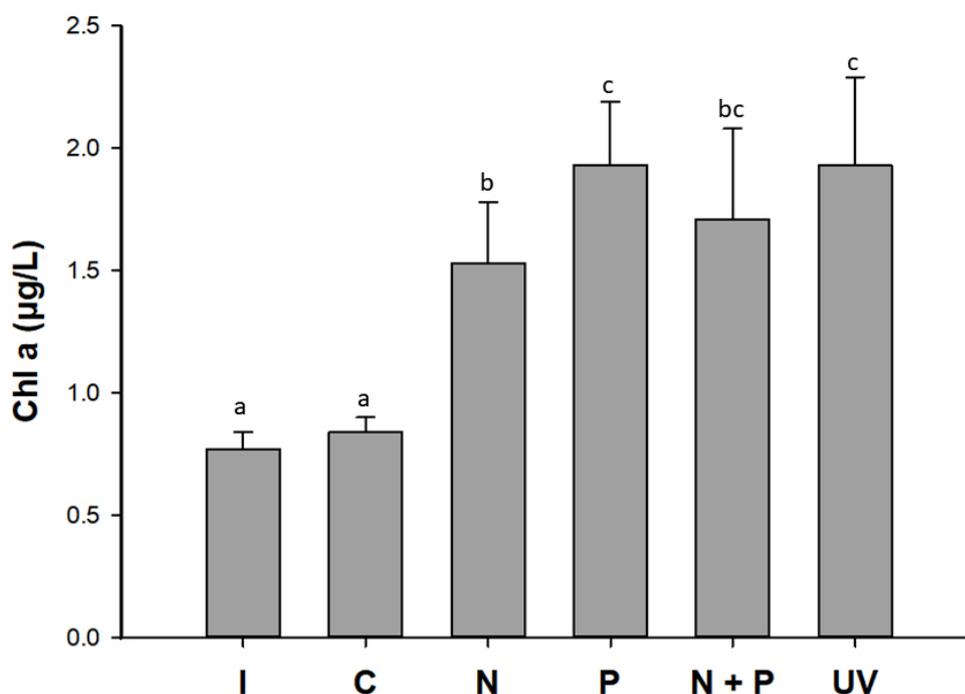


Figura 19. Diferencias entre las cantidades de Chl-a extraída de los diferentes tratamientos del experimento in situ

4.3.3. Relación de los géneros con los parámetros físicos del lago

En los puntos de muestreo de fitoplancton, se midieron parámetros físicos (pH, oxígeno disuelto (OD), temperatura, turbidez y profundidad del Disco Secchi), en los cuales se obtuvieron los valores expresados en la Tabla 19. En cada punto, cada parámetro fue medido a una sola profundidad (0.5 m), esto debido a que se trata de un lago poco profundo. El resultado del análisis de correspondencia canónica indica que los parámetros físicos de El Voladero no están linealmente relacionados con las abundancias de los géneros identificados dado un valor $p > 0.05$ producto de las permutaciones, sin embargo, dicha afirmación no es aplicable para todas las variables, existe una relación de ciertos grupos algales con relación a los parámetros y puede ser explicada gráficamente (Figura 20) dado que el porcentaje acumulativo de la varianza es de 91,5% para los dos primeros ejes proporcionando suficiente evidencia para relacionar las especies y las variables físicas.

Chlamydomonas, *Franceia*, *Closterium* y *Peridinium* muestran una afinidad por un pH ligeramente ácido, además de una temperatura que oscila alrededor de los 10°C, también se evidencia que su abundancia está relacionada con la profundidad de disco Secchi. Por otro lado, *Frustulia*, *Tabellaria*, *Navicula* y *Epithemia* parecen ser susceptibles a este tipo de condiciones, dado que su abundancia no se relaciona positivamente con estos parámetros, y se sugiere que su presencia sea probable en mayor medida por el OD, si bien algunas diatomeas presentan una evidente afinidad por ambientes alcalinos, así lo demostró (Muñoz-López & Rivera-Rondón, 2021) en un lago alto andino en Colombia.

Los géneros *Pinnularia*, *Cymbella*, *Botryococcus*, *Pseudoanabaena*, *Fragilaria*, *Trachelomonas* y *Sphaerocystis* presentaron una alta asociación con la turbidez del lago, a diferencia de *Ceratium*, *Amphora*, *Ulnaria* y *Denticula* que se vinculan con un pH ligeramente neutro y condiciones medias en OD, al contrario, *Scenedesmus* y su abundancia es relacionada con pH ligeramente ácido pues es una de las características reportadas para este género (Guapi et al., 2022). Para *Euastrum* parece influir en gran medida una mayor turbidez dado los valores bajos de FNU medidos para El Voladero su abundancia no se relaciona con el parámetro positivamente, al igual que *Ankistrodesmus* y *Tetraëdron* que presentan una alta tolerancia a la turbidez y se asocian con ambientes eutróficos ricos en nutrientes respectivamente (Reynolds, 2006; Padisak et al., 2009).

Tabla 19. Parámetros físicos de El Voladero en los cuatro puntos de muestreo

Punto	pH	OD (mg/L)	Temperatura	Turbidez	Disco Secchi (m)
			(°C)	(FNU)	
P1_AA	6,31	72,00	9,82	1,20	1,25
P2_PP	8,85	64,90	9,82	1,40	2,10
P3_SAL	6,56	75,90	9,88	0,80	1,00
P4_LIT	6,25	74,90	9,74	0,90	1,00

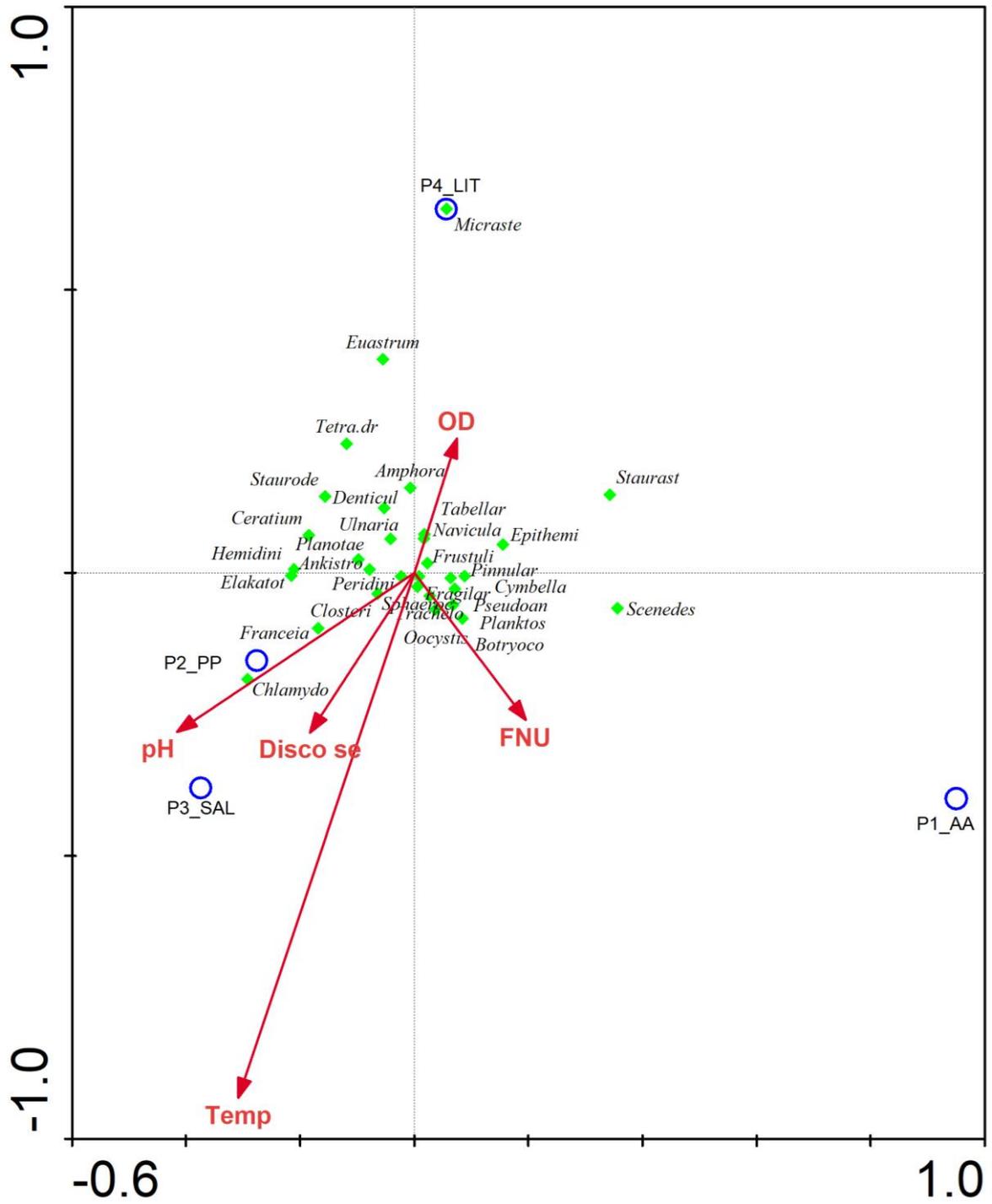


Figura 20. Gráfica del análisis de correspondencia canónica entre los géneros contabilizados y los parámetros físicos de El Voladero

4.4. Estrategias de conservación

Basándose en los resultados de esta investigación, se realizó un proyecto que permita dar seguimiento a la dinámica poblacional del fitoplancton y los parámetros físico-químicos del lago El Voladero, enfocado en un plan de monitoreo.

4.4.1. Plan de monitoreo para el sistema lacustre El Voladero

Una de las estrategias de control y conservación para los sistemas lacustres es el desarrollo de un plan de monitoreo que permita un seguimiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas que proporcionen señales de un cambio, impactos y su estado ecológico (Nevers & Whitman, 2010). En este sentido se elaboró un programa de plan de monitoreo para el sistema lacustre El Voladero, por su gran importancia ecológica, además de proporcionar diferentes servicios ecosistémicos a la población del Carchi. La metodología del plan de monitoreo se basa en lineamientos divididos en tres fases principales; fase de campo, fase de laboratorio y publicación de resultados. El plan de monitoreo es detallado en una presentación guía titulada “Plan de monitoreo. Lago andino El Voladero, Provincia del Carchi.” (Figura 21).



Figura 21. Portada de la guía para el monitoreo del lago El Voladero

Nota. Ver guía completa en el Anexo 6

4.4.1.1. Fase de Campo

En el documento guía de monitoreo, se especifica los pasos a seguir para la toma de muestras y de datos en el lago (Figura 22); además para esta llevar a cabo esta fase, se elaboró un mapa con las coordenadas GPS de los puntos en los que se debe realizar en monitoreo. Cabe mencionar que, el muestreo se debe realizar dos veces al año, una vez en la época lluviosa y otra en la época seca tomando en cuenta el diagrama ombrotérmico (Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Museo de Historia Natural, 2014), con la finalidad de obtener una base de datos que permita evidenciar cómo se comportan las comunidades fitoplanctónicas en relación con los parámetros físico-químicos con diferentes condiciones ambientales.

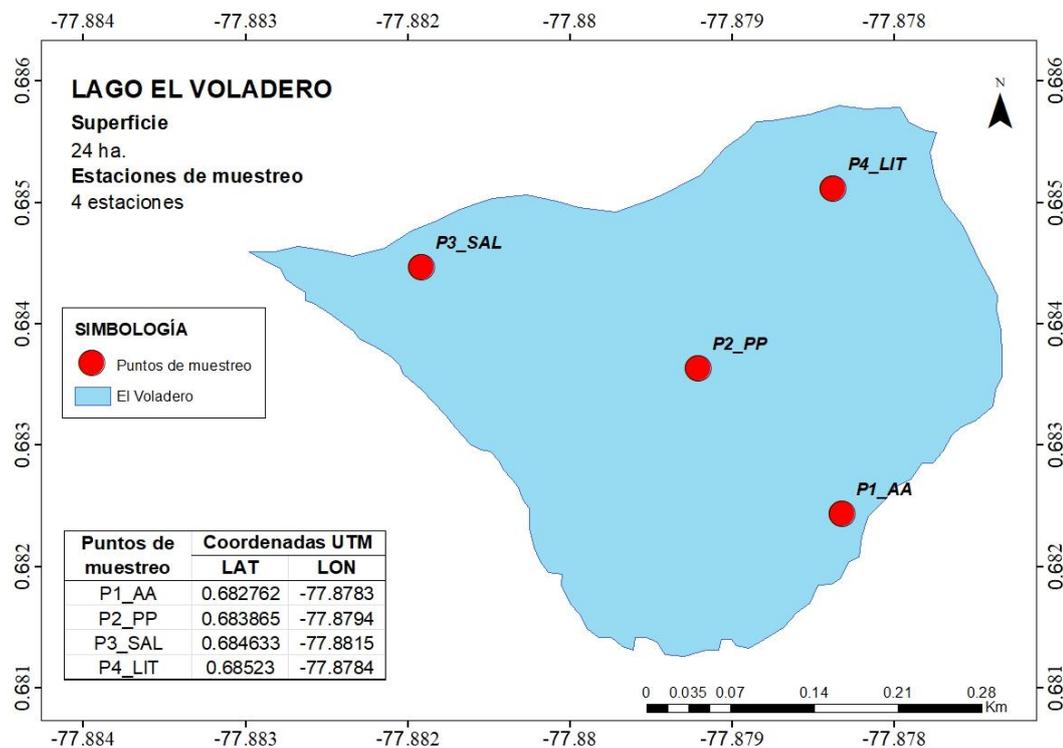


Figura 22. Puntos de muestreo para monitoreo de fitoplancton y parámetros físico-químicos de El Voladero

Además, se elaboró una matriz de campo (Anexo 6) para la toma de datos en el lago El Voladero.

4.4.1.2. *Metodología de laboratorio*

Para la fase de laboratorio, al igual que con la fase de campo, se elaboró una presentación guía para la identificación de taxones y su cuantificación, la cual se encuentra incluida en el mismo documento del plan de monitoreo. es indispensable el uso de guías taxonómicas que permitan analizar bibliográficamente las características morfológicas de los individuos encontrados en cada muestra.

4.4.1.3. *Publicación de resultados*

Realizar un informe detallando las condiciones del lago: Parámetros físico-químicos, profundidad de visualización del disco Secchi, especies presentes en el lago, conteo celular, concentración de Chl-a y estado del ecosistema.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El lago El Voladero, presenta una alta riqueza de géneros (34 géneros); sin embargo, no existe uniformidad entre dichos géneros registrados, ya que *Botryococcus* es el género dominante, pues, su abundancia (274 ind/ml) corresponde a la mitad de las abundancias totales (458 ind/ml), por ende, el lago en estudio presenta una baja diversidad con un índice Shannon menor a 2 y un valor de índice de Pielou de 0,44 indicando una baja uniformidad, además, la existente co-limitación de nutrientes en el sistema lacustre, es decir, N y P, inciden directamente en el crecimiento de las comunidades fitoplanctónicas, al igual que la radiación UV.
- El cálculo del índice de estado trófico de El Voladero dio como resultado oligotrófico con tendencia a eutrófico lo cual se ve reflejado con las comunidades fitoplanctónicas presentes, dando como resultado baja contaminación orgánica (OPI) y estado oligotrófico (ITP).
- Como estrategia de conservación se estableció un proyecto de monitoreo a realizarse dos veces por año con la finalidad de evaluar el comportamiento de las comunidades fitoplanctónicas frente a los parámetros físico-químicos del lago con diferentes condiciones climáticas.
- En cuanto a la hipótesis, se acepta la hipótesis alternativa “Los parámetros físico-químicos y la diversidad fitoplanctónica tienen relación con el estado trófico del lago El Voladero”, pues, de acuerdo con los índices calculados, los géneros de fitopláncton identificados se relacionan con el estado trófico, al igual que los parámetros físico-químicos.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda la toma y análisis de muestras, para evaluar parámetros biológicos y físico-químicos en diferentes épocas del año, de manera que se pueda analizar la dinámica poblacional y variaciones en los parámetros con relación a la estacionalidad climática del lugar.
- Incorporar más variables físicas y químicas en el análisis de correspondencia canónica que logre explicar de manera precisa la relación de la abundancia de los géneros identificados en el lago El Voladero.
- Se recomienda ejecutar el plan de monitoreo y directrices propuestas en la ejecución de estudios limnológicos futuros para el lago.
- Ampliar los puntos de muestreo en el lago.

Referencias

ECOLAP & MAATE. (2007). *Guía del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador*. Quito: ECOFUND, FAN, DarwinNet, IGM.

Aguilera, X., Declerck, S., De Meester, L., Maldonado, M., & Ollevier, F. (2006). *Tropical high Andes lakes: A limnological survey and an assessment of exotic rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)*. *Limnologica*, 36(4), 258–268. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2006.08.001>

Aguilera, X., Lazzaro, X., & Coronel, J. S. (2013). *Tropical high-altitude Andean lakes located above the tree line attenuate UV-A radiation more strongly than typical temperate alpine lakes*. *Photochemical and Photobiological Sciences*, 12(9), 1649–1657. <https://doi.org/10.1039/c3pp25285j>

Andersen, R. A. (2005). *Algal Culturing Techniques*. Hong Kong. Elsevier Academic Press.

Ansari, S., & Kumar, S. (2017). *Limnological Studies with reference to Phytoplankton Diversity in Ponds of Semi arid zone of Western Uttar Pradesh*. <https://www.researchgate.net/publication/321125676>

Bicudo, C., & Menezes, M. (2006). *Gêneros de Algas de Águas Continentais do Brasil: chave para identificação e descrições*. Rio de Janeiro, Brasil. RiMA

Buytaert, W., Célleri, R., de Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79(1–2), 53–72. <https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2006.06.002>

Cabrera, S., López, M., & Tartarotti, B. (1997). Phytoplankton and zooplankton response to ultraviolet radiation in a high-altitude Andean lake: short- versus long-term effects. *Journal of Plankton Research*, 19(11), 1565–1582. <https://doi.org/10.1093/plankt/19.11.1565>

Carlson, R. E. (1977). *A Trophic State Index for Lakes*. *Limnology and Oceanography* (Vol. 22, Issue 2). Recuperado de: <http://www.jstor.org/stable/2834910>

Cartuche, A., Guan, Z., Ibelings, B. W., & Venail, P. (2019). Phytoplankton Diversity Relates Negatively with Productivity in Tropical High-Altitude Lakes from Southern Ecuador. *Sustainability* 2019, Vol. 11, Page 5235, 11(19), 5235. <https://doi.org/10.3390/SU11195235>

Cavero, J., Manrique, M., Zavalaga, F., Chang, F., Bouchon, M., & Aguilar, C. (2020). Phytoplankton in three high-Andean lagoons of Ambo Province, Huanuco region, Peru. In *Inf Inst Mar Peru* (Vol. 47, Issue 3).

Chimbolema, S., Suárez, D., Peñafiel, M., Acurio, C., & Paredes, T. (2014). *Guía de plantas de la Reserva Ecológica El Ángel*. Quito: Grupo Randi Randi.

Confederación Hidrográfica del Ebro. (2005). *Metodología para el establecimiento el Estado Ecológico según la Directiva MARCO del Agua*.

Cunalata, Á., & López, J. (2020). *Turismo de humedales en Ecuador: Análisis a los sitios RAMSAR*. *Green World Journal*, 2, 1-12.

Cunha, D. G. F., Calijuri, M. do C., & Lamparelli, M. C. (2013). A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSIts). *Ecological Engineering*, 60, 126–134. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2013.07.058>

Downing, J. A., Prairie, Y. T., Cole, J. J., Duarte, C. M., Tranvik, L. J., Striegl, R. G., McDowell, W. H., Kortelainen, P., Caraco, N. F., Melack, J. M., & Middelburg, J. J. (2006). The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. *Limnology and Oceanography*, 51(5), 2388–2397. <https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.5.2388>

Doyle, S. A., Saros, J. E., & Williamson, C. E. (2005). Interactive effects of temperature and nutrient limitation on the response of alpine phytoplankton growth to ultraviolet radiation. *Limnology and Oceanography*, 50(5), 1362–1367. <https://doi.org/https://doi.org/10.4319/lo.2005.50.5.1362>

Field, C., Behrenfeld, M., Randerson, J., & Falkowski, P. (1998). Primary Production of the. www.sciencemag.org

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2014). World reference base for soil resources 2014: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. FAO.

Gerhard, M., Koussoroplis, A. M., Hillebrand, H., & Striebel, M. (2019). Phytoplankton community responses to temperature fluctuations under different nutrient concentrations and stoichiometry. *Ecology*, 100(11). <https://doi.org/10.1002/ecy.2834>

Giles, M. P., Michelutti, N., Grooms, C., & Smol, J. P. (2018). Long-term limnological changes in the Ecuadorian páramo: Comparing the ecological responses to climate warming of shallow waterbodies versus deep lakes. *Freshwater Biology*, 63(10), 1316–1325. <https://doi.org/10.1111/fwb.13159>

Gunkel, G. (2000). Limnology of an Equatorial High Mountain Lake in Ecuador, Lago San Pablo. *Limnologica*, 30(2), 113–120. [https://doi.org/10.1016/S0075-9511\(00\)80005-5](https://doi.org/10.1016/S0075-9511(00)80005-5)

Gunkel, G., & Beulker, C. (2009). Limnology of the crater lake cuicocha, Ecuador, a cold water tropical lake. *International Review of Hydrobiology*, 94(1), 103–125. <https://doi.org/10.1002/iroh.200811071>

Herrera-Madrid, M., Vera, D., & Valdiviezo-Rivera, J. (2020). Diet of *Grundulus quitoensis* (Characiformes: Characidae) an endemic species of the el angel biological reserve, Carchi, Ecuador. *Caldasia*, 42(2), 181–187. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v42n2.76825>

Holt, E., & Miller, S. (n.d.). *Bioindicators: Using Organisms to Measure Environmental Impacts*.

Huang, P., & Sumner, M. (2011). *Handbook of Soil Sciences: Resource Management and Environmental Impacts*, Second Edition.

- Jarosiewicz, A., Ficek, D., & Zapadka, T. (2012). Eutrophication parameters and Carlson-type trophic state indices in selected Pomeranian lakes. *Limnological Review*, 11(1), 15–23. <https://doi.org/doi:10.2478/v10194-011-0023-3>
- Kindt, R., & Kindt, M. R. (2019). Package ‘BiodiversityR.’ Package for Community Ecology and Suitability Analysis, 2, 11–12.
- Korbee, N., Carrillo, P., Mata, M. T., Rosillo, S., Medina-Sánchez, J. M., & Figueroa, F. L. (2012). Effects of ultraviolet radiation and nutrients on the structure-function of phytoplankton in a high mountain lake. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 11(6), 1087–1098. <https://doi.org/10.1039/c2pp05336e>
- Laura Huanaco, J., Montaya, H., Castellanos, L., & Quiroz, R. (2018). Evaluación de la diversidad del fitoplancton de la laguna La Viuda (Lima, Perú) en agosto-noviembre 2016. *Arnaldoa*, 25(3). <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.253.25314>
- Laurion, I., Lami, A., & Sommaruga, R. (2003). a026p283.
- Liang, Z., Soranno, P. A., & Wagner, T. (2020). The role of phosphorus and nitrogen on chlorophyll a: Evidence from hundreds of lakes. *Water Research*, 185. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2020.116236>
- López-Martínez, M. L., Jurado-Rosero, G. A., Páez-Montero, I. D., & Madroñero-Palacios, S. M. (2017). *Estructura térmica del Lago Guamués, un lago tropical de alta montaña*. *Revista Luna Azul*, 44(44), 94–119. <https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.7>
- Mandonx, T. (2013). Trophic status and phytoplankton ecology of two lakes in northern Ecuador: Yahuarcocha & Mojanda.
- Margalef, R. (1996). Information and uncertainty in living systems, a view from ecology. In *BioSystems* (Vol. 38).
- Mateo, P., Leganés, F., Perona, E., Loza, V., & Fernández-Piñas, F. (2015). Cyanobacteria as bioindicators and bioreporters of environmental analysis in aquatic ecosystems. In *Biodiversity and Conservation* (Vol. 24, Issue 4, pp. 909–948). Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0903-y>

McDaniel, P. A., Lowe, D. J., Arnalds, O., & Ping, C.-L. (2012). Andisols. In P. M. Huang, Y. Li, & M. E. Summer (Eds.), *Handbook of Soil Sciences: Properties and Processes* (pp. 29–48). CRC Press. <https://hdl.handle.net/10289/9023>

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2015a). *Sitios Ramsar*. Obtenido de Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador: <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/content/sitios-ramsar>

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2015b). *Plan de Manejo de la Reserva Ecológica El Ángel*. Obtenido de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica: [http://www.gruporandi.org.ec/Publicaciones/instrumentos/24%20PLAN%20DE%20MANEJO%20EL%20ANGEL\(2\).pdf](http://www.gruporandi.org.ec/Publicaciones/instrumentos/24%20PLAN%20DE%20MANEJO%20EL%20ANGEL(2).pdf)

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2020c). *Sistema Nacional de Áreas Protegidas*. Obtenido de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/04/2020_03_30-BOLETIN-FINAL.pdf

Oksanen, J. (2010). *Vegan: community ecology package*. <Http://CRAN.R-Project.Org/Package=Vegan>.

Oliva-Martínez, M. G., Godínez-Ortega, J. L., & Zuñiga-Ramos, C. A. (2014). *Biodiversity of inland water phytoplankton in Mexico*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 54–61. <https://doi.org/10.7550/rmb.32706>

Ospina, G. (2019). *Inventario de lagos y avances en el conocimiento de los humedales altoandinos en la región de páramos Las Herosas, cordillera Central colombiana*. *Entorno Geográfico*, 17, 88-111. <https://doi.org/10.25100/eg.v0i17.8260>

Orquera, E., & Cabrera, M. (2020). Caracterización del estado trófico de la laguna de Yambo mediante análisis de fósforo. *InfoANALÍTICA*, 8(1), 99–111. <https://doi.org/10.26807/ia.v8i1.119>

- Palmer, M. (1979). *Algas en abastecimientos de agua*. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Ciencias del Mar. Informe, Issues (pp. 24-30). México: Editorial Interamericana
- Guapi, Tipanta, Jarre, Ontaneda, Arévalo, Astorga. (2022). *ATLAS DE MICROALGAS Y CIANOBACTERIAS Embalses Sucus y Mogotes*.
- Roldán, Gabriel., & Ramírez, J. Jairo. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Editorial Universidad de Antioquia.
- Ramsar. (2010). Manual 17. *Designación de sitios Ramsar*. Obtenido de Ramsar: <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/hbk4-17sp.pdf>
- Ramsar. (2018). *Perspectiva mundial sobre los humedales*.
- Ramírez, J. (2000). Fitoplancton de agua dulce: bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Rasconi, S., Winter, K., & Kainz, M. J. (2017). Temperature increase and fluctuation induce phytoplankton biodiversity loss – Evidence from a multi-seasonal mesocosm experiment. *Ecology and Evolution*, 7(9), 2936–2946. <https://doi.org/10.1002/ece3.2889>
- Rey Romero, C., Bautista, E., Barrera, M., Domínguez, I., & Oviedo, R. (2022). Estudio de línea base sobre la variabilidad espacial de la concentración de nitrógeno en el agua superficial de un agroecosistema de páramo en Colombia. <https://doi.org/https://doi.org/10.26507/paper.2256>
- Reynolds, C. S. (2006). *The Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511542145>
- Rice, E., Eaton, A., & Baird, R. (2017). *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater 23th*. <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.216>
- Saelens, P. (2014). Ecological functioning of a eutrophic, high-altitude shallow lake in Ecuador, Laguna Yahuarcocha.

Sánchez, Ó., Herzig, M., Peters, E., Márquez, H., & Zambrano, L. (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*.

Santander, T., Muñoz, I., & Lara, A. (2006). *Ecuador: informe anual. Censo Neotropical de Aves Acuáticas 2005*. Obtenido de Wetlands International : https://lac.wetlands.org/wp-content/uploads/sites/2/dlm_uploads/2017/06/Ecuador-CNAA-2005.pdf

Shannon, C. E. (1948). *A Mathematical Theory of Communication*. In The Bell System Technical Journal (Issue 3).

Scheffer, M. (2004). Ecology of Shallow Lakes. In Ecology of Shallow Lakes. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3154-0>

Simpson, E. (1949). *Measurement of Diversity*. Nature, 163, 688. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/163688a0>

Sommer, U., Stibor, H., Katechakis, A., Sommer, F., & Hansen, T. (2002). Pelagic food web configurations at different levels of nutrient richness and their implications for the ratio fish production:primary production.

Steinitz-Kannan, M. (1997). The lakes in Andean protected areas of Ecuador. George Wright Forum.

Suárez, D. (2012). *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR) – Versión 2009-2012*. Obtenido de Ramsar: <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/EC2085RIS.pdf>

Suthers, I., & Rissik, D. (2009). PLANKTON. A guide to their ecology and monitoring for water quality.

ter Braak, C. J. F. (1986). *Canonical Correspondence Analysis: A New Eigenvector Technique for Multivariate Direct Gradient Analysis*. Ecology, 67(5), 1167–1179. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/1938672>

Tonneijck, F. H., Jansen, B., Nierop, K. G. J., Verstraten, J. M., Sevink, J., & De Lange, L. (2010). *Towards understanding of carbon stocks and stabilization in*

volcanic ash soils in natural Andean ecosystems of northern Ecuador. European Journal of Soil Science, 61(3), 392–405.

UICN (2018). *Guía de Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua*. Quito – Ecuador: UICN.

Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Museo de Historia Natural (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú* / Departamento de Limnología, Departamento de Ictiología -- Lima: Ministerio del Ambiente.

Valdiviezo-Rivera, J., Terneus, E., Vera, D., & Uribina, A. (2016). Análisis de producción gonadal del pez *Grundulus quitoensis* Román-Valencia, Ruiz-C. y Barriga, 2005 (Characiformes: Characidae) en la laguna altoandina “El Voladero”, provincia El Carchi, Ecuador. *Biota Colombiana*, 12, 89–97. <https://doi.org/10.21068/c2016.v17n02a07>

Van Colen, W., Mosquera, P. v., Hampel, H., & Muylaert, K. (2018). Link between cattle and the trophic status of tropical high mountain lakes in páramo grasslands in Ecuador. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 23(4), 303–311. <https://doi.org/10.1111/lre.12237>

Van Colen, W., Portilla, K., Oña, T., Wyseure, G., Goethals, P., Velarde, E., & Muylaert, K. (2017). Limnology of the neotropical high elevation shallow lake Yahuarcocha (Ecuador) and challenges for managing eutrophication using biomanipulation. *Limnologica*, 67, 37–44. <https://doi.org/10.1016/J.LIMNO.2017.07.008>

Van Colen, W., Portilla, K., Oña, T., Wyseure, G., Goethals, P., Velarde, E., & Muylaert, K. (2017). Limnology of the neotropical high elevation shallow lake Yahuarcocha (Ecuador) and challenges for managing eutrophication using biomanipulation. *Limnologica*, 67, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2017.07.008>

Van Colen, W. R., Mosquera, P., Vanderstukken, M., Goiris, K., Carrasco, M. C., Decaestecker, E., Alonso, M., León-Tamariz, F., & Muylaert, K. (2017). Limnology and trophic status of glacial lakes in the tropical Andes (Cajas National Park, Ecuador). *Freshwater Biology*, 62(3), 458–473. <https://doi.org/10.1111/fwb.12878>

Van Colen, W. R., Mosquera, P., Vanderstukken, M., Goiris, K., Carrasco, M. C., Decaestecker, E., Alonso, M., León-Tamariz, F., & Muylaert, K. (2017). Limnology and trophic status of glacial lakes in the tropical Andes (Cajas National Park, Ecuador). *Freshwater Biology*, 62(3), 458–473. <https://doi.org/10.1111/fwb.12878>

Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M., & Umaña, A. M. (2006). Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad. *Manual de Métodos Para El Desarrollo de Inventarios de Biodiversidad*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia, 185–226.

Winder, M., & Sommer, U. (2012). Phytoplankton response to a changing climate. In *Hydrobiologia* (Vol. 698, Issue 1, pp. 5–16). Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1149-2>

Yepes, G. Y. F., & Pérez, J. F. B. (2019). *State of conservation index for high Andean wetlands*. *Journal for Nature Conservation*, 49(May 2018), 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2019.02.004>

Zapata, A., Rivera-Rondón, C. A., Valoyes, D., Muñoz-López, C. L., Mejía-Rocha, M., & Catalan, J. (2021). Páramo lakes of colombia: An overview of their geographical distribution and physicochemical characteristics. *Water (Switzerland)*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/w13162175>

Zhao, K., Wang, L., You, Q., Zhang, J., Pang, W., & Wang, Q. (2022). Impact of cyanobacterial bloom intensity on plankton ecosystem functioning measured by eukaryotic phytoplankton and zooplankton indicators. *Ecological Indicators*, 140, 109028. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2022.109028>

Zhen-Gang, J. (2017). *Hydrodynamics and Water Quality* (2nd edition). John Wiley and Sons. <https://sci-hub.se/10.1002/9781119371946>

Zohary, T., Flaim, G., & Sommer, U. (2021). Temperature and the size of freshwater phytoplankton. In *Hydrobiologia* (Vol. 848, Issue 1, pp. 143–155). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04246-6>

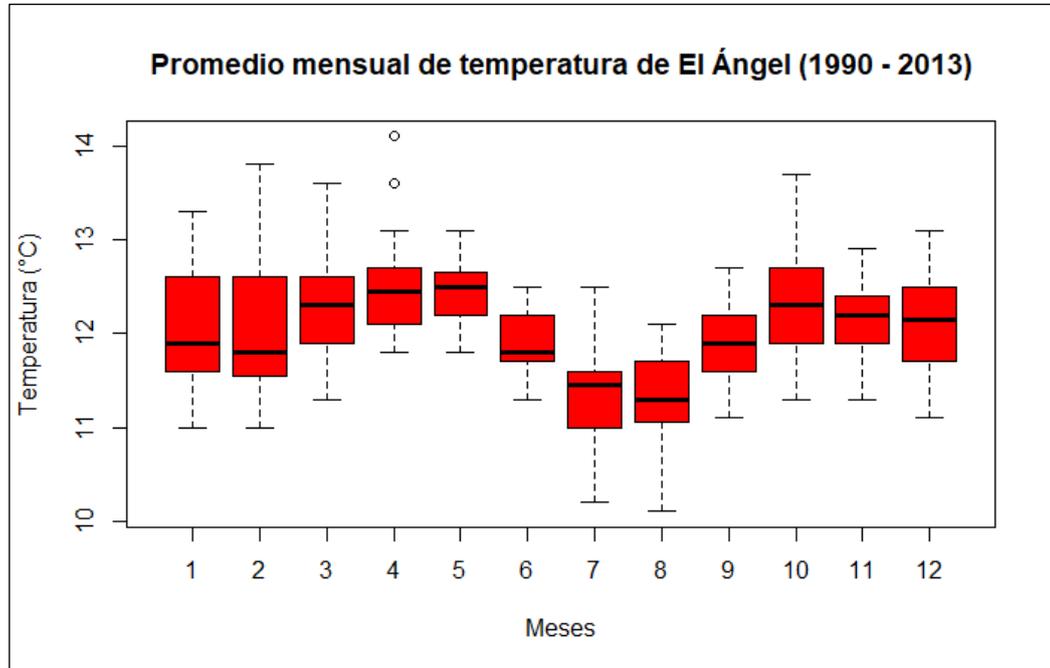
Zou, W., Zhu, G., Cai, Y., Vilmi, A., Xu, H., Zhu, M., Gong, Z., Zhang, Y., & Qin, B. (2020). Relationships between nutrient, chlorophyll a and Secchi depth in lakes of the Chinese Eastern Plains ecoregion: Implications for eutrophication management. *Journal of Environmental Management*, 260, 109923. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2019.109923>

Muñoz-López, C. L., & Rivera-Rondón, C. A. (2021). Diatom response to environmental gradients in the high mountain lakes of the Colombia's Eastern Range. *Aquatic Sciences*, 84(1), 15. <https://doi.org/10.1007/s00027-021-00838-z>

Anexos

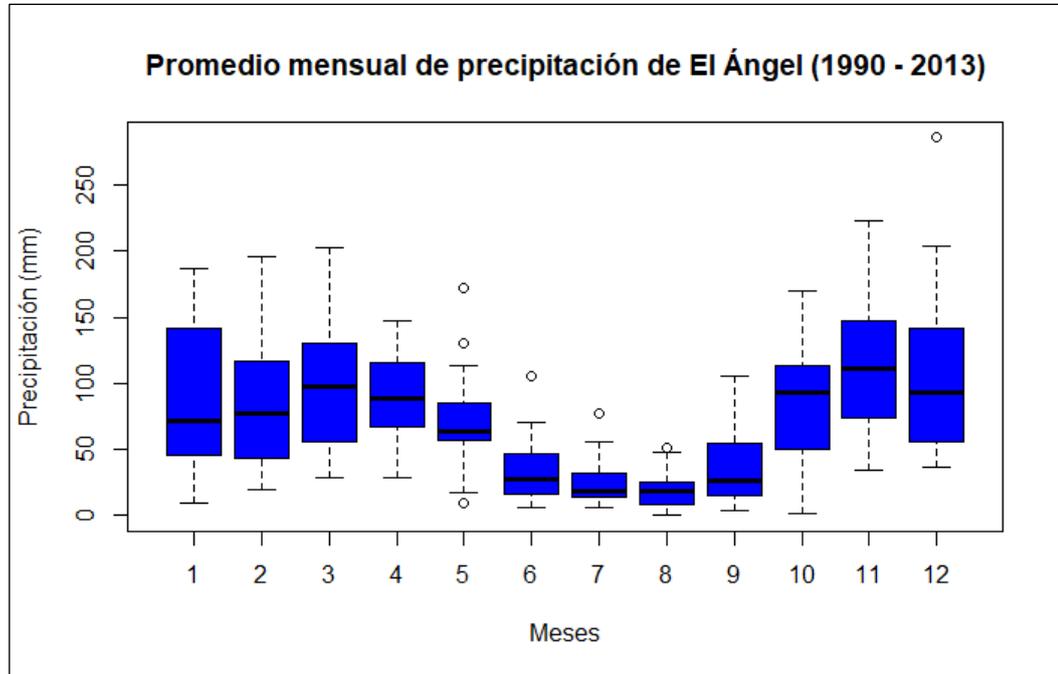
Anexo 1

Box-plot del promedio histórico mensual de temperatura de El Ángel de 23 años



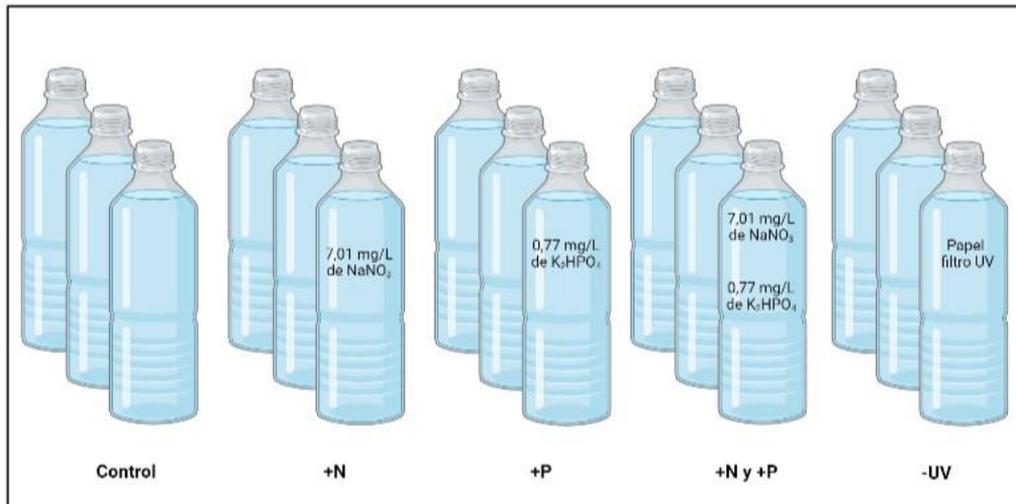
Anexo 2

Box-plot del promedio histórico mensual de precipitación de El Ángel de 23 años



Anexo 3

Diagrama del experimento *in situ* para limitación de nutrientes y radiación UV



Anexo 4

Taxonomía de las especies identificadas pertenecientes al lago El Voladero

División	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE			
Charophyta	Conjugatophyceae	Desmidiiales	Closteriaceae	Closterium	<i>Closterium sp</i>			
			Desmidiaceae	Euastrum	<i>Euastrum sp</i>			
				Micrasterias	<i>Micrasterias sp</i>			
				Staurastrum	<i>Staurastrum sp1</i>			
					<i>Staurastrum sp2</i>			
					<i>Staurastrum sp3</i>			
				Staurodesmus	<i>Staurodesmus sp</i>			
				Zygnematales	Zygnemataceae	Planotaenium	<i>Planotaenium sp</i>	
				Klebsormiophyceae	Klebsormidiales	Elakatotrichaceae	Elakathotrix	<i>Elakathotrix sp</i>
			Chlorophyta	Chlorophyceae	Chlamydomonadales	Chlamydomonadaceae	Chlamydomonas	<i>Chlamydomonas sp</i>
Sphaerocystidaceae	Sphaerocystis	<i>Sphaerocystis sp</i>						
Chlorococcaceae	Tetraëdron	<i>Tetraëdron sp1</i>						
		<i>Tetraëdron sp2</i>						
Sphaeropleales	Hydrodictyaceae	Pediastrum				<i>Pediastrum sp</i>		
	Selenastraceae	Ankistrodesmus				<i>Ankistrodesmus sp</i>		
	Scenedesmaceae	Scenedesmus				<i>Scenedesmus sp</i>		
Trebouxiophyceae	Trebouxiales	Botryococcaceae				Botryococcus	<i>Botryococcus sp</i>	
	Chlorellales	Oocystaceae				Franceia	<i>Franceia sp</i>	
		Oocystis				<i>Oocystis sp1</i>		
						<i>Oocystis sp2</i>		
						<i>Oocystis sp3</i>		
						<i>Oocystis sp4</i>		
			<i>Oocystis sp5</i>					
			Planktosphaeria	<i>Planktosphaeria sp</i>				

Cyanophyta	Cyanophyceae	Nostocales	Nostocaceae	Pseudanabaena	<i>Pseudanabaena</i>		
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	Trachelomonas	<i>Trachelomonas sp</i>		
Ochorophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	Denticula	<i>Denticula sp</i>		
		Cymbellales	Cymbellaceae	Cymbella	<i>Cymbella sp</i>		
		Fragilariales	Fragilariaceae	Fragilaria	<i>Fragilaria sp1</i>		
					<i>Fragilaria sp2</i>		
					<i>Fragilaria sp4</i>		
				Ulnaria	<i>Ulnaria sp</i>		
		Naviculales	Amphipleuraceae	Frustulia	<i>Frustulia sp</i>		
					Stauroneidaceae	Stauroneis	<i>Stauroneis sp</i>
					Naviculaceae	Navicula	<i>Navicula sp1</i>
					<i>Navicula sp2</i>		
					<i>Navicula sp3</i>		
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	Epithemia	<i>Epithemia sp</i>		
		Tabellariales	Tabellariaceae	Tabellaria	<i>Tabellaria sp1</i>		
					<i>Tabellaria sp2</i>		
<i>Tabellaria sp3</i>							
<i>Tabellaria sp4</i>							
	Thalassiophysales	Catenulaceae	Amphora	<i>Amphora sp</i>			
Pinnulariaceae	Pinnulariaceae	Pinnulariaceae	Pinnulariaceae	Pinnularia	<i>Pinnularia sp1</i>		
				<i>Pinnularia sp2</i>			
				<i>Pinnularia sp3</i>			
				<i>Pinnularia sp4</i>			
				<i>Pinnularia sp5</i>			
				<i>Pinnularia sp6</i>			
Pyrrophytophyta	Dinophyceae	Gonyaulacales	Ceratiaceae	Ceratium	<i>Ceratium sp1</i>		
					<i>Ceratium sp2</i>		

Peridinales

Glenodiniopsidaceae

Hemidinium

Hemidinium sp

Peridiniaceae

Peridinium

Peridinium sp

Anexo 5

Abundancias de los géneros identificados por cada muestra

GÉNERO	Punto 1 (AA)	Punto 2 (PP)	Punto 3 (SAL)	Punto 4 (LIT)	Promedio
Closterium	5	53	108	54	55
Euastrum	0	1	0	3	1
Micrasterias	0	0	0	1	0.25
Staurastrum	5	1	0	9	3.75
Stauroidesmus	0	1	1	2	1
Planotaenium	1	9	15	18	10.75
Elakathotrix	0	53	79	31	40.75
Chlamydomonas	0	8	28	1	9.25
Sphaerocystis	14	86	55	92	61.75
Tetraëdron	0	0	2	4	1.5
Ankistrodesmus	5	103	326	337	192.75
Scenedesmus	21	0	4	8	8.25
Botryococcus	2624	2523	3686	2142	2743.75
Franceia	1	32	74	8	28.75
Oocystis	143	638	612	423	454
Planktosphaeria	25	30	41	44	35
Pseudanabaena	12	14	16	29	17.75
Trachelomonas	20	38	95	87	60
Stauroneis	0	26	44	29	24.75
Denticula	2	34	16	251	75.75
Cymbella	13	19	18	49	24.75
Fragilaria	18	98	88	228	108
Ulnaria	2	6	20	48	19
Frustulia	12	52	30	146	60
Navicula	11	56	33	452	138
Epithemia	7	5	2	19	8.25
Tabellaria	10	39	33	468	137.5
Amphora	2	8	7	124	35.25
Pinnularia	77	53	95	475	175
Ceratium	0	3	3	4	2.5
Hemidinium	0	27	79	32	34.5
Peridinium	2	5	9	10	6.5
Total	3032	4021	5619	5628	

Anexo 6

Presentación guía del plan de monitoreo del lago El Voladero



Plan de monitoreo

LAGO ANDINO EL VOLADERO,
PROVINCIA DEL CARCHI.

Valeria Arias
Camilo Arias

2023



Metodología de campo para toma de datos y muestras

LAGO ANDINO EL VOLADERO, PROVINCIA
DEL CARCHI.



FASE CAMPO



(Nevers & Whitman, 2010)

Introducción.

Una de las estrategias de control y conservación para los sistemas lacustres es el desarrollo de un **plan de monitoreo** que permita un seguimiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas.

Algunas consideraciones

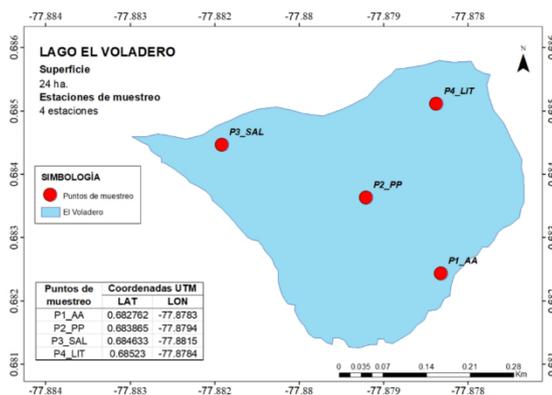


El muestreo se debe realizar dos veces al año.



Considerar la época seca y lluvia del año.

Los pasos para realizarse en campo se detallan a continuación.



- Identificación de los puntos de muestreo establecidos con las coordenadas GPS.
- Toma de muestras de superficie (0.5 m) con recipiente de 50 ml, se recomienda cubrir las muestras en un cooler.
- Toma de muestra estratificada con botella Van Dorn, por cada punto se recolecta 3 réplicas a diferentes profundidades.
- En cada punto de muestreo se toman datos físicos (pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto, Turbidez, Temperatura) con el multiparámetro.
- Medir la transparencia con el disco Secchi y tomar una muestra en un recipiente de 1 litro para medición de Chl-a.

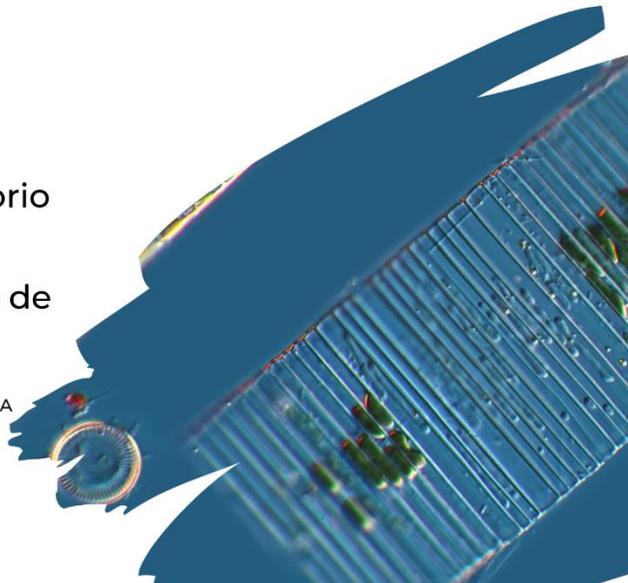
Matriz de campo establecida para la toma de datos en El Voladero

Fecha	Punto	Temp (°C)	OD %	OD mg/L	Conductividad (μS/cm)	pH	Profundidad (m)	D. Secchi (m)	Hora	C. Climáticas	Coordenadas UTM
	P1_AA										
	P2_PP										
	P3_SAL										
	P4_SAL										

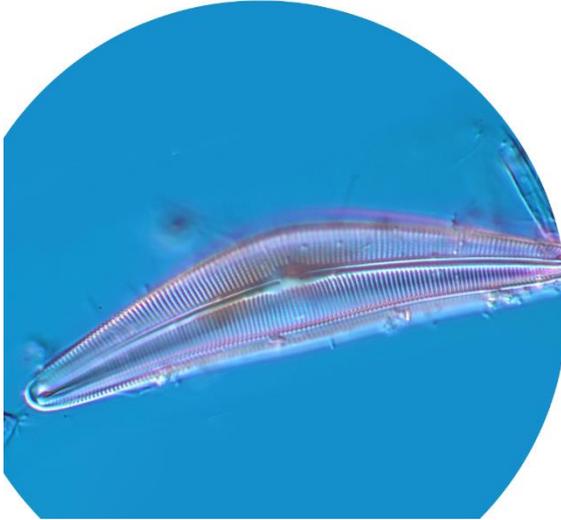


Metodología de laboratorio
para identificación y
procesamiento de datos de
Fitopláncton

LAGO ANDINO EL VOLADERO, PROVINCIA
DEL CARCHI.



FASE LABORATORIO



Introducción.

- La identificación de los taxones se lo realiza mediante el apoyo de claves y guías taxonómicas.
- Es importante comprobar las descripciones escritas de las especies y tener en cuenta su información ecológica: información referente a su distribución, hábitat y requerimientos para su desarrollo.
- Debe sustentarse comparando con dibujos y fotos de colecciones de referencia.

Principales grupos fitoplanctónicos.

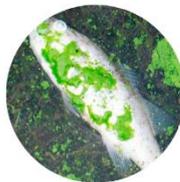
CYANOBACTERIA

Bacterias unicelulares y coloniales, se encuentran en la mayoría de aguas continentales.

Son de especial interés ecológico ya que en muchos casos representan una amenaza.



Floraciones nocivas



Producción de toxinas

Caso Yahuarcocha



Se ha determinado presencia de cianotoxinas producto de blooms de:

- *Cylindrospermopsis*
- *Planktothrix*

(Van Colen et al., 2017; O'Sullivan & Reynolds, 2004; Suthers & Rissik, 2009)

Principales grupos fitoplanctónicos.

CHLOROPHYTA

Se denominan algas verdes y muestran una enorme variabilidad de forma, tamaño y hábito.

Tienen gran importancia como productoras primarias

Su presencia mayormente indica ecosistemas sanos.



Floraciones no nocivas



Cerca del 90% de sus especies pertenecen a agua dulce

(O´ Sullivan & Reynolds, 2004; Suthers & Rissik, 2009)

Principales grupos fitoplanctónicos.

BACILLARIOPHYCEAE (DIATOMEAS)

Las células vivas de las diatomeas contienen un solo núcleo y varios cloroplastos

Tienen pared celular de sílice, lo cual supone una desventaja para permanecer suspendidas en el agua.

Su morfología es una adaptación para aumentar su relación con la superficie y evitar el hundimiento



No poseen flagelos



Son aplanadas y de hábitos de crecimiento colonial.

(O´ Sullivan & Reynolds, 2004; Suthers & Rissik, 2009)

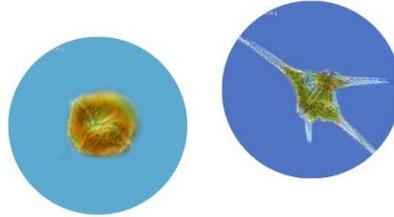
Principales grupos fitoplanctónicos.

DINOPHYCEAE (DINOFLAGELADOS)

Algas en su mayoría unicelulares, a veces coloniales, con dos flagelos de longitud y orientación desiguales.

Poseen una amplia gama de estrategias nutricionales que van desde:

- Fototrofia,
- Heterotrofia (consumen otras células)
- Saprófia (consumen sustancias orgánicas disueltas)



Algunas especies marinas producen toxinas, las especies de agua dulce se consideran inofensivas

(O´ Sullivan & Reynolds, 2004; Suthers & Rissik, 2009)

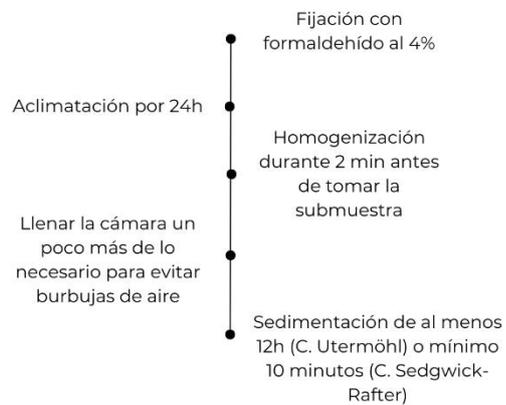


Materiales necesarios para la identificación de fitoplancton

- | | |
|--|---|
| 1
Muestra formolizada de fitoplancton | 2
Microscopio con objetivos de hasta 100x |
| 3
Cámara Utermöhl (10 ml)
Cámara Sedgwick-Rafter (1 ml) | 4
Papel secante |
| 5
Gotero | 6
Guías taxonómicas de identificación |

- El uso de las cámaras varía dependiendo de la cantidad de fitoplancton presente en la muestra

Preparación de la muestra



(Mischke et al., 2009)

Técnicas de análisis en cámara Utermöhl

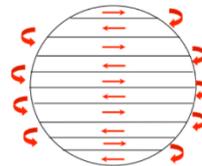
1 Cualitativo

- Consiste en realizar una identificación de los taxa presentes en la muestra, sin importar su cantidad
- Se emplean diferentes aumentos que permitan identificar características morfológicas de los individuos.



2 Cuantitativo

- Se realiza un conteo de los individuos identificados anteriormente mediante barridos horizontales o verticales a lo largo de la cámara Utermöhl.
- Los barridos se puede realizar con diferentes aumentos



(Mischke et al., 2009)

Técnicas de análisis en cámara Sedgwick-Rafter

- Método tradicional de conteo de células
- Idóneas para conteos de células de tamaño comprendido entre 20-500 μm
- Apropiaada para muestras de campo con elevada biomasa
- Llevan tallado un retículo de 50x20, quedando su área dividida en 1000 cuadraditos de 1 mm^2 de superficie
- Si se cuentan todas las células que contiene la cámara, cuya capacidad es 1 mL, los valores que se obtienen son células por mL
- Si la muestra es muy densa, se cuentan varias filas (50 cuadraditos por fila), y la estimación de densidad se hace según la ecuación:

$$D (\text{cel} / \text{mL}) = \frac{n^{\circ} \text{ cel contadas}}{n^{\circ} \text{ cuadrillos barridos}} \times \frac{1000 \text{ cuadrillos}}{1 \text{ mL}}$$

donde D = densidad celular (cel/ml)

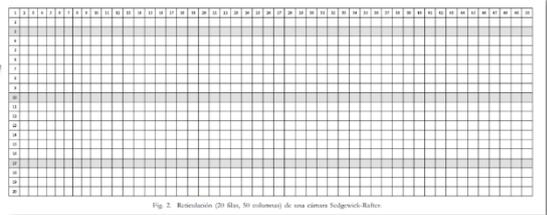
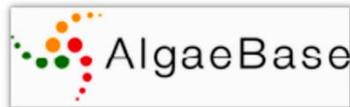
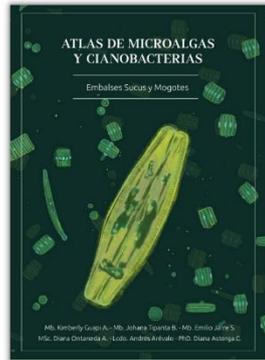


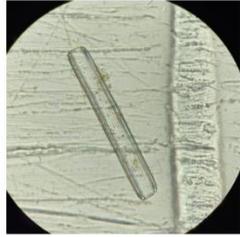
Fig. 2. Retículo (20 filas, 50 columnas) de una cámara Sedgwick-Rafter.

(Reguera et al., 2011)

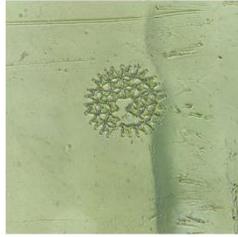
Guías taxonómicas empleadas



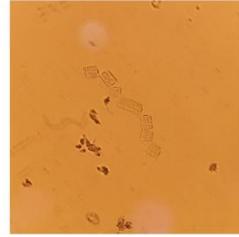
Ejemplos de muestras obtenidas.



Pinnularia sp.



Pediatrum sp.



Tabellaria sp.

- Todos los organismos presentados fueron observados con un aumento de 40x con la cámara Utermöhl

Extracción de Clorofila (Chl-a)

- Se pone cuidadosamente el filtro de fibra de vidrio (Whatman GF/F de 0,7µm de porosidad) en el porta filtros



- Debe tomar en cuenta la cantidad de agua que pasará por el filtro que en el caso de El Voladero es 300 mL de muestra. Tener cuidado al enroscar el porta filtros en la jeringa.



- Presione el émbolo para que pase el agua por el filtro, repetir el proceso hasta que cuese pasar agua indicando que ya está saturado



- Inyecte aire en el filtro para secarlo (se recomienda 3 veces) y desenroscar el porta filtros de la jeringa, tener en cuenta que no se debe succionar la jeringa con el filtro puesto, puede dañarlo y el proceso se verá afectado.



- Los filtros resultantes son cortados en pequeños fragmentos, almacenados en un tubo protegido de la luz con 10 ml de metanol y refrigerados por 24 horas a 4°C



- Pasadas las 24 horas se centrifuga a 3000 rpm durante 20 minutos. La medición fluorométrica se realiza con el equipo Turner Desings 8000-010 en el canal B, en el se agrega a la cámara únicamente 2 mL de muestra, sin que llegue a llenarse completamente. Los resultados arrojados se transforman mediante la formula:

$$Chla (\mu g/L) = \frac{1.1526 \cdot (\text{valor fluorimetro}) \cdot \left(\frac{\text{Vol metanol}}{\text{Vol filtrado}} \right)}{2.45}$$



Referencias

- Mischke, U., Thackeray, S., Dunbar, M., McDonald, C., Carvalho, L., De Hoyos, C., Jarvinen, M., Laplace-Treytore, C., Morabito, G., Skjelbred, B., Solheim, A. L., Brierley, B., & Dudley, B. (2009). Deliverable D3.1-4: Guidance document on sampling, analysis and counting standards for phytoplankton in lakes.
- O'Sullivan, P., & Reynolds, C. (2004). *Limnology and Limnetic Ecology*.
- Suthers, I., & Rissik, D. (2009). *PLANKTON. A guide to their ecology and monitoring for water quality*.
- Reguera, B., Alonso, R., Moreira, A., & Méndez, S. (2011). Guía para el diseño y puesta en marcha de un plan de seguimiento de microalgas productoras de toxinas.
- Van Colen, W., Portilla, K., Oña, T., Wyseure, G., Goethals, P., Velarde, E., & Muylaert, K. (2017). Limnology of the neotropical high elevation shallow lake Yahuarcocha (Ecuador) and challenges for managing eutrophication using biomanipulation. *Limnologica*, 67, 37–44. <https://doi.org/10.1016/J.LIMNO.2017.07.008>.

Fotografías: Valeria Arias, Antonio Guillén.

Anexo 7

Documento de autorización de recolección de especímenes de especies de diversidad biológica (MAATE-ARSFC-2022-2584)



AUTORIZACIÓN DE RECOLECCION DE ESPECIMENES DE ESPECIES DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA No. 2584

ESTUDIANTES E INVESTIGADORES (SIN FINES COMERCIALES)

1.- AUTORIZACIÓN DE RECOLECTA DE ESPECÍMENES DE ESPECIES LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA

2.- CÓDIGO

MAATE-ARSFC-2022-2584

3.- DURACIÓN DEL PROYECTO

FECHA INICIO	FECHA FIN
2022-10-13	2023-10-13

4.- COMPONENTE A RECOLECTAR

Protozoa

El Ministerio del Ambiente y Agua, en uso de las atribuciones que le confiere la Codificación a la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre autoriza a:

5.- INVESTIGADORES /TÉCNICOS QUE INTERVENDRÁN EN LAS ACTIVIDADES DE RECOLECCION

Nº de C./Pasaporte	Nombres y Apellidos	Nacionalidad	Nº REGISTRO SENESCYT	EXPERIENCIA	GRUPO BIOLÓGICO
1002587622	VELARDE CRUZ DELIA ELIZABETH	Ecuatoriana	1015-2017-1871007	3	NA-NA-Protozoa
0401550082	ARIAS CUASAPAZ VALERIA STEPHANIA	Ecuatoriana	No aplica		NA-NA-Protozoa
1004252357	CALDERON MARTINEZ NATHALY SILVANA	Ecuatoriana	No Aplica		NA-NA-Protozoa
1004773402	CORAL BECERRA MATEO ALEJANDRO	Ecuatoriana	No Aplica		NA-NA-Protozoa
1759036351	ARIAS MARIN JUAN CAMILO	Colombiana	No aplica		NA-NA-Protozoa

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica

Dirección: Calle Madrid 1159 y Andalucía
Código postal: 170525 / Quito-Ecuador
Teléfono: +593-2 398 7600
www.ambiente.gob.ec



1 / 5
República del Ecuador

6.- PARA QUE LLEVEN A CABO LA RECOLECCION DE ESPECIMENES DE ESPECIES LA DIVERSIDAD BIOLOGICA:

Nombre del Proyecto: Diversidad fitoplanctónica y su relación con el estado trófico de lagos y embalses someros de la provincia del Carchi

7.- SE AUTORIZA LA RECOLECCION CON EL PROPOSITO DE:

Evaluar la diversidad fitoplanctónica y su relación con el estado trófico de lagos y embalses someros de la provincia del Carchi
Evaluar la diversidad fitoplanctónica en los lagos y embalses someros de Voladero y Salado.
Diseñar estrategias de conservación de las cubetas lacustres Voladero y Salado con base a los resultados obtenidos.
Determinar el estado trófico con base en los parámetros físico-químicos de las cubetas lacustres en estudio.

8.- ÁREA GEOGRÁFICA QUE CUBRE LA RECOLECCIÓN DE LAS ESPECIES O ESPECÍMENES:

PROVINCIAS	SNAP	BOSQUE PROTECTOR
CARCHI	RESERVA ECOLOGICA EL ANGEL	NA
CARCHI	NA	NA

9.- INFORMACIÓN DE LAS ESPECIES A RECOLECTAR

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE	TIPO MUESTRA	Nº MUESTRA	Nº LOTE
NA-NA-Protozoa	NA-NA-NA-Protozoa	NA	NA	NA	Estratificadas	15	
NA-NA-Protozoa	NA-NA-NA-Protozoa	NA	NA	NA	Superficiales	15	

10.- METODOLOGÍA APLICADA EN CAMPO

FASE DE RECOLECCIÓN:	Los puntos de muestreo deben ubicarse en los puntos de salidas, entradas, el punto más profundo del lago y en las zonas donde se presencia actividades antrópicas; la determinación de los puntos descritos anteriormente se basa en los datos que se obtendrán en el proyecto de investigación VLIR-UOS de la Universidad Técnica del Norte del año 2022. Por otra parte, para la determinación de la frecuencia de muestreo en las dos cubetas lacustres, se la realiza a través de la elaboración de un diagrama ombrotérmico o climograma, de tal manera que se determine la época seca y lluviosa de la localidad en la que se ubican los ecosistemas en estudio.
FASE DE PRESERVACIÓN:	Se utilizará formaldehído para la fijación de muestras ya que detiene la actividad biológica y es el más utilizado en investigaciones con propósitos de identificación, la concentración recomendada para fitoplancton es de formaldehído al 2%, sin embargo, una concentración mayor garantiza un largo periodo de conservación

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica

Dirección: Calle Madrid 1159 y Andalucía
Código postal: 170525 / Quito-Ecuador
Teléfono: +593-2 398 7600
www.ambiente.gob.ec

11. METODOLOGIA APLICADA EN LABORATORIO

MÉTODOS EMPLEADOS EN EL LABORATORIO:	Para la identificación se tomará en cuenta una muestra cualitativa que permitirá determinar una lista de los taxones presentes en el área de estudio; para la identificación de los organismos se utilizarán características morfológicas que son percibidas a través de microscopía, la forma, el tamaño, el color de las células, el tipo de pared celular, la presencia o ausencia de flagelos y otros organelos son distintivos de cada división de algas con ayuda de un microscopio marca LEICA serie DM750 con un aumento de 400X. Por otra parte, el uso de guías, literatura especializada y bases de datos ayudará a la determinación taxonómica de las especies. Las muestras serán sedimentadas por 24 horas y serán contabilizadas en una cámara Sedgewick-Rafter con capacidad de 1 mL óptimas para muestras de 104 células/mL, con ayuda del microscopio se harán barridos horizontales por cada celda contando cada uno de los organismos con ayuda de un contador manual de células. Para la determinación de la diversidad fitoplanctónica se utilizarán los índices de Shannon-Wiener, índice de Riqueza de Margalef e índice de Pielou. Estos índices permiten una estimación de la variabilidad biológica a partir de datos de campo.
---	--

12.- SE AUTORIZA LA UTILIZACIÓN DE LOS SIGUIENTES MATERIALES Y/O EQUIPOS PARA LA REALIZACIÓN DE ESTA RECOLECCION.

Grupo Biológico a Recolectar	Descripción	Tipo de Equipamiento
NA-NA-Protozoa	COMPUTADOR, MICROSCOPIO MARCA LEICA TIPO DM750	Equipo en Laboratorio
NA-NA-Protozoa	CILINDRO VAN DORN TIPO BETA DE 2,2 L DE CAPACIDAD, CHALECOS SALVAVIDAS, Balsa Inflable, RED PLANCTON	Material en Campo
NA-NA-Protozoa	FORMALDEHÍDO AL 37 %, AGUA DESTILADA, TUBOS DE ENSAYO, TUBOS FALCON DE 50 ML, MICROPIPETAS DE 0,5 A 10 UL Y 100 UL, PIPETAS PASTER, CUBRE OBJETOS RECTANGUARES, CÁMAR DE CONTEO SEDWICK-RAFTER	Material en Laboratorio
NA-NA-Protozoa	GPS GARMIN, MULTIPARÁMETRO	Equipo en Campo

13.- COLECCIONES NACIONALES DEPOSITARIAS DEL MATERIAL BIOLÓGICO

NA-NA-Protozoa	Museo de Zoología Pontificia Universidad Católica del Ecuador
----------------	---

14.- RESULTADOS ESPERADOS

Los resultados esperados se basan en la hipótesis planteada, es decir, determinar si los parámetros físico-químicos y la diversidad fitoplanctónica tienen o no relación con el estado trófico de los lagos y embalses someros de El Voladero y El Salado

15.- CONTRIBUCIÓN DEL ESTUDIO PARA LA TOMA DE DECISIONES A LA ESTRATEGIA NACIONAL DE BIODIVERSIDAD 2011-2020.

METAS	DESCRIPCIÓN
-------	-------------

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica

Dirección: Calle Madrid 1159 y Andalucía
Código postal: 170525 / Quito-Ecuador
Teléfono: +593-2 398 7600
www.ambiente.gob.ec

Meta02.13.01Al 2017, el Ecuador ha aumentado la proporción del territorio continental bajo conservación o manejo ambiental al 35,9%.

Implementación de un programa de monitoreo participativo que promueva el involucramiento de las personas de las comunidades, gobiernos locales, además, de formar capacidades que permitan conservar los ecosistemas y valoren los impactos de las actividades sobre estos, pues, se pretende proteger los cuerpos de agua y éstos retengan sus nutrientes, el monitoreo de la calidad del agua puede ser suficiente, pero, si lo que se busca es reducir la eutrofización de un lago, el monitoreo debe estar enfocado a la medición de las concentraciones de clorofila o la turbidez

DE ACUERDO A LAS SIGUIENTES ESPECIFICACIONES

1. Solicitud de: **ARIAS CUASAPAZ VALERIA STEPHANIA**
2. Institución Nacional Científica : **UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE**
3. Fecha de entrega del informe final o preliminar: **2023/09/28**
4. Valoración técnica del proyecto: **AULESTIA CORDOVA DARWIN PAUL**
5. Esta Autorización **NO HABILITA LA MOVILIZACIÓN DE FLORA, FAUNA, MICROORGANISMOS Y HONGOS.**
6. Esta Autorización **NO HABILITA EXPORTACIÓN DE FLORA, FAUNA, MICROORGANISMOS Y HONGOS**, sin la correspondiente autorización del Ministerio del Ambiente y Agua.
7. Los especímenes o muestras recolectadas no podrán ser utilizadas en actividades de **BIOPROSPECCIÓN, NI ACCESO AL RECURSO GENÉTICO.**
8. Los resultados que se desprendan de la investigación, no podrán ser utilizados para estudios posteriores de Acceso a Recurso Genéticos sin la previa autorización del Ministerio del Ambiente y Agua.

OBLIGACIONES DEL/ LOS INVESTIGADOR/ES.

9. Ingresar al sistema electrónico de recolecta de especímenes de especies la diversidad biológica del ministerio del ambiente y agua, el o los informes parciales o finales en formato PDF, en el formato establecido.

Con los siguientes anexos:

- Escaneado de el o los certificados originales del depósito o recibo de las muestras, emitidas por las Colecciones Científicas Ecuatorianas como Internacionales depositarias de material biológico.
- Escaneado de las publicaciones realizadas o elaboradas en base al material biológico

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica

Dirección: Calle Madrid 1159 y Andalucía
Código postal: 170525 / Quito-Ecuador
Teléfono: +593-2 398 7600
www.ambiente.gob.ec

recolectado.

- Escaneado de material fotográfico que considere el investigador pueda ser utilizados para difusión. (se mantendrá los derechos de autor).

10. Citar en las publicaciones científicas, Tesis o informes técnicos el número de Autorización de Recolección otorgada por el Ministerio del Ambiente y Agua, con el que se recolecto el material biológico.

11. Depositar los holotipos en una institución científica depositaria de material biológico.

12. Los holotipos solo podrán salir del país en calidad de préstamo por un periodo no más de un año.

13. Las muestras biológicas a ser depositadas deberán ingresar a las colecciones respectivas siguiendo los protocolos emitidos por el Curador/a custodio de los especímenes.

14. Las muestras deberán ser preservadas, curadas y depositadas de lo contrario, se deberán sufragar los gastos que demanden la preparación del material para su ingreso a la colección correspondiente.

Del incumplimiento de las obligaciones dispuestas en los numerales, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 se responsabiliza a **ARIAS CUASAPAZ VALERIA STEPHANIA.**

DIRECTOR DE BIODIVERSIDAD
LAGLA CHIMBA BYRON ADRIAN
2022-09-23