



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

**“EVALUACIÓN DE INFLUENCIA DE *Poecilia reticulata* Y *Elodea densa*
SOBRE EL CRECIMIENTO DE FITOPLANCTON Y ZOOPLANCTON
EN EL LAGO YAHUARCOCHA”**

Trabajo de titulación presentado como requisito previo a la obtención del título de
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

AUTOR

Diego Fernando Olivo Mayorga

DIRECTORA

Ing. Elizabeth Delia Velarde Cruz, MSc.

Ibarra – Ecuador

2019

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

“EVALUACIÓN DE INFLUENCIA DE *Poecilia reticulata* Y *Elodea densa*
SOBRE EL CRECIMIENTO DE FITOPLANCTON Y ZOOPLANCTON
EN EL LAGO YAHUARCOCHA”

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, previa a la obtención del título de:
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Ing. Elizabeth Velarde, MSc.

DIRECTORA

FIRMA

Ing. Tania Oña, MSc.

ASESORA

FIRMA

Ing. Santiago Cabrera, MSc.

ASESOR

FIRMA

IBARRA - ECUADOR
DICIEMBRE, 2019



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, hacemos la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual ponemos a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	070441899-5	
APELLIDOS Y NOMBRES	Olivo Mayorga Diego Fernando	
DIRECCIÓN:	Ibarra – Imbabura	
EMAIL:	yeyolivo_1@hotmail.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0992382932

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DE INFLUENCIA DE <i>Poecilia reticulata</i> Y <i>Elodea densa</i> SOBRE EL CRECIMIENTO DE FITOPLANCTON Y ZOOPLANCTON EN EL LAGO YAHUARCOCHA
AUTORES:	Olivo Mayorga Diego Fernando
FECHA:	6 de diciembre de 2019
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Recursos Naturales Renovables
DIRECTORA:	Ing. Elizabeth Velarde, MSc.

2. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autores terceros, por lo tanto, la obra es original y son titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumimos la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldremos en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 6 días del mes de diciembre del 2019

EL AUTOR:



.....
Olivo Mayorga Diego Fernando

CI.: 070441899-5

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, DIEGO FERNANDO OLIVO MAYORGA, con cédula de identidad Nro. 070441899-5; manifiesto la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, Artículos 4, 5 y 6, en calidad de autores de la obra de trabajo de grado denominada “**EVALUACIÓN DE INFLUENCIA DE *Poecilia reticulata* Y *Elodea densa* SOBRE EL CRECIMIENTO DE FITOPLANCTON Y ZOOPLANCTON EN EL LAGO YAHUARCOCHA**” que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingenieros en Recursos Naturales Renovables en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.



Olivo Mayorga Diego Fernando

CI.: 07044189-5

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: 6 de diciembre del 2019

DIEGO FERNANDO OLIVO MAYORGA

EVALUACIÓN DE INFLUENCIA DE *Poecilia reticulata* Y *Elodea densa* SOBRE EL CRECIMIENTO DE FITOPLANCTON Y ZOOPLANCTON EN EL LAGO YAHUARCOCHA

TRABAJO DE GRADO

Ingenieros en Recursos Naturales Renovables, Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Ibarra. Ec. 6 de diciembre de 2019.

DIRECTORA: Ing. Elizabeth Velarde, MSc.

El objetivo de la presente investigación fue la evaluación de la influencia de *Poecilia reticulata* y *Elodea densa* sobre el crecimiento de fitoplancton y zooplancton en el lago Yahuarcocha, para elaborar una propuesta de biomanipulación. Entre los objetivos específicos se buscó caracterizar los componentes bióticos mencionados en el año 2018 y si existen influencia de *Poecilia reticulata* y *Elodea densa* sobre el crecimiento del plancton para elaborar una propuesta de biomanipulación.

Ibarra a los 6 días del mes de diciembre de 2019

AUTOR



Diego Fernando Olivo Mayorga

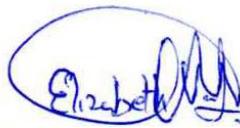
DIRECTORA



Ing. Elizabeth Velarde, MSc.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores DIEGO FERNANDO OLIVO MAYORGA, con cédula de identidad Nro. 070441899-5, bajo mi supervisión en calidad de directora.



Ing. Elizabeth Velarde, MSc.

DIRECTORA

Ibarra, a los 6 días del mes de diciembre de 2019.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios principalmente porque bajo su mano poderosa me ha enseñado, guardado y sobretodo me ha amado, siendo Él mi fortaleza y auxilio en todo momento.

A mis padres quienes son los pilares más importantes en mi vida, con su apoyo incondicional y su amor, se logró un objetivo más en mi vida. A mis hermanas, cuñados y sobrinos por ser mi motivación cada día y con quienes siempre poder contar.

Asimismo, un cordial agradecimiento a la Ing. Elizabeth Velarde, MSc. por la apertura para ser parte del proyecto VLIR-UOS, además de estar presente con su apoyo, guía, confianza y ejemplo aportando para mejorar mi formación. De igual manera al Ing. Santiago Cabrera, MSc y la Ing. Tania Oña, MSc. quienes, con sus valiosos observaciones y conocimientos, permitieron el desarrollo de esta investigación.

Ing. Karen Portilla por su ayuda, conocimientos, paciencia y sobretodo su orientación valiosa durante esta etapa, demostrando ser una gran profesional.

Al proyecto “Manejo Sostenible de los lagos del norte del Ecuador bajo las crecientes actividades económicas y el cambio climático” con la cooperación binacional de Ecuador - Bélgica quienes apoyaron y asistieron con los recursos humanos y económicos necesarios.

Agradecimiento especial para el equipo LABINAM: Jorge R., Fernanda B., Francisco C., Erika P., Kevin P., Malqui T., Rodrigo Ch., Ramiro S., Sebas R., Eve Ch. y Joss C. por toda la ayuda desinteresada que han brindado para que se logre esta investigación. De igual manera a mis amigos: Nixon C., Dayra H., Jhoss V., Gandhi P., María A. y Gisse C. por el apoyo, amistad sincera y por todos los momentos que pasamos durante toda la formación universitaria.

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a mi Dios ya que cada día me demuestra su gracia y amor infinito, estando bajo su voluntad el poder culminar con mis estudios, llenándome de sabiduría y fortaleza en todo tiempo.

A mis padres por todo el trabajo dedicado en mí, ya que esto es el reflejo de su esfuerzo, amor incondicional y consejos no solo en esta etapa universitaria, sino a largo de mi vida. A mis hermanas por estar siempre conmigo, ser ese apoyo constante, y un gran ejemplo en mi vida. A mis cuñados que son grandes hombres del Señor, ejemplo a seguir y amigos que demuestran el gran amor por su familia, y a mis dos sobrinos hermosos que con sus locuras y ocurrencias llegan a ser la alegría de mi vida.

¡Esto es para ustedes!

Diego Fernando Olivo Mayorga

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Páginas
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Revisión de Antecedentes	1
1.2 Problema de investigación y justificación.....	3
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo general:.....	5
1.3.2 Objetivos específicos:	5
1.4 Pregunta directriz de la investigación o hipótesis	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	7
2.1 Marco teórico referencial	7
2.1.1 Limnología en lagos tropicales altoandinos.....	7
2.1.2 Componentes bióticos	8
2.1.2.1 Macrófitas	8
2.1.2.2 Fitoplancton.....	10
2.1.2.3 Zooplancton.....	12
2.1.2.4 Peces.....	14
2.1.3 Cadena y cascada trófica en lagos tropicales andinos.....	15
2.1.4 Estrategias de biomanipulación en lagos tropicales.....	16
2.2 Marco Legal	17
2.2.1 Constitución de la República del Ecuador (2008).....	18
2.2.2 Convenios Internacionales	18
2.2.3 Código Orgánico del Ambiente	18
2.2.4 Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021	19
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	20
3.1 Descripción del área de estudio.....	20
3.2 Metodología	21
3.2.1 Caracterización de los componentes bióticos (zooplancton, fitoplancton, <i>Poecilia reticulata</i>).....	21

3.2.2 Determinación del crecimiento de fitoplancton y zooplancton en función a la macrófita sumergida <i>Elodea densa</i> y el pez <i>Poecilia reticulata</i>	26
3.2.3 Propuesta de Biomanipulación.....	31
3.2.3.1 Método FODA	32
3.3 Materiales y equipos	32
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1 Caracterización de fitoplancton, zooplancton y necton (<i>Poecilia reticulata</i>) que existe en el lago Yahuarcocha.....	33
4.1.1 Fitoplancton.....	33
4.1.1.1 Descripción cualitativa según su morfología	37
4.1.2 Zooplancton.....	40
4.1.2.1 Descripción cualitativa según su morfología	44
4.1.3 Pez (<i>Poecilia reticulata</i>)	47
4.2 Determinación del crecimiento de fitoplancton y zooplancton en función de <i>Elodea densa</i> y <i>Poecilia reticulata</i>	50
4.2.1 Densidad de Fitoplancton.....	50
4.2.2 Análisis estadístico de Clorofila (b).....	53
4.2.2.2 Tasa de crecimiento.....	58
4.2.3 Densidad de zooplancton	59
4.2.3.1 Análisis de diferencias estadísticas entre tratamientos de cladóceros	60
4.3 Propuesta de biomanipulación	63
4.3.1 Antecedentes de la propuesta	64
4.3.2 Objetivos de la propuesta de biomanipulación	65
4.3.2.1 Objetivo general de la propuesta:.....	65
4.3.2.2 Objetivos específicos de la propuesta:	65
4.3.3 Evaluación por F.O.D.A.....	66
4.3.4 Metodología determinada de la propuesta	66
4.3.5 Presupuesto	72
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
5.1 Conclusiones	74
5.2 Recomendaciones.....	75
REFERENCIAS	76

ANEXOS..... 84

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Páginas
Tabla 1. Materiales, equipos, reactivos y software	32
Tabla 2. Taxonomía de los géneros de fitoplancton del lago Yahuarcocha.....	33
Tabla 3. Taxonomía de especies de Zooplancton del lago Yahuarcocha	40
Tabla 4. Densidad de los géneros en cada tratamiento (ind/ml)	51
Tabla 5. Resumen estadístico descriptivo de Clorofila	54
Tabla 6. Resultado del análisis de varianza de los datos de clorofila	54
Tabla 7. Densidad de cladóceros (ind/ml).....	59
Tabla 8. Resumen estadístico descriptivo de cladóceros	60
Tabla 9. Resultados del análisis de varianza de cladóceros	60
Tabla 10. Método F.O.D.A.	66
Tabla 11. Presupuesto para la implementación de 10 esteras flotantes	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Páginas
Figura 1. Especie <i>Elodea densa</i>	9
Figura 2. Género <i>Microcystis</i>	11
Figura 3. Género <i>Cylindrospermopsis</i>	11
Figura 4. Género <i>Oscillatoria</i>	12
Figura 5. (A) Copépodo en estado adulto y (B) género <i>Nauplius</i> o copépodo en estado juvenil	13
Figura 6. (A) Género <i>Daphnia</i> y (B) Género <i>Acanthocyclops</i>	14
Figura 7. Especie <i>Poecilia reticulata</i> : (A y B) Hembras y (C y D) Machos	15
Figura 8. Ubicación del lago Yahuarcocha	20
Figura 9. Captura del pez <i>Poecilia reticulata</i>	24
Figura 10. Análisis de las muestras de fitoplancton y zooplancton	25
Figura 11. Clasificación de los mesocosmos en base al fitoplancton	26
Figura 12. Clasificación de los mesocosmos en base al zooplancton	27
Figura 13. Toma de muestras de zooplancton.....	27
Figura 14. (A) Clasificación y (B) desinfección de las macrófitas	28
Figura 15. Mesocosmos colocados cerca al lago Yahuarcocha	29
Figura 16. Extracción de clorofila con papel filtro	30
Figura 17. Composición de fitoplancton en el año 2018 del lago Yahuarcocha... 34	
Figura 18. Abundancia relativa (%) del filo de fitoplancton en el lago Yahuarcocha para el año 2018	35
Figura 19. Abundancia relativa (%) de fitoplancton en el lago Yahuarcocha para el año 2018.....	36
Figura 20. Los géneros de fitoplancton identificados en el lago Yahuarcocha del año 2018 son: A <i>Chlamydomonas</i> (40X), B <i>Chlorella</i> (40X), C <i>Cyclotella</i> (40X), D <i>Merismopedia</i> (40X), E <i>Raphidiopsis</i> (40X), F <i>Cylindrospermopsis</i> (40X), G <i>Microcystis</i> (40X), H <i>Oscillatoria</i> (40X) y I <i>Trachelomonas</i> (40X).....	39
Figura 21. Composición del zooplancton en el año 2018.....	41
Figura 22. Abundancia relativa (%) de las clases de zooplancton en el año 2018	42

Figura 23. Abundancia relativa (%) del zooplancton en el lago Yahuarcocha para el año 2018.....	43
Figura 24. Las especies de zooplancton identificados en el lago Yahuarcocha del año 2018 son: A <i>Acanthocyclops sp.</i> (10x); B <i>Acanthocyclops sp.</i> (4x), C <i>Ascomorpha sp.</i> (40x), D <i>Asplanchna sp.</i> (10x), E <i>Brachionus angularis</i> (40x), F <i>Daphnia sp.</i> (10x), G <i>Keratella tropica</i> (40x), H <i>Keratella cochlearis</i> (40x), I <i>Nauplius calanoida</i> (40x), J <i>Nauplius cyclopoida</i> (40x), K <i>Polyarthra vulgaris</i> (40x).....	46
Figura 25. Medición de tamaño de <i>Poecilia reticulata</i> (hembra)	47
Figura 26. Identificación del género de <i>Poecilia reticulata</i> : (A) Hembra y (B y C) Machos	47
Figura 27. Identificación de los puntos de muestreo de peces en el mapa de cotas de profundidad del lago Yahuarcocha.....	48
Figura 28. Esquema sobre la cadena trófica del lago Yahuarcocha en base a los componentes bióticos estudiados. Las líneas de color azul se refieren a la interacción positiva que tiene el eslabón superior al aprovechar el consumo del inferior, ayudando a desarrollar de mejor manera al consumirlo, en cambio las líneas de color rojo se refieren a la interacción negativa.	49
Figura 29. Abundancia gráfica de los tratamientos de fitoplancton; A Inicial (10x), B <i>Elodea</i> , Zooplancton y Peces (10x), C Peces (10x), D Zooplancton (10x), E Zooplancton y Peces (10x), F Control (10x), y G <i>Elodea</i> y Zooplancton (10x)...	53
Figura 30. Caja de Bigotes de los datos de clorofila extraída.....	56
Figura 31. Histograma de Normalidad de clorofila	57
Figura 32. Tasa de crecimiento de los tratamientos.....	58
Figura 33. Caja de Bigotes con los tratamientos de cladóceros.....	61
Figura 34. Histograma de Normalidad de clorofila	62
Figura 35. Diseño de las esteras flotantes de macrófitas	68
Figura 36. Implementación de la estera flotante de macrófitas	68
Figura 37. Preparación de los 500 gramos de <i>Elodea densa</i>	69
Figura 38. Mapa de puntos estratégicos para colocar las esteras flotantes	70

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

Olivo Mayorga Diego Fernando

RESUMEN

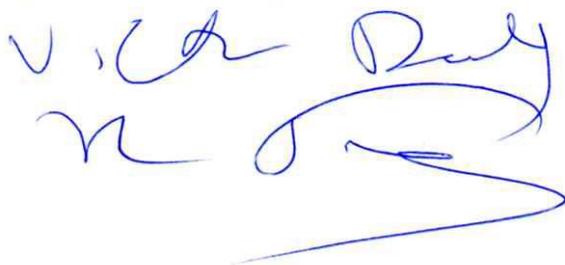
La cadena trófica del lago Yahuarcocha ha sido alterada por la contaminación, actividades antrópicas que aumentan los nutrientes del lago, ocasionando floraciones excesivas de cianobacterias y una sobrepoblación del pez *Poecilia reticulata*. Es prioritario investigar la interacción de los componentes bióticos para comprender la cadena trófica y la restauración. El presente estudio tiene por objetivo evaluar la influencia de *Poecilia reticulata* y *Elodea densa* sobre el crecimiento de fitoplancton y zooplancton en el lago Yahuarcocha, para elaborar una propuesta de biomanipulación. Para esto se caracterizaron los componentes bióticos como zooplancton, fitoplancton y *P. reticulata* en el año 2018, seguido de experimentación en mesocosmos para la interacción de la macrófita, el pez y plancton para elaborar una propuesta de biomanipulación. Para la caracterización de fitoplancton se registró al género *Cylindrospermopsis* como el más abundante (96%), en cuanto a zooplancton el género *Acanthocyclops* fue el más abundante (57.7%) y para el pez se determinaron puntos de captura registrando 3 ind/l. Los mesocosmos confirman la presencia de *Cylindrospermopsis*, pero en relación a la influencia del pez y la macrófita, la presencia de *E. densa* disminuye la densidad de fitoplancton (30 685.80 ind/ml), de *Cylindrospermopsis* (29 385.71 ind/ml) y aumenta la presencia de cladóceros (3.04 ind/ml). Los mesocosmos con presencia de *P. reticulata* aumenta la densidad de fitoplancton (156 666.66 ind/ml), de *Cylindrospermopsis* (149 962.96 ind/ml), y disminuye los cladóceros (2.09 ind/ml). Como propuesta se plantea la implementación de esteras flotantes con *E. densa* (4 m de largo x 2 m de ancho x 1.3 m de altura) en diez puntos del lago para regular las floraciones de cianobacterias y aportar al equilibrio de la cadena trófica.

Palabras clave: Biomanipulación, cadena trófica, interacción, mesocosmos.

ABSTRACT

The trophic chain of Yahuarcocha lake has been altered by pollution and anthropic activities that increase nutrients of the lake, causing excessive bloom of cyanobacteria and an overpopulation of *Poecilia reticulata*. It is a priority to research the interaction of biotic components to understand the trophic chain and its restoration. The purpose of this study is to evaluate the influence of *Poecilia reticulata* and *Elodea densa* on the growth of phytoplankton and zooplankton in Yahuarcocha lake, to develop a biomanipulation proposal. For this, biotic components such as zooplankton, phytoplankton and *P. reticulata* were characterized in 2018, followed by experimentation in mesocosms for the interaction of the macrophyte, the fish and the plankton, with this information the research proposal was established. For the characterization of phytoplankton, the genus *Cylindrospermopsis* was recorded as the most abundant (96%), as for zooplankton the genus *Acanthocyclops* was the most abundant (57.7%) and for the fish, catch points were determined registering 3 ind/l. The mesocosms confirm the presence of *Cylindrospermopsis*, but in relation to the influence of the fish and the macrophyte, the presence of *E. densa* decreases the density of phytoplankton (30 685.80 ind/ml), of *Cylindrospermopsis* (29 385.71 ind/ml) and increases the presence of cladocera (3.04 ind/ml). mesocosms with the presence of *P. reticulata* increases the density of phytoplankton (156 666.66 ind/ml), *Cylindrospermopsis* (149 962.96 ind/ml), and decreases the cladocera (2.09 ind/ml). as a proposal, the implementation of floating mats with *E. densa* (4 m long x 2 m wide x 1.3 m high) is proposed at ten points in the lake to regulate cyanobacterial blooms and contribute to the balance of the trophic chain.

Key Words: Biomanipulation, trophic chain, interaction, mesocosms



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Revisión de Antecedentes

Los lagos tienen una importancia ecológica al ser un componente principal de una cuenca hidrográfica formada por procesos geológicos como los terremotos, movimientos tectónicos, la erosión, la sedimentación, entre otros (Cervantes, 2007). Estos cuerpos de agua poseen interacciones de varios organismos que son vitales para el funcionamiento del ecosistema, por lo tanto existe una dinámica poblacional, acompañada de sus características adaptativas que regulan la productividad, siendo esta la relación trófica y la competitividad que tiene una especie sobre otra (Wetzel, 2001).

La variación del clima, la geología y geomorfología dan lugar a la formación de una amplia gama de ecosistemas, estos están influenciados por factores naturales y antrópicos, de tal manera que se ha alterado su equilibrio natural, y por ende la cadena trófica en el lago, tanto para animales como plantas acuáticas (Terneus, 2014).

En América, se han realizado múltiples estudios sobre la influencia del fitoplancton en el entorno natural, Ochoa (2017) investigó sobre las especies que existen en el lago Yahuarcocha en Ecuador, encontrando *Microcystis* y *Cylindrospermopsis* entre las más relevantes. Además, Maridueña et al. (2003) demuestra que en el lago Yahuarcocha existen altas concentraciones de estos organismos, o también conocidas como floraciones fitoplanctónicas, debido a la presencia de nutrientes como el fósforo y nitrógeno que contribuyen a este desarrollo, entre las toxinas encontradas están las anatoxin-a y microcistina.

En los últimos años se ha hecho evidente el avance de estudios relacionados con peces, macrófitas, zooplancton y fitoplancton en América Latina (Montoya y Aguirre, 2009). Imbabura es particularmente renombrada “Provincia de los lagos”

ya que en su territorio posee varios sistemas lacustres, donde tanto factores biótico como abióticos se relacionan entre sí (Maridueña et al., 2003). Yahuarcocha es considerado un lago polimíctico que tiene variables limnológicas que son constantes durante las 24 horas, sin embargo, el oxígeno disuelto y la temperatura tienen una ligera variación, considerando que permanece constante en su mayoría, estos resultados demuestran que no existe estratificación en el lago (Maridueña et al., 2003; Mandonx, 2014; Caicedo, 2016; Colen, et al., 2017).

Por consecuencia se han realizado estudios en Yahuarcocha sobre las especies zoopláctónicas, entre las más representativas debido a su tamaño y abundancia son *Daphnia sp.*, *Acanthocyclops sp.* y *Brachionus angularis*. La especie *Daphnia pulex* busca refugio en las macrófitas para reducir su mortalidad por la depredación de peces, realizando los experimentos en laboratorio llegaron a la conclusión que en una columna de agua con macrófitas y sin peces, la *Daphnia pulex* se alejaba de las macrófitas, en cambio en la columna de agua con macrófitas y con peces, la *Daphnia* se acercaba y buscaba refugio en las macrófitas (Burks, Jeppesen y Lodge, 2001).

La presencia de la macrófita *Elodea densa* en Yahuarcocha aún es improbable, ya que en el 2015 se comprobó la presencia de esta, pero en un solo punto del lago, por lo que se estima que en la actualidad ya no exista esta especie en el lago de manera natural, también posee una relación fuerte con el aprovechamiento de nutrientes, la temperatura del agua es un factor condicional, pero sobretodo esta estrechamente relacionada con la profundidad, ya que no se encuentra en toda la cubeta del lago, sino solo en las orillas siendo la zona bentónica (Pabón, 2015).

En Yahuarcocha se puede encontrar la especie *Poecilia reticulata* o comúnmente llamada “Guppy”, el cual se ubica en la zona del muelle o en las orillas del lago, sitios que no sobrepasen 1.5 metros de profundidad, esta es una especie es tolerante a enfermedades, además tiene la capacidad de resistencia ante alta salinidad, pH y temperatura por esta razón se desarrolla en todo tipo de ecosistemas acuáticos, sin embargo es un problema ambiental al existir sobrepoblación en los ecosistemas, ya

que una sola hembra puede llegar a colonizar un nuevo hábitat (Elías-Fernández, Navarrete-Salgado, Fernández-Guzmán y Contreras-Rivero, 2006; Maridueña et al., 2003).

Es más probable que la cascada trófica pueda ser controlada por los cambios en el fitoplancton, por otra parte, el crecimiento de fitoplancton se ve relacionado por el zooplancton, el género *Daphnia* son herbívoros y se encargan de limitar el crecimiento de fitoplancton mediante el pastoreo, pero se pueden ver afectadas por el aumento de peces omnívoros en un lago, estos cual se encargarían de reducir el pastoreo, a estas interacciones dinámicas se las conoce como cascada trófica (Reynolds, 2006).

1.2 Problema de investigación y justificación

Específicamente el lago Yahuarcocha, perteneciente al cantón Ibarra, ha sido afectado por las diversas actividades antrópicas por parte de la población que esta aledaña al lago, ya que han perturbado el ecosistema acuático alterando su composición al arrojar basura e ingresar aguas residuales, esta contaminación se ve reflejado en el cambio de su sistema natural, el incremento del fitoplancton obteniendo el color verdoso en el lago y la sobrepoblación de un tipo de pez característico de la zona denominado “guppy” (*Poecilia reticulata*) esto indica a su vez una baja diversidad de especies y una alta abundancia de un grupo de organismos (Maridueña et al., 2003; Colen, et al., 2017).

La depredación de los peces, específicamente *Poecilia reticulata* ha generado una presión negativa en el crecimiento y alimentación del zooplancton, produciendo que disminuya su población y consecuentemente que no se consuma de manera eficaz al fitoplancton (Maridueña et al., 2003; Bobadilla, 2013). Es decir, se produce una inestabilidad ecológica del tipo *top-down* que hace referencia al desequilibrio en la cadena trófica que ocasiona un depredador sobre sus presas, por ejemplo, la presión que ejerce la dominancia de especies depredadoras de zooplancton (Huse et al., 2012). Esta alteración en la cadena trófica lleva al

crecimiento o proliferación del fitoplancton, y por ende de las cianobacterias que son fuente principal de liberación de toxinas. El efecto final sobre el ecosistema acuático es una afectación sobre toda la cadena trófica e incluso ponen riesgo a las personas que se hacen uso de estos cuerpos de agua (Carpenter, Kitchell y Hodgson, 1985; Colen, et al., 2017).

Yahuarcocha es uno de los lagos que posee la provincia de Imbabura, en la actualidad se encuentra en estado eutrófico dirigiéndose a un estado hipereutrófico (Terneus, 2014; Portilla, 2015). En este ecosistema los peces podrían ser considerados como un factor responsable del proceso de eutrofización, al ser depredadores del zooplancton y contribuir al incremento de la biomasa del fitoplancton lo que conlleva a un aumento de la turbidez del agua (Carpenter y Kitchell, 1993; Jeppesen et al., 2010; Terneus, 2014; Colen, et al., 2017).

Es necesario conocer cuál es el grado de interacción que los componentes bióticos tienen con *Poecilia reticulata* y *Eloдея densa*, donde esta investigación contribuye con información para una posible disminución del nivel de eutrofización del lago, además de ser considerados como registradores de los cambios ambientales que ocurren en al transcurrir los años. La cuenca del lago de Yahuarcocha y específicamente el espejo de agua tienen una importancia social, económica y ambiental. En el ámbito social el lago cuenta con una historia y cultura única del país y fortalece las costumbres del sector al mantener el ecosistema. En el aspecto económico se ha incrementado el turismo que se realiza en la zona con la ayuda de la comunidad y pueblos aledaños (Jácome, 2015). En el aspecto ambiental del lago Yahuarcocha es belleza paisajística particular del sector, además, de cumplir con la función de ser nicho ecológico siendo un sitio de descanso para aves (Terneus, 2014).

La investigación cumple con las directrices del plan “Toda una vida” siendo este un instrumento del estado, que permite tener una visión integral para mejorar la calidad de vida de las personas, dentro de los 9 objetivos nacionales para el desarrollo. El objetivo 3 se relaciona con esta investigación, ya que garantiza los

derechos de la naturaleza y promueve la conservación, protección, y el uso sostenible de los ecosistemas. Por otra parte, el propósito de esta investigación es proporcionar información relevante para los estudios que se realizan por parte del proyecto VLIR-UOS, siendo parte de la investigación “Manejo sostenible de los lagos en el norte de Ecuador bajo la creciente de actividades económicas y el cambio climático”, bajo la cooperación con Bélgica por lo que posee un financiamiento internacional.

1.3 Objetivos

Los objetivos planteados son para conocer si existe influencia de las especies *Elodea densa* y *Poecilia reticulata*, y de esta manera comprobar si las floraciones fitoplancton se reducen en base a la macrófita y el pez.

1.3.1 Objetivo general:

Evaluar la influencia de *Poecilia reticulata* y *Elodea densa* sobre el crecimiento de fitoplancton y zooplancton en el lago Yahuarcocha, para elaborar una propuesta de biomanipulación.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Caracterizar cuantitativa y cualitativamente el fitoplancton, zooplancton y necton (*Poecilia reticulata*) que existe en el lago Yahuarcocha.
- Determinar el crecimiento de fitoplancton y zooplancton en función de la macrófita sumergida *Elodea densa* y el pez *Poecilia reticulata*.
- Elaborar una propuesta de biomanipulación basada en el estudio del fitoplancton, zooplancton, necton (*Poecilia reticulata*) y la macrófita (*Elodea densa*) del lago Yahuarcocha para la conservación de este ecosistema.

1.4 Pregunta directriz de la investigación o hipótesis

Hipótesis nula

Ho: No existe influencia de la *Poecilia reticulata* y *Elodea densa* sobre el crecimiento de fitoplancton y zooplancton.

Hipótesis Alternativa

H1: Existe influencia de la *Poecilia reticulata* y *Elodea densa* sobre el crecimiento de fitoplancton y zooplancton.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Marco teórico referencial

En este capítulo se detallan temas importantes sobre la limnología, características de los componentes bióticos estudiados, cadena trófica, esto a partir de fuentes bibliográficas como libros, artículos y tesis aportando con información para la interpretación de resultados.

2.1.1 Limnología en lagos tropicales altoandinos

Según Wetzel (2001) la limnología es la ciencia encargada del estudio de los ecosistemas acuáticos, estos pueden ser epicontinentales o de agua dulce, donde intervienen los componentes bióticos y abióticos. Según Cervantes (2007) esta ciencia también es responsable de clasificar a los ecosistemas acuáticos, los divide en sistemas lénticos y lóticos, el primer sistema se caracteriza por el cuerpo de agua estancado o en reposo y los cambios biogeoquímicos que ocurren en ellos, en este tipo de ecosistema se encuentran los lagos, lagunas, embalses entre otros, mientras que el segundo estudia los sistemas que fluyen como los ríos, arroyos, etc. La clasificación de los lagos depende mucho de las características físicas, químicas y biológicas, por ejemplo, Becares, Conty, Rodríguez-Villafañe y Blanco (2005) separa a los lagos en someros y profundos, donde los lagos someros poseen tres metros de profundidad media y no se estratifican.

Los lagos son sistemas lénticos con la característica de poseer un caudal escaso, también son grandes cuerpos de agua con profundidades considerables, se encuentran en el continente, sin poseer una salida al mar. Estos ecosistemas se consideran como masas de agua depositados en las depresiones terrestres a lo largo de milenios debido a fenómenos geológicos (Becares et al., 2004; Cervantes, 2007). O'Sullivan y Reynolds (2004) mencionan que los lagos son características transitorias del paisaje, ya que nacen de varias catástrofes naturales como

movimientos tectónicos, erupciones volcánicas, derrumbes, entre otras, de la misma manera dichos ecosistemas se pueden llegar a perder por la presencia de estas catástrofes.

Casallas y Gunkel (2001) afirman que los lagos tropicales de montaña son aquellos que se encuentran en una altitud que van desde los 2.000 hasta los 4.000 m.s.n.m. Además, este tipo de ecosistemas son de importancia para conocer una característica particular que los define como la polimixis o las circulaciones frecuentes. En Ecuador la mayoría de los lagos poseen características únicas de lagos polimícticos y temperatura aproximada de 17 °C (Steinitz-Kannan, 1997).

2.1.2 Componentes bióticos

Para conocer los componentes bióticos como son macrófitas, zooplancton, fitoplancton y peces dentro de un sistema acuático, es necesario hacer una valuación de sus roles funcionales de manera general, desde el crecimiento, la reproducción, y en relación a los alimentos disponibles cadena trófica donde compiten, depredan una especie sobre otra, de manera individual hasta comunidades enteras (Wetzel, 2001).

2.1.2.1 Macrófitas

Las macrófitas son importantes en los humedales, al ser organismos fotosintéticos forman parte de los productores primarios, estas plantas se reproducen de manera sexual y asexual. Además cumplen funciones especiales como regular el crecimiento fitoplanctónico o proveer un refugio para el zooplancton y pequeños peces (Jeppesen, Lauridsen, Kairesalo y Perrow, 1998; Mazzeo et al., 2003; Durán, 2010). *Elodea densa* es una especie originaria de América del Sur, reconocida por ser comercializada para los acuarios, esta se desarrolla de mejor manera en ecosistemas eutrofizados y poco profundos (Negrisoli, Martins, Velini y Ferrera, 2003).

La productividad de un lago se ve reflejada en la vida vegetal que posee, donde los lagos poco profundos con grandes áreas llenas de vegetación macrófitas, en su mayoría tienen una buena productividad ecológica (Wetzel, 2005). Las macrófitas son productores primarios dominantes, que se encuentran en la mayoría de los lagos, donde la presencia de las macrófitas contribuye a que el cuerpo de agua sea transparente, consiguiendo una baja población de fitoplancton (Scheffer, 2007).

La especie *Elodea densa* remueve los nutrientes presentes en el sedimento como es el fósforo, en consecuencia, se produce la limitación del crecimiento de fitoplancton, ya que esta especie compite con el fitoplancton por los nutrientes que se encuentran en el mismo hábitat, el porcentaje de volumen infestado (PVI) de estas macrófitas sumergidas necesario para generar un cambio en la composición y abundancia de fitoplancton es del 45% (Mazzeo et al., 2003).

Algunas características de esta especie son las siguientes: sus hojas son de 1 a 4 centímetros de largo, los tallos pueden llegar a medir 2 metros (Figura 1), las flores son trímeras con 3 pétalos blancos, las cuales poseen un pedúnculo largo permitiendo que la flor salga a la superficie del agua, los frutos son bayas con semillas (Scheffer, 2007; Pabón, 2015).

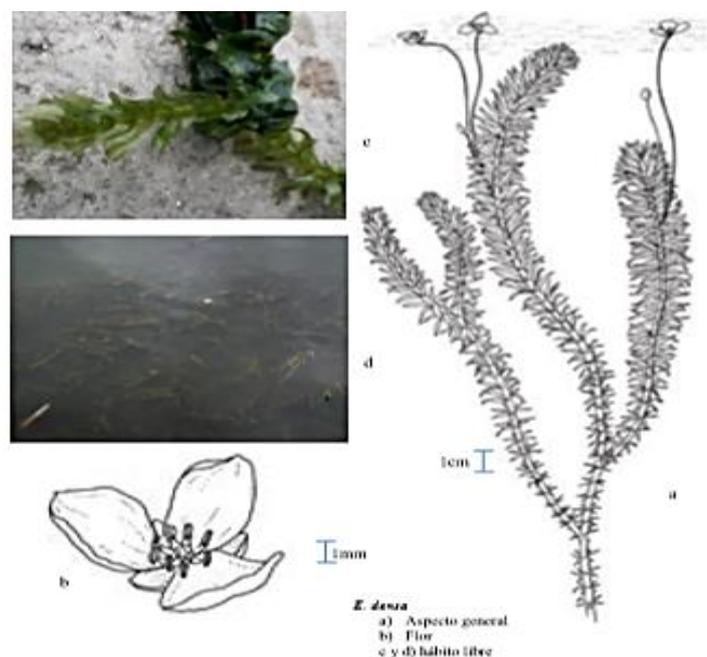


Figura 1. Especie *Elodea densa*
Fuente: (Pabón, 2015)

Esta especie puede desarrollarse bajo condiciones específicas, por ejemplo, aguas quietas con entrada de nutrientes, profundidad de 2 a 4 metros aproximadamente y la temperatura debe ser entre 15 a 22 °C. Esta especie puede llegar a ser invasora, también es considerada de alto riesgo por llegar a colonizar diferentes sistemas acuáticos y llegar a competir con otras especies nativa (Pabón, 2015).

2.1.2.2 Fitoplancton

El plancton es un grupo de organismos vivos que se caracterizan por permanecer en suspensión, pueden encontrarse en ecosistemas acuáticos, sin embargo, no se adaptan muy bien en aguas abiertas (Reynolds, 2006). No se conoce exactamente el número de especies fitoplanctónicas, estas varían en tamaño (<1 µm a >1 mm), forma, demanda de energía y nutrientes, entre otras, el crecimiento de estos organismos fotosintéticos depende principalmente de la cantidad de iones de nutrientes. En cuanto a la división taxonómica se encuentran las cianobacterias, anoxifotobacterias, clorófitos, diatomeas, dinoflagelados entre otras (O'Sullivan y Reynolds, 2004).

El grupo de las cianobacterias o también conocidas como algas verde azules por su pigmento como clorofila a, además de su adaptación a condiciones anóxicas y extremófilas, producen y liberan toxinas perjudiciales para la salud, por lo que al existir un exceso de estas toxinas en el ecosistema ocasiona alteraciones (Lampert y Sommer, 2007; Colen, et al., 2017).

Este grupo crece de manera excesiva siempre que estén bajo condiciones ambientales específicas, a este hecho se lo conoce como floraciones o *bloom*, lo cual es perceptible en el ecosistema acuático debido al color verde y por ello aumento de turbidez (UNESCO, 2009). Existen varios géneros de cianobacterias que son perjudiciales para la salud, tales son *Cylindrospermopsis*, *Microcystis* y *Oscillatoria* entre otros, el cual, para la identificación de estos géneros se debe conocer su morfología.

Microcystis se agrupan en colonias son esféricas, irregulares envueltos por un mucílago incoloro, las células de las que están conformados son esféricas (Figura 2), con la presencia de aerotopos es decir vesículas de gas que son características de las cyanobacterias las cuales ayudan a la flotabilidad en la columna de agua, además la fisión binaria es la manera de reproducirse (Reynolds, 2006; Ochoa, 2017).

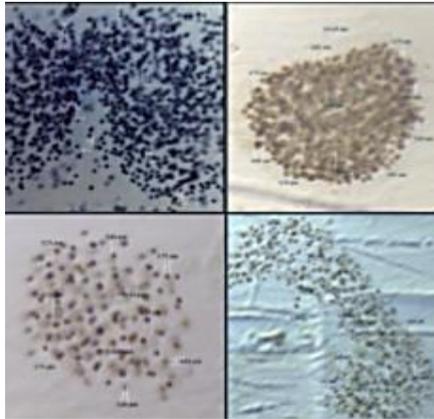


Figura 2. Género *Microcystis*
Fuente: (Ochoa, 2017)

El género *Cylindrospermopsis* son células filamentosas no poseen un mucílago, pero contiene tricomas, con presencia de heterocistos en forma de gota en algunos individuos y llegan a medir entre 1 mm a 0.03 mm (Figura 3), también posee algunos acinetos que son de forma elíptica o cilíndricos, su reproducción es por medio de fragmentación de los tricomas y otra forma es la germinación de dos acinetos (Wehr y Sheath, 2003).

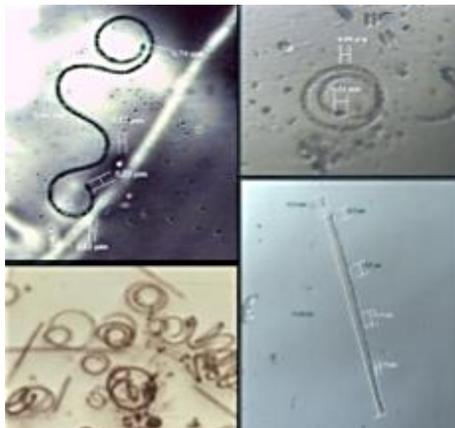


Figura 3. Género *Cylindrospermopsis*
Fuente: (Ochoa, 2017)

Oscillatoria este género se caracteriza por ser células filamentosas particularmente rectos, son amplias de una forma discoidal, también poseen tricomas los cuales pueden ser rectos y curvos, no poseen heterocistos (Figura 4), una característica de este género es el poseer una coloración verdosa, además la formación de hormonas móviles es el medio de reproducción de este género (Wehr y Sheath, 2003).

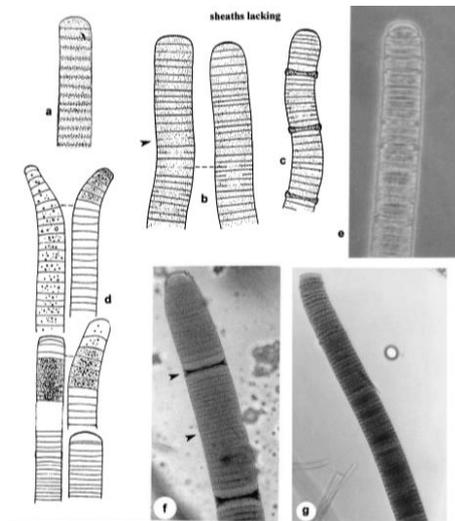


Figura 4. Género *Oscillatoria*
Fuente: (Wehr y Sheath, 2003)

2.1.2.3 Zooplancton

El zooplancton alberga a pequeños organismos que se encuentran en ecosistemas acuáticos ya sea en lagos o mares, donde su locomoción no es muy efectiva sino al contrario, son organismos llevados dependiendo de la fuerza del cuerpo de agua (Wetzel, 2001). Se clasifican en tres grandes grupos: rotíferos, cladóceros y copépodos, a estos se los puede ubicar en los sistemas acuáticos continentales, siendo parte del segundo nivel de la cadena trófica, ya que es el depredador natural del fitoplancton. Dado esto es importante conocer las interacciones intraespecíficas que existen entre cada uno de estos grupos con la influencia de los factores físicos y químicos (Conde-Porcuna, Ramos-Rodriguez y Morales-Baquero, 2004).

La migración de zooplancton comprende el término diurno-nocturnas, donde se toma como referencia la columna de agua del lago, en esta situación los organismos

ascienden en la noche, sin embargo en el día ellos descienden, esto se debe a que en el día buscan un refugio para esconderse de sus depredadores, en cambio en la noche no existe esa presión por lo que migran a otras partes (O'Sullivan y Reynolds, 2004; Reynolds, 2006).

El pastoreo del zooplancton es un término donde explica la interacción del depredador y la presa, donde el zooplancton es el depredador y las algas y bacterias son la presa. La fase de aguas claras se refiere a la poca densidad de fitoplancton, esto se produce en temporada de verano, donde el zooplancton se desarrolla de mejor manera. La mayoría de estos organismos son omnívoros, a pesar de que en la literatura antigua se detallan como herbívoros, el pastero es por una presión selectiva sobre el fitoplancton (Lampert y Sommer, 2007).

Mercado y Suárez (2011) describen al género *Nauplius* como el estado juvenil de los copépodos, los cuales deben atravesar por seis estadíos naupliares, seguido de seis estadíos metanaupliares, después siguen cinco estadíos de copepoditos y al final llega el copépodo al estado de madurez o adultez (Figura 5 y 6).



Figura 5. (A) Copépodo en estado adulto y (B) género *Nauplius* o copépodo en estado juvenil
Fuente: (Astudillo, 2018)

La especie *Daphnia sp.* se encuentra en el grupo de los cladóceros, sobretodo cumple la función del pastoreo es decir alimentarse del fitoplancton (Astudillo, 2018). Se puede reconocer a *Daphnia* por su caparazón bivalvo con exoesqueleto cefálico, con 5 o 6 pares de apéndices foliáceos y con solo un ojo fusionado (Figura 6), además de poseer antenas que funcionan como apéndices locomotores ya que ayudan a impulsarse donde se observa su característico movimiento parecido a un

salto, además, su patas primarias y secundarias ayudan en la filtración para su alimentación (Lopretto y Tell, 1995).



Figura 6. (A) Género *Daphnia* y (B) Género *Acanthocyclops*
Fuente: (Astudillo, 2018)

2.1.2.4 Peces

Los peces introducidos en un ecosistema causan alteración en la dinámica trófica siendo en su mayoría carnívoros y representando al tercer nivel de la cadena trófica, convirtiéndose en una amenaza para las especies nativas, puesto que compiten por alimento y vienen a ser depredadores de especies nativas, además de que pueden llegar a ser portadoras de agentes tóxicos, este problema de introducción de especies puede ser intencional o no (Huse et al., 2012). A los peces se responsabiliza por la bioturbación que ocasionan, debido a la mezcla en las capas de sedimentos, lo que afecta a las partículas suspendidas y al transporte de nutrientes (Brönmark y Hansson, 2005).

Poecilia reticulata se encuentra distribuida ampliamente en Sudamérica, es una especie que posee dimorfismo sexual muy perceptible a simple vista, en lo que respecta al macho puede llegar a medir 3 cm de longitud aproximadamente, el cuerpo es gris con varias manchas de colores como rojo, amarillo y azul (Figura 7). En cambio, las hembras pueden llegar a medir los 5 cm de longitud aproximadamente y el cuerpo es de color gris sin colores (Krinski y Camera, 2018).

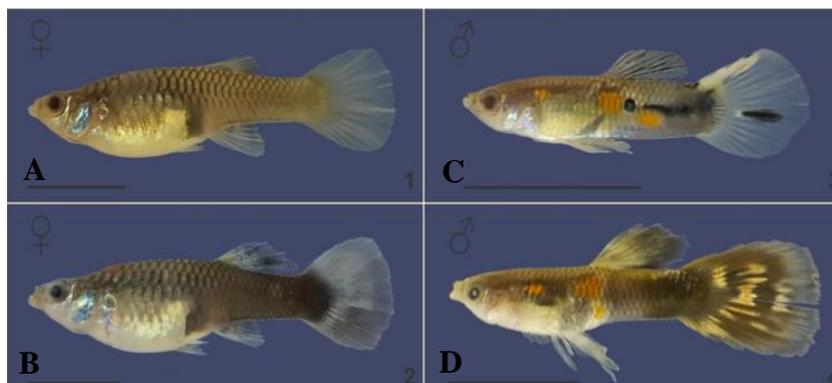


Figura 7. Especie *Poecilia reticulata*: (A y B) Hembras y (C y D) Machos
Fuente: (Krinski y Camera, 2018)

En condiciones naturales *Poecilia reticulata* es omnívora ya que se alimentan de zooplancton, insectos y bentos, también pueden habitar en sistemas acuáticos con temperaturas de 18 a 28 °C, adaptarse en canales, acequias o estanques que son poco profundos, en aguas tranquilas y con presencia de vegetación debido a que la usan para esconderse de sus depredadores, obteniendo un tiempo de vida de dos a tres años (Bobadilla, 2013).

El necton específicamente *Poecilia reticulata* llega a ser un problema en el ecosistema cuando existe una sobrepoblación, ya que los individuos que alcanzan la madurez compiten con otras especies por alimento, y en algunos casos llegan a alimentarse de alevines de la misma especie o de otras especies nativas (Murillo, Reta y Sánchez, 2004).

2.1.3 Cadena y cascada trófica en lagos tropicales andinos

Los estudios que se han realizado en las últimas décadas en el campo de la limnología y ecología proporcionan conceptos como son la cadena trófica y la cascada trófica (O'Sullivan y Reynolds, 2004). La cadena alimenticia es una representación dentro de las comunidades donde los organismos de un ecosistema cumplen un rol, pueden ser depredadores o alimento, sin embargo este concepto llega a ser simple al considerar un hábitat con una gran variedad de especies (Carpenter y Kitchell, 1993; Lampert y Sommer, 2007).

La cadena trófica está fuertemente relacionada con el flujo de energía y materia que se determinan en un ecosistema, esta es la interacción que se produce desde el menor nivel hasta el mayor, en cada nivel existen varias especies que los representan (Portilla, 2015). El primer nivel de la cadena trófica está representado por los organismos fotosintéticos siendo los productores primarios, estos organismos son el alimento de las poblaciones de herbívoros, los cuales se encuentran en el segundo nivel, y estos a su vez son consumidos por los carnívoros de los siguientes niveles, produciendo el intercambio de biomasa y energía en los distintos niveles (Wetzel, 2001; Sheath, Wehr y Thorp, 2003).

Se conoce como cascada trófica al cambio que se genera en uno de los niveles, en particular un cambio ejercido en la abundancia o biomasa, la principal alteración en el nivel base se debe a los aportes de nutrientes que llegan al lago (Carpenter et al., 2001). Como consecuencia se llega a definir dos conceptos ambiguos como son el *top-down* y el *bottom-up*. El término *top-down* explica la depredación que se ejerce por parte de un nivel superior como los peces hacia los niveles inferiores como el zooplancton, causando la alteración en la cadena alimenticia, en cambio el término *bottom-up* se refiere a la alteración desde el nivel basal como en la comunidad de fitoplancton al ser enriquecidos por nutrientes (Wetzel, 2001; Sheath et al., 2003; Lampert y Sommer, 2007).

Los nutrientes son elementos químicos que todos los seres vivos necesitan, estos son parte esencial para las células, en un sistema acuático como los lagos se puede establecer la cantidad de nutrientes, el cual se determina por el tipo de roca, la cubierta vegetal y las actividades antrópicas que están cerca del ecosistema, estos nutrientes son absorbidos por los productores primarios en este caso el fitoplancton (Brönmark y Hansson, 2005).

2.1.4 Estrategias de biomanipulación en lagos tropicales

Este término se refiere a la manipulación de la biota, con el fin de mejorar un ecosistema dependiendo de la percepción del ser humano. Como mejorar la calidad

de agua en un lago eutrófico al reducir la biomasa de microalgas, o la reducción de peces zooplanctívoros que se puede hacer de forma manual (Brönmark y Hansson, 2005). También es aceptada como una medida de mitigación, realizando un cambio significativo en la densidad o abundancia de las poblaciones de especies, estos cambios pueden ser el aumento o la disminución de cierta especie que está ocasionando una alteración del hábitat, con el fin de conseguir las condiciones deseadas en un ecosistema (UNESCO, 2009).

Según Lampert y Sommer (2007) pensar que el efecto de un pez puede usarse en un ecosistema a través del zooplancton y el fitoplancton, al poner en práctica este planteamiento, ya se está hablando sobre biomanipulación. Un ejemplo es reducir la población de peces, consiguiendo de esta manera que el zooplancton pueda crecer y aumentar su población de una manera adecuada, sin que existe una presión excesiva por parte de los peces, logrando un pastoreo sobre el fitoplancton que conlleva a una turbidez menor del ecosistema. Además, la manipulación en el aumento de peces carnívoros puede controlar la población de peces planctívoros, esto produce un aumento del zooplancton grande, capaz de ejercer su función de pastoreo con el fitoplancton, cambiando el estado ecológico del lago dentro de un lapso de tiempo.

La biomanipulación es la primera idea como una alternativa más económica para reducir la eutrofización de un lago, además la presencia del grupo de zooplancton que realizan el pastoreo puede reducir la biomasa de algas. También es necesario controlar la entrada de nutrientes, aunque las reservas de nutrientes solo se pueden desplazar, pero no eliminar completamente del ecosistema y la carga continua de nutrientes aumenta la productividad primaria (Wetzel, 2001).

2.2 Marco Legal

A continuación, se detalla el marco legal en el que se rige esta investigación, tomando como principal base la pirámide de Kelsen, donde establece el orden jerárquico de las leyes.

2.2.1 Constitución de la República del Ecuador (2008)

El presente estudio describe la legislación ecuatoriana en base a la pirámide de Kelsen y sustentada con la Constitución de la República del Ecuador del 2008 cumpliendo con el Art. 425, de respetar el orden jerárquico de las normas en donde se constituye la ley máxima a la Constitución del Ecuador, dentro del Título Derechos, Capítulo segundo; Derechos del buen vivir en el Art. 12, 14 y 15 mencionan la importancia del agua, el reconocimiento de vivir en un ambiente ecológicamente sano y la recuperación de ambientes naturales degradados, reduciendo el impacto de los contaminantes. El Título VII Régimen del Buen Vivir, Capítulo segundo; Biodiversidad Y Recursos Naturales en los cuales la sección 1 a la sección séptima se protege, conserva y maneja de manera sustentable a la naturaleza con la ayuda de la participación ciudadana (República del Ecuador, 2008).

2.2.2 Convenios Internacionales

Los tratados y convenios internacionales principales de los cuales Ecuador ha formado parte y son relevantes para esta investigación son los siguientes: el Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestre (CITES) firmada en 1975, el cual se encarga de proteger las especies animales y plantas silvestres. Además, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) siendo parte en 1992, el cual promueve a la conservación de sitios que contengan una alta biodiversidad, buscando la sostenibilidad de los recursos naturales.

2.2.3 Código Orgánico del Ambiente

Un instrumento legal importante es el Código Orgánico del Ambiente (COA), donde se encuentran artículos que protegen la conservación del medio ambiente asegurando el bienestar de las futuras generaciones, en Libro Segundo del Patrimonio Natural, Título I de la Conservación de la Biodiversidad, en el Art. 30 se encuentran los objetivos del Estado en base a la biodiversidad, como conservar

la biodiversidad estableciendo normas de bioseguridad y regulando el acceso a los recursos biológicos (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

2.2.4 Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021

El Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda Una Vida es fundamental para la investigación al ser parte del objetivo 3 por que procura garantizar los derechos de la naturaleza a través de la conservación y uso sostenible de los ecosistemas, además facilitará apertura a los investigadores para el aprovechamiento responsable de la biodiversidad y ofrecerá educación ambiental para la ciudadanía (República del Ecuador, 2008).

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

El lago Yahuarcocha pertenece al cantón Ibarra, provincia de Imbabura, ubicado en la zona 1 al Norte del País (Figura 8, Anexo 2.1). Se encuentra en las faldas del cerro el redondo, posee una longitud axial de 10.59 km² con una superficie de 25.70 km². Alrededor del lago se encuentran poblaciones como Priorato, El Olivo, San Francisco, San Miguel entre otras (Terneus, 2014).

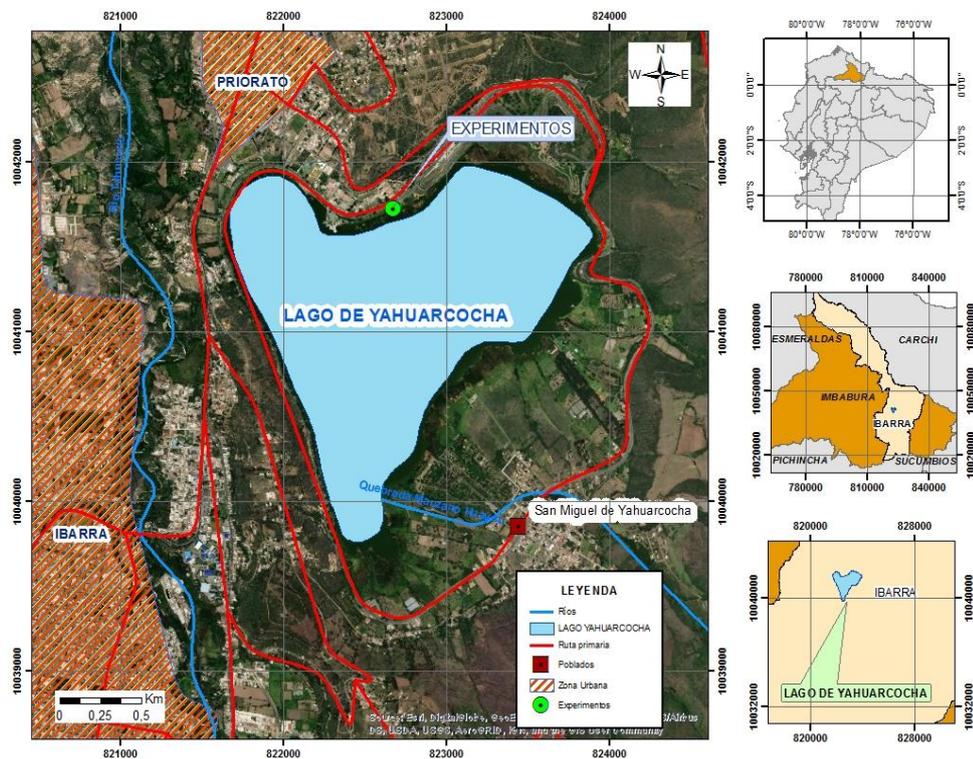


Figura 8. Ubicación del lago Yahuarcocha

Los mesocosmos fueron colocados cerca del lago Yahuarcocha, en la zona de los Bomberos con la autorización adecuada, por lo que se ha tomado el punto de ubicación con el GPS, consiguiendo las coordenadas en X longitud de 822678, en Y latitud de 10041724 y la altitud de 2 191 m.

Yahuarcocha es un lago altoandino que posee un clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo, el cual se distribuye en altitud de 1 800 a 2 200 msnm, la precipitación de varía de los 500 a los 1 250 mm, además de poseer una temperatura media de 16 °C y la velocidad del viento varía de los 4 a los 7 km/h, siendo una velocidad intensa media (Mandonx, 2014).

El medio físico del lugar está caracterizado por paisajes geomorfológicos, el tipo de suelo se ven determinados por el medio físico, casi la mitad del suelo de Yahuarcocha son del tipo inceptisol, seguido de los molisoles y con una menor área se encuentran los entisoles. Las condiciones climáticas, la Cordillera de los Andes han dado paso una variedad de diversidad única del sitio (Maridueña et al., 2003).

La fauna y flora de Yahuarcocha han llegado a ser especies llamativas para los turistas, por ejemplo, el lago alberga una diversidad de aves, siendo este un lugar momentáneo para aves migratorias. El lago alberga especies como *Poecilia reticulata*, tilapias, comunidades planctónicas entre otras. Por otra parte la flora más representativa se encuentran las familias Rosaceae, Piperaceae, Melastomataceae y Cyperaceae (Maridueña et al., 2003; Terneus, 2014).

3.2 Metodología

Los métodos se establecen en base a la recopilación de varias metodologías que ya fueron aplicadas en distintas investigaciones, a igual de libros, artículos, tesis entre otros documentos de información.

3.2.1 Caracterización de los componentes bióticos (zooplancton, fitoplancton, *Poecilia reticulata*)

Para la caracterización de los componentes bióticos se realizó una revisión bibliográfica de cada componente, también se detalla por trabajo de campo y de laboratorio donde en los componentes de zooplancton y fitoplancton durante el año 2018.

3.2.1.1 Recopilación de información

Para la presente investigación se realizó una revisión bibliográfica que se encuentra disponible en Universidades, Centros de Investigación, Instituciones Públicas o Privadas, etc. Esta revisión es primordial ya que se realizó en todo tiempo del estudio, siendo útil para la información base, la caracterización de los componentes bióticos, análisis de los resultados obtenidos y discusión.

El proyecto VLIR posee una base de datos que se ha desarrollado durante varios años por la realización de los monitoreos mensuales, donde se encuentran registrados datos de los parámetros físicos, químicos y biológicos de los lagos altoandinos de Ecuador siendo Yahuarcocha uno de ellos, esta información fue relevante para la caracterización de fitoplancton y zooplancton. Según Andramunio y Caraballo (2012) declaran que existen más de una manera de estructurar la cadena trófica de un ecosistema el cual puede ser a través de registros bibliográficos y otra muy particular que es la experiencia propia de los investigadores en el lugar del estudio.

3.2.1.2 Trabajo de campo

Antes de la salida de campo se realizó un listado con los equipos y materiales que se emplearon para la captura de los componentes bióticos, siendo el fitoplancton y zooplancton en el lago Yahuarcocha donde se tomaron las muestras de cada uno, seguido de la captura del pez *Poecilia reticulata* en las orillas del mismo lago.

Primero se realizó el desplazamiento por el lago, donde se procedió a la captura de fitoplancton utilizando la botella de Van Dorn de 2.2 litros sujeta con una cuerda de 20 metros de longitud, el cual fue ingresado al lago a una profundidad superficial de 0.40 metros, ya que según Caicedo (2016) se ha comprobado que no existe cambios en todo el lago al cumplir con la característica de ser polimíctico, por lo que se consiguió una muestra integrada de estos organismos. Después se colocaron en los frascos Falcon de 50 ml de volumen y guardadas en un *cooler* para mantener

la muestra sin alteraciones al transportarla al laboratorio de Investigaciones Ambientales LABINAM (Rice, Baird, Eaton y Clesceri, 2012).

Referente a la captura de zooplancton también se llegó al punto profundo del lago, donde se utilizó la caja Schindler Patalas de 30 litros sumergiéndola a una profundidad superficial de 0.40 metros que es el valor obtenido con el Disco secchi, la caja se sujetó a una cuerda de 40 metros de longitud. Esta caja posee dos aberturas grandes rectangulares, una abertura pequeña circular en donde se encuentra sujeta a una red de 64 μm y un copo al final de la red, donde el copo también posee una abertura con una malla que filtra el agua, una característica especial es que las dos aberturas grandes se cierran con un jalado capturando el agua de una profundidad específica (O'Sullivan y Reynolds, 2004).

La caja fue insertada en el lago capturando el zooplancton de la profundidad requerida, inmediatamente jalada hacia la superficie donde se deja que el agua salga por la abertura circular pasando por la red que evita la salida del zooplancton, llegando al copo donde se acumulan los organismos de los 30 litros conseguidos. En seguida se colocó la muestra en frascos Falcon de 50 ml de volumen, estas fueron guardadas hasta llegar al laboratorio LABINAM, para su respectivo análisis (Rice et al., 2012).

En las salidas de campo también se realizó la captura de *Poecilia reticulata*, para lo cual se hizo con anticipación una revisión bibliográfica para conocer los lugares donde habita esta especie, encontrándolos en orillas pocas profundas y con vegetación (Figura 9) siendo lugares estratégicos para muestrear (Bobadilla, 2013). Nugra (2014) menciona que para la captura de peces se puede realizar con redes triangulares manuales durante 3 horas, una vez capturados fueron colocados en baldes y llevados al laboratorio para el conteo de individuos por cada punto, identificación del sexo y tamaño.



Figura 9. Captura del pez *Poecilia reticulata*

3.2.1.3 Trabajo en laboratorio

Una vez colectada las muestras fueron transportadas al laboratorio de Investigaciones Ambientales LABINAM, donde se procedió a la conservación de las muestras, para ello se utilizó el formaldehído colocando el 4% en cada frasco Falcon que contuvo al fitoplancton y zooplancton, seguido del análisis de las mismas, en este aspecto se refiere al conteo e identificación en cuanto densidad y abundancia (Carpenter y Kitchell, 1993; Rice et al., 2012).

Primero se colocaron las muestras en la centrifugadora para concentrar en el fondo del frasco toda la cantidad de fitoplancton posible, luego se colocó la muestra en el microscopio para dar paso a la identificación. El conteo de fitoplancton se tomaron las muestras siguiendo los protocolos, primero la homogenización, luego se procedió a la destrucción de las vesículas de gas de estos organismos para evitar el sesgo en cuanto al número real de la abundancia de cyanobacterias. Después se usó la jeringa de 60 ml para la toma de la muestra, esta jeringa se colocó de forma vertical sobre un pedazo de papel secante, y se empezó con los golpeteos de 10 a 15 veces sobre la jeringa (Caicedo, 2016). Para finalizar la muestra fue colocada en un recipiente amplio que se pueda tomar de mejor manera la muestra, tomando con la micropipeta de 1000 µl de volumen, estos fueron colocados en la Cámara de

conteo Sedgewick-rafter y de esta manera empezó el conteo en el microscopio (Ochoa, 2017). Debido a la abundancia que se encuentran en la muestra se contó solo hasta 300 individuos siendo una muestra representativa (Overgård et al., 2009; Mandonx, 2014).

En cuanto al conteo de zooplancton se necesitaron las muestras de los frascos Falcon (45 ml), con una pipeta se tomó 1 ml, colocando en la cámara Sedgewick-rafter, con la ayuda del microscopio, se procedió a la identificación y conteo de individuos (Figura 10). Al igual que el fitoplancton se contabilizó solo hasta 300 individuos debido a que algunas muestras se encontraron sobresaturadas, en el caso de que no existan 300 individuos en 1 ml, se añadieron 1 ml hasta asegurar el número indicado de individuos, para finalizar los datos obtenidos fueron anotados en fichas de conteo (Astudillo, 2018).



Figura 10. Análisis de las muestras de fitoplancton y zooplancton

Para el análisis de los peces se trasladaron de los recipientes hacia las peceras, para visualizar de mejor manera la toma de datos como el tamaño de los peces y el sexo de cada individuo de una manera más eficaz. Se determinó la abundancia de (CPUE) cada especie de acuerdo a las capturas por unidad de esfuerzo (Miranda-Chumacero y Barrera, 2005).

Después de conseguir los datos de la identificación y la abundancia de los componentes bióticos ya mencionados se procedió a la realización de un esquema u organizador gráfico donde explique la estructura trófica actual del lago Yahuarcocha en relación a los organismos estudiados sobre la abundancia.

3.2.2 Determinación del crecimiento de fitoplancton y zooplancton en función a la macrófita sumergida *Elodea densa* y el pez *Poecilia reticulata*

En primer lugar, se separó los dos experimentos cada uno con su variable dependiente, el primero fue en función al crecimiento de fitoplancton donde se realizó a través del análisis de clorofila extraída al inicio y al final del experimento (Figura 11), se elaboraron 6 distintos tratamientos, consiguiendo 18 mesocosmos debido a que cada tratamiento poseía tres repeticiones, con estos datos se realizó el análisis de varianza aplicando el método ANOVA (*one way*).

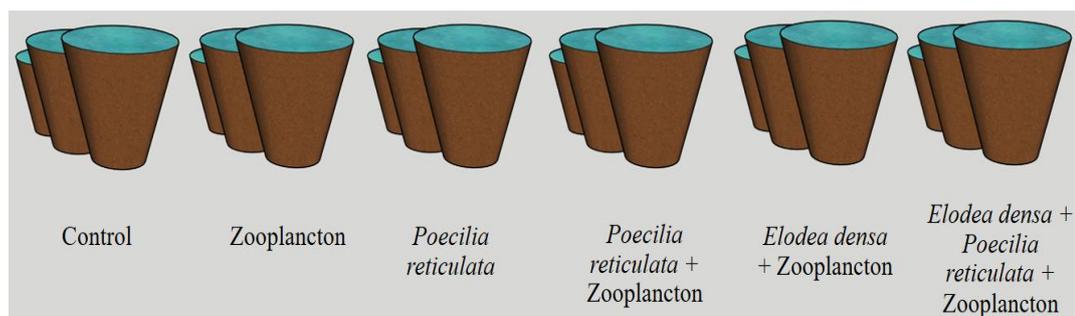


Figura 11. Clasificación de los mesocosmos en base al fitoplancton

El segundo experimento se enfocó en base al zooplancton que es la variable dependiente (Figura 12), donde se elaboraron 4 distintos tratamientos, consiguiendo 12 mesocosmos debido a que cada tratamiento poseía tres repeticiones. Para ello se necesitó una nueva captura de estos organismos, lo cuales fueron ubicados cada tanque, al finalizar los 14 días se consiguieron datos de cladóceros, ya que era necesario este grupo debido a su función de pastoreo, luego se realizó el análisis de varianza aplicando el método ANOVA (*one way*).

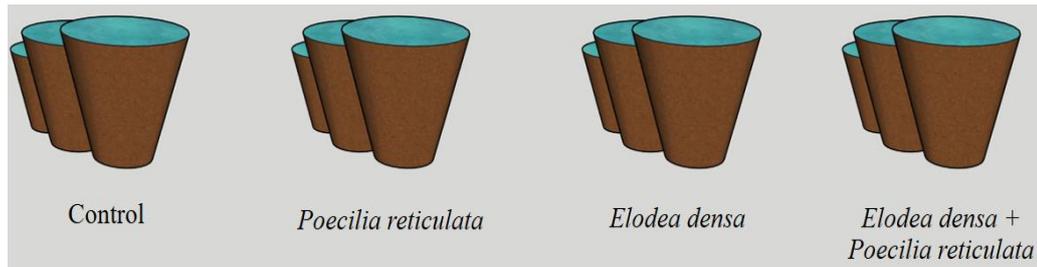


Figura 12. Clasificación de los mesocosmos en base al zooplancton

3.2.2.1 Trabajo de campo

En el trabajo de campo se realizó algunos cambios, en comparación con el trabajo de campo anterior en cuanto a la captura de los componentes bióticos. Para fitoplancton se tomó el agua directamente del lago, donde ya está incluido los organismos fotosintéticos responsables de la eutrofización, estos son colocados en los respectivos mesocosmos (Caicedo, 2016; Ochoa, 2017). Las muestras de zooplancton fueron obtenidas en dos lagos, el primero será en San Pablo y el segundo será en Yahuarcocha, estas muestras se consiguieron tomando en cuenta la profundidad marcada por el disco Secchi (Figura 13). Con la ayuda de la caja Schindler Patalas se tomó el inoculum (muestra representativa) de 90 litros, las cuales fueron llevadas al laboratorio (Carpenter y Kitchell, 1993). La toma de estos dos lagos es para conocer si la diferencia de tamaño del zooplancton puede ser una de las razones del problema es la cascada trófica (O'Sullivan y Reynolds, 2004).



Figura 13. Toma de muestras de zooplancton

Para la captura de peces se realizó con las redes cuadradas manuales en puntos estratégicos que fueron realizados en base a la ecología del pez, después fueron colocados en baldes, seguido del traslado cuidadoso hacia el laboratorio para el conteo de individuos, medida de tamaño y la identificación del sexo. Para la obtención de la macrófita *Elodea densa*, se extrajo del lago San Pablo ya que ahí se ha observado la existencia de esta especie, la extracción se realizó en la orilla del lago, sacándolas cuidadosamente para evitar que estas se rompan o dañen en el traslado. Las macrófitas se colocaron en recipientes con agua, fueron lavadas, desinfectadas con 15 cc de vinagre cada cinco litros de agua, sumergiendo las macrófitas durante 15 minutos, luego volvió a lavarlas muy cuidadosamente (Figura 14). Con anterioridad se usó el índice de planta de volumen infestado (PIV), para conocer qué cantidad de peso húmedo de *Elodea densa* es la adecuada para poner en cada mesocosmo cubriendo el 45% del mesocosmo (Jeppesen et al., 2012).

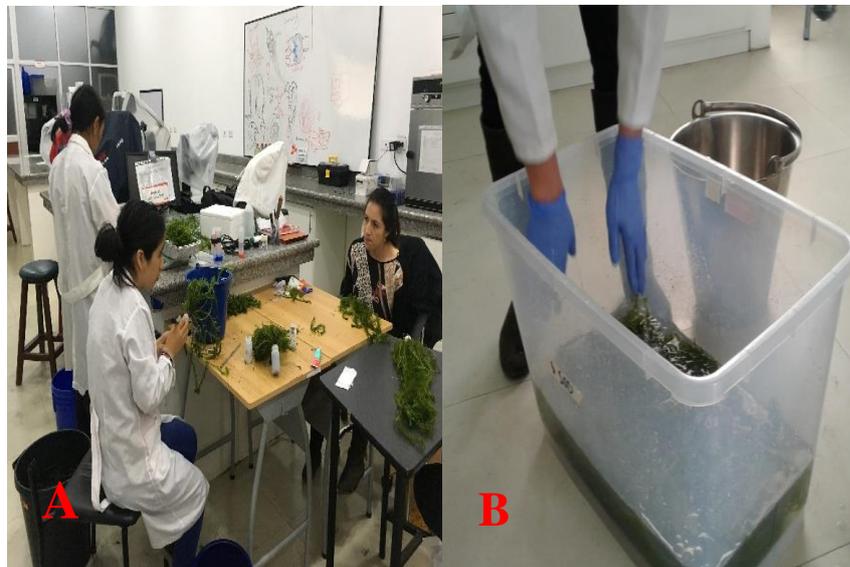


Figura 14. (A) Clasificación y (B) desinfección de las macrófitas

Se colocaron tanques cerca del lago para que las condiciones sean similares, donde se elaboraron distintos mesocosmos en cada tanque, tomando en cuenta las dimensiones de los tanques que son 62 cm de alto, 43 cm de diámetro base, 60 cm de diámetro en parte superior. Cada tratamiento tuvo repeticiones de manera impar, donde primero se llenaron los tanques con 100 litros de agua del lago de Yahuarcocha, esta se filtró con la red de zooplancton de 64 μ para evitar el

zooplancton extra, luego se colocó los componentes bióticos necesarios (Figura 15). Los mesocosmos permanecieron por 14 días debido a que si dejamos pasar más tiempo, el fitoplancton llegar a morir por lo que no servirían esos datos (UNESCO, 2009).



Figura 15. Mesocosmos colocados cerca al lago Yahuarcocha

3.2.2.2 Trabajo de laboratorio

Se tomaron los datos de clorofila extraída inicial y final del experimento, con la pipeta se toma 45 ml de agua de los mesocosmos. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio para filtrar la clorofila añadiendo el papel filtro, se procede a secar al papel a través de la presión de aire de la pipeta, consiguiendo la clorofila en el papel filtro (Figura 16), después se recorta este papel filtro para ser colocados en los tubos de ensayo donde se añadió 10 ml de metanol, el cual se guardó en el refrigerador por 24 horas, al día siguiente se colocaron las muestras en frascos de 5 ml para ingresarlas al centrifugador donde se dejó 20 minutos a 3000 revoluciones, después de los 20 minutos se tomó cada una de las muestras para las mediciones con el fluorímetro (Rice et al., 2012; Portilla, 2015).



Figura 16. Extracción de clorofila con papel filtro

Seguido se elaboró gráficos a partir de los datos de concentración de clorofila a extraída ($\mu\text{g/l}$) que se obtuvieron a partir de la siguiente ecuación (1):

$$\text{Ecuación 1: } Chl a (\mu\text{g/l}) = \frac{1.1526 * (\text{valor fluorimétrico}) * \left(\frac{\text{Vol metanol}}{\text{Vol filtrado}}\right)}{2.45}$$

Con los datos de clorofila se procedió a realizar de un análisis de la tasa de crecimiento para conocer cómo ha cambiado la clorofila, si esta ha aumentado o ha disminuido dependiendo del tratamiento que se realizó, donde se aplicó la siguiente ecuación (2):

$$\text{Ecuación 2: } \mu = \ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) * 1/t$$

μ = tasa de crecimiento

\ln = logaritmo natural

C_t = Clorofila final

C_0 = Clorofila inicial

t = días de duración del experimento

El análisis o conteo de zooplancton y fitoplancton respectivamente se realizó en el laboratorio con las muestras que se tomaron de los mesocosmos después de los 14 días para la obtener la densidad, donde primero se formolizó al 4%. Para fitoplancton y zooplancton se usó la misma metodología de conteo de 300 individuos (O’Sullivan y Reynolds, 2004; Colen, et al., 2017). Para el análisis de datos se usó una plantilla de excell para calcular la densidad a través tomando en cuenta el área contabilizada (mm) y el objetivo del microscopio, en zooplancton se usó el objetivo de 10X, mientras que en fitoplancton se usó el objetivo de 40X, de esta manera se obtiene un dato más preciso para obtención de la densidad (Caicedo, 2019).

3.2.2.3 Diseño experimental

Se realizaron gráficas en el software Sigma Plot 11.0 con la aplicación de las denominadas “cajas”, que son relacionadas con la estadística descriptiva. Además de un diseño irrestricto al azar en bloques, para los mesocosmos, con los datos obtenidos se realizó las pruebas de normalidad con el *test* de Shapiro y de homocedasticidad con el *test* de Levene para conocer si existía datos paramétricos o no paramétricos, con estos resultados se realizó un análisis de datos paramétricos aplicando el método de ANOVA (*one way*) para el análisis de clorofila y cladóceros. Para conocer la variación entre los tratamientos se usó el test de Tukey, estas pruebas estadísticas se realizaron en el software R 3.5.1 por el efectivo y riguroso análisis que se consigue (Condo y Pazmiño, 2015).

3.2.3 Propuesta de Biomanipulación

En esta fase se implementó una propuesta de biomanipulación en base a los resultados obtenidos en la experimentación con los distintos mesocosmos, siguiendo los parámetros más relevantes para el diseño. La propuesta contiene un objetivo general y tres específicos, un mapa de ubicación de los mesocosmos, la metodología apropiada donde consta con el diseño, la implementación donde se indica los pasos que se debe seguir, presupuesto de la implementación y

mantenimiento y además ofrece una breve explicación de una propuesta de investigación (Palma, 2005).

3.2.3.1 Método FODA

Con este método se formó la planificación de la propuesta analizando las situaciones estratégicas complejas, con el fin de mejorar. Este se realizó a través de una matriz donde se identifican las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas, ayudando a potenciar e identificar los factores internos y externos. Estas actividades que se plantean deben implementarse desde el inicio de la propuesta, además reconocer que la propuesta debe establecerse como un proceso dinámico (Amend et al., 2002).

3.3 Materiales y equipos

En esta investigación se realizó una lista detallada los materiales, equipos, reactivos y software que fueron necesarios para cumplir con las actividades de los objetivos planteados (Tabla 1).

Tabla 1. Materiales, equipos, reactivos y software

Materiales	Equipos	Reactivos	Software
Peceras	Cámara fotográfica	Vinagre	Sigma Plot 11.0
Tanques de 100 litros	Sony	Agua destilada	ArcGIS 10.4
Redes de pesca de mano	GPS Extrex 30	al 37%	R 3.5.1
Red de zooplancton de 64 µm	Estereoscopio LEICA Microscopio LEICA	Formaldehído al 37%	
Filtros Whatman GF/F D de 25 mm	Fluorímetro Aquafluor Computadora laptop	Metanol 99%	
Cámara de conteo Sedgewick-rafter	Toshiba Refrigeradora		
Caja Schindler Patalas	Centrifugadora de		
Botella de Van Dorn	tubos Falcon de 15 ml		
Disco secchi			

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de fitoplancton, zooplancton y necton (*Poecilia reticulata*) que existe en el lago Yahuarcocha

Para la caracterización de los componentes bióticos se realiza de manera cualitativa determinando características de los géneros representativos y cuantitativa con la abundancia en porcentaje además de la densidad.

4.1.1 Fitoplancton

Se registraron ocho géneros en los conteos de las muestras tomadas del lago Yahuarcocha en el año 2018, cuatro pertenecen al filo cyanobacteria, dos pertenecen a chlorophyta, uno euglenoida y uno bacillariophyta (Tabla 2).

Tabla 2. Taxonomía de los géneros de fitoplancton del lago Yahuarcocha

Filo	Clase	Orden	Familia	Género
Chlorophyta	Chlorophyceae	Chlamydomonadales	Chlamydomonadaceae	<i>Chlamydomonas</i>
	Trebouxiophyceae	Chlorellales	Chlorellaceae	<i>Chlorella</i>
Bacillariophyta	Mediophyceae	Stephanodiscales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i>
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Nostocales	Aphanizomenonaceae	<i>Cylindrospermopsis</i>
		Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Merismopedia</i>
		Chroococcales	Microcystaceae	<i>Microcystis</i>
		Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>
Euglenoida	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Trachelomonas</i>

En la composición de fitoplancton del lago Yahuarcocha del año 2018, se observa que existe un crecimiento de fitoplancton en los meses de enero, febrero, mayo y diciembre, mientras que en los meses julio, agosto y septiembre existe una disminución del crecimiento, también se constata la variación de la abundancia en relación a cada mes (Figura 17).

Este aumento de fitoplancton en los respectivos meses se debe a la época lluviosa, el cual con el arrastre de materia orgánica e inorgánica que permiten el aumento de nutrientes como fósforo y nitrógeno en el lago provocando la proliferación de fitoplancton, en cambio en la época seca se produce un descenso de fitoplancton debido a que el zooplancton se desarrolla mejor en esta época y puede consumir el fitoplancton (O'Sullivan y Reynolds 2004; Sosa, Gaxiola, Olivos y Silva, 2013;).

El género *Cylindrospermopsis* posee la mayor densidad de 1 571 497.40 ind/ml al año, seguido del género *Microcystis* con 24 354.49 ind/ml al año, por el contrario, los géneros con menos densidad son *Merismopedia* con 1 243.38 ind/ml al año y *Cyclotella* con 3 502.64 ind/ml al año (Figura 17).

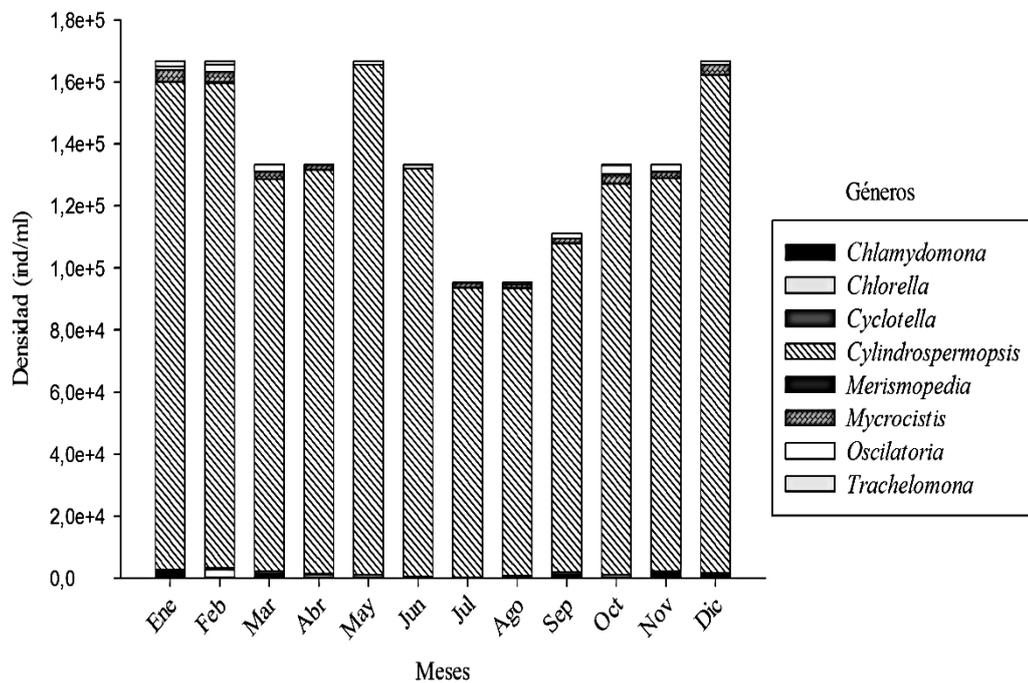


Figura 17. Composición de fitoplancton en el año 2018 del lago Yahuarcocha

Los géneros *Cylindrospermopsis*, *Merismopedia*, *Microcystis* y *Oscillatoria* que pertenecen al filo cyanobacteria, según los datos obtenidos en la tabla de taxonomía de fitoplancton del año 2018, se han convertido en los géneros dominantes. En el análisis cronológico Maridueña et al. (2003) registra seis géneros de cyanobacterias en el lago Yahuarcocha en el mes de marzo del 2003 como *Microcystis*,

Oscillatoria, *Anabaenopsis* entre otras. Caicedo (2016), presenta seis géneros en su mayoría *Cylindrospermopsis* del filo cyanobacterias, ocupando el segundo lugar en cuanto a diversidad, mientras que el primer lugar en diversidad es del filo de chlorophytas. Ochoa (2017) manifiesta que en el periodo febrero 2015 – febrero 2016 se encontraron diez géneros pertenecientes al filo cyanobacteria, esto se debe a la metodología contada en las muestras, para esta investigación se utilizó el volumen de 40 μ l en donde se realizó el conteo de todos los individuos, mientras que la metodología aplicada en la esta investigación llega al conteo de 300 individuos dentro del volumen de 1000 μ l por cada muestra, por lo cual la diversidad obtenida no es mayor que los años anteriores. El crecimiento del grupo cyanobacteria ha ido aumentando a través de los años, con los reportes del 2003 al 2018, debido a que el aporte de nutrientes en el lago es cada vez mayor, por la contaminación que tiene el lago Yahuarcocha (Pabón, 2015).

Se identificaron los diferentes filos en la taxonomía del fitoplancton, donde el grupo cyanobacterias es el más abundante en todo el año con el 96,04%, seguido del grupo de chlorophyta, euglenoida y bacillariophyta, con el 1,67%, 1,40% y 0,86% respectivamente (Figura 18).

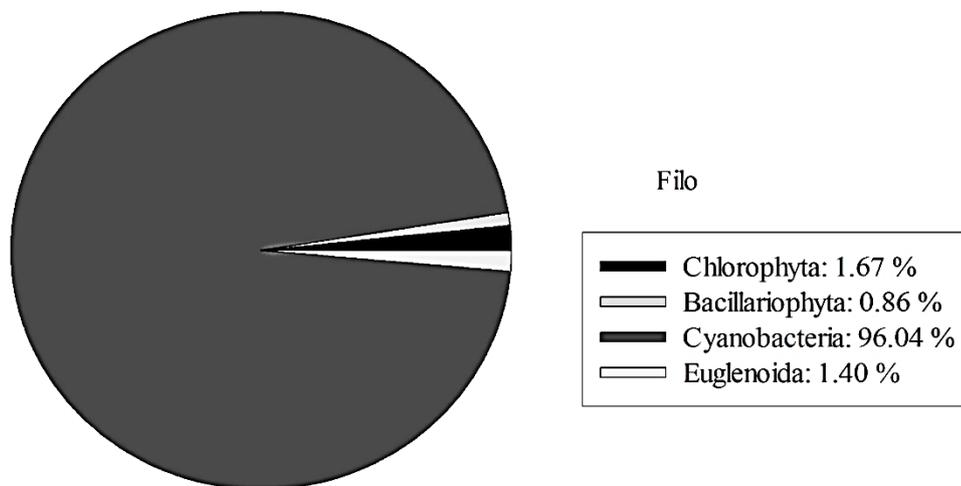


Figura 18. Abundancia relativa (%) del filo de fitoplancton en el lago Yahuarcocha para el año 2018

Madox (2014) registra en el lago Yahuarcocha los siguientes grupos: chlorophyta, cyanobacteria, dinophyta, euglenoida y heterokontophyta, siendo el más abundante el filo chlorophyta con el 86% y en menor abundancia el filo cyanobacteria con menos del 1%. Sin embargo, en el presente estudio se encuentra al grupo cyanobacterias con mayor abundancia (96%), seguido del grupo de las chlorophytas (1,67%). El cambio en la composición del fitoplancton en el lago se debe a la eutrofización por parte de las cyanobacterias que han aumentado, ya que el lago recibe aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento (Pabón, 2015; Oquendo, 2016; Ochoa, 2017).

En el cálculo de la abundancia de fitoplancton del año 2018 se obtuvo como resultado que el género *Cylindrospermopsis* es el más abundante con aproximadamente el 90% en cada mes, seguido de los géneros representativos como *Microcystis*, *Oscillatoria* y *Chlorella* que no superan el 5% de abundancia por mes, mientras que las demás especies tienen un porcentaje mensual por género mínimo de abundancia (Figura 19).

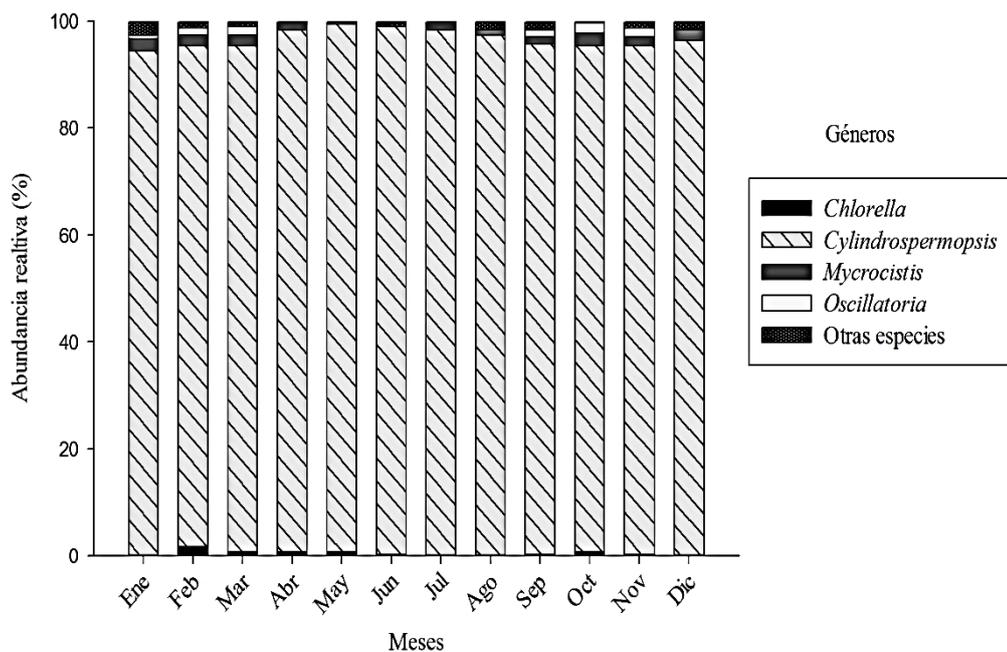


Figura 19. Abundancia relativa (%) de fitoplancton en el lago Yahuarcocha para el año 2018

Steinitz-Kannan, Colinvaux, y Kannan (1983) mencionan que el lago Yahuarcocha posee 84 especies siendo este el lago con mayor número de especies en Ecuador, mientras los géneros *Euglena* y *Scenedesmus* son los más comunes. Maridueña et al. (2003) manifiesta que los géneros *Synedra* y *Anabaenopsis* son los más abundantes, seguido de *Desmidium*, *Merismopedia* y *Cryptomonas* que también son representativos en el estudio, esto se debe a la disponibilidad de los nutrientes como son el fósforo y nitrógeno que representan los nutrientes limitantes. Caicedo (2016) menciona que los géneros con mayor abundancia son *Microcystis*, *Cylindrospermopsis*, *Pseudonabaena*, *Monoraphidium* y *Fragilaria*, recalcando que el volumen tomado fue de 40 µl mensuales. El lago Yahuarcocha ha sufrido cambios donde la eutrofización ha sido cada vez mayor, la abundancia de los géneros ha variado a través de los años, sin embargo, en los últimos años se identifica el crecimiento de los géneros *Cylindrospermopsis* y *Microcystis* convirtiéndose en afloramientos (*bloom*) que causan problemas ambientales.

Cylindrospermopsis es el género más abundante en el lago Yahuarcocha, también se puede registrarlo con el género *Raphidiopsis* ya que ambos comparten un porcentaje de similitud mayor al 97% por lo que se registran como un solo género denominado *Cylindrospermopsis*. El incremento o floraciones de este género, demuestra que un lago es intervenido, ya que la presencia excesiva no es característico de un lago natural (Bicudo y Meneses, 2006; Stucken et al., 2008; Abreu et al., 2018).

4.1.1.1 Descripción cualitativa según su morfología

Los distintos géneros de fitoplancton se pueden representar de forma geométrica, por ejemplo, *Cylindrospermopsis* seguido de *Oscillatoria* son células filamentosas alargadas que llegan a ser los más abundantes en el lago, *Merismopedia* y *Microcystis* son células redondeadas que se agrupan llegando a formar colonias. *Cyclotella*, *Chlorella*, *Chlamydomonas* y *Trachelomona* poseen una forma ovaladas conservando su pigmento verde. A continuación, se presentan los ocho géneros que fueron encontrados en el lago Yahuarcocha (Figura 20).

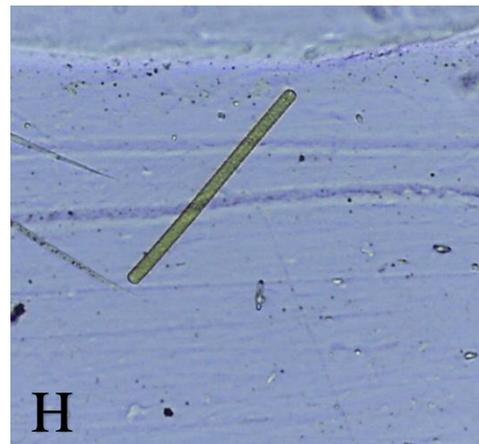
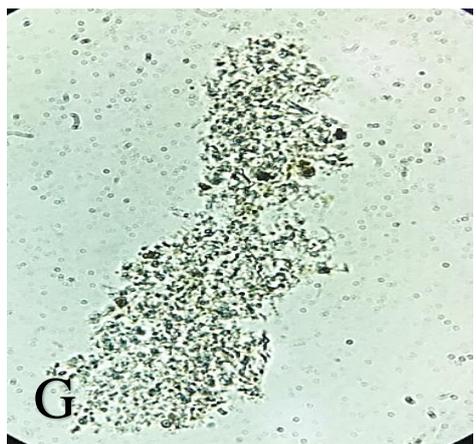
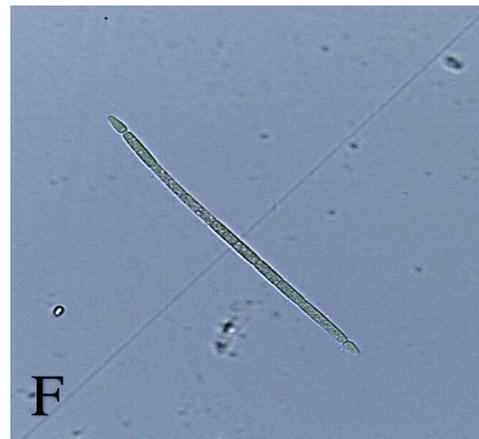
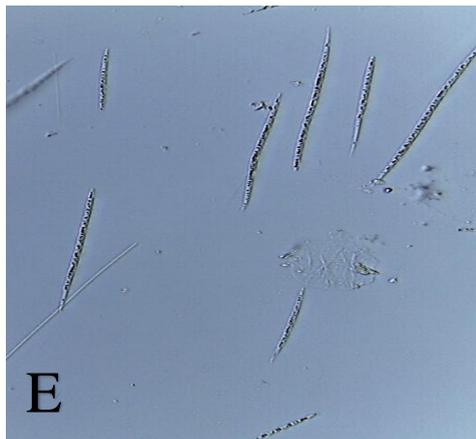
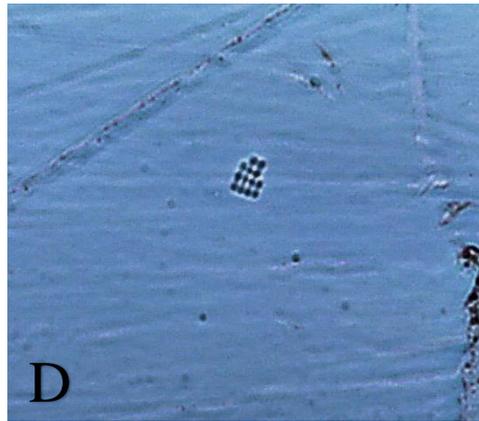
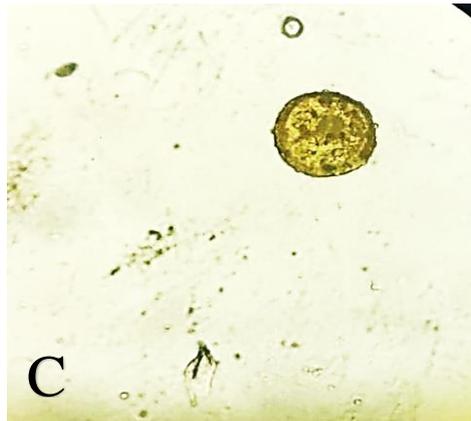
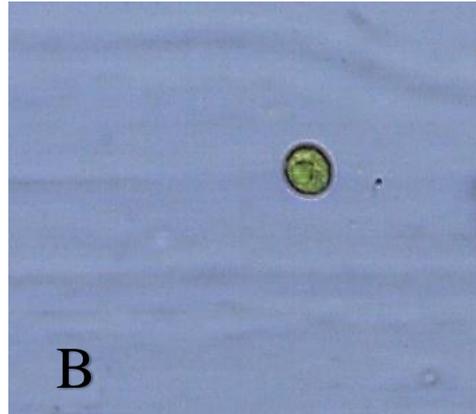
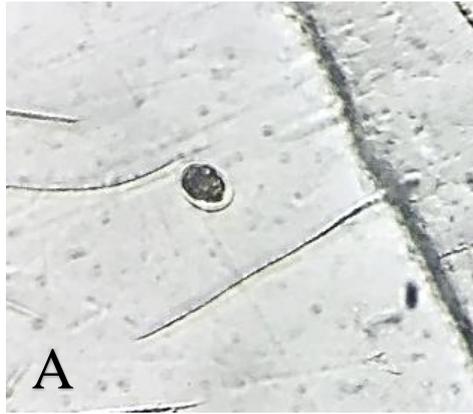




Figura 20. Los géneros de fitoplancton identificados en el lago Yahuarcocha del año 2018 son: **A** *Chlamydomonas* (40X), **B** *Chlorella* (40X), **C** *Cyclotella* (40X), **D** *Merismopedia* (40X), **E** *Raphidiopsis* (40X), **F** *Cylindrospermopsis* (40X), **G** *Microcystis* (40X), **H** *Oscillatoria* (40X) y **I** *Trachelomonas* (40X)

Maridueña et al. (2003) analiza el conteo realizado de la muestra de fitoplancton identificando el género *Merismopedia* como uno de los más comunes, con la especie *Merismopedia glaunica*, consiguiendo un gran número de individuos de este género. Sin embargo, Ochoa (2017) presenta las características de las especies encontradas, además de mencionar que el género *Microcystis* son los más abundantes en sus conteos y se caracterizan por formar colonias y al género *Oscillatoria* con menor abundancia, encontrándola en pequeños grupos, pero con su característico color verde. Por lo contrario, en los datos analizados en esta investigación se registró al género *Merismopedia* con una abundancia menor con la formación de colonias, lo cual difiere con lo descrito por Maridueña, en cambio el género *Microcystis* en esta investigación se presenta con abundancia que el género *Cylindrospermopsis* y *Oscillatoria*, siendo diferente en relación a la abundancia registrada por Ochoa. Se identifica que en la actualidad el lago posee mayor abundancia de células filamentosas, debido a la resistencia que estas poseen para desarrollarse en sistemas acuáticos contaminados o eutróficos, además son considerados como géneros invasores donde el tamaño y su densidad están en aumento. Estos géneros son los responsables de floraciones presentadas en el lago, las cuales necesitan desarrollarse bajo condiciones adecuadas como el abastecimiento de los nutrientes (Sosa et al., 2013; Oquendo, 2016; Ochoa, 2017).

4.1.2 Zooplancton

Las especies encontradas en el lago Yahuarcocha en todos los meses del año 2018 se registran en diez taxones, de los cuales están incluidos en dos filos que son arthropoda y rotífera, estos pertenecientes a tres clases como son: copépoda, eurotatoria y branchiopoda, además albergan a nueve familias y ocho géneros. De estos datos se analizaron que tres especies pertenecen a la clase copépoda, seis especies pertenecientes a eurotatoria y solo una especie a la clase branchiopoda (Tabla 3).

Tabla 3. Taxonomía de especies de Zooplancton del lago Yahuarcocha

Filo	Clase	Orden	Familia	Género	Especie
Arthropoda	Copépoda	Cyclopoida	Cyclopoidae	<i>Acanthocyclops</i>	<i>Acanthocyclops sp.</i>
				<i>Nauplius</i>	<i>Nauplius cyclopoida</i>
		Calanoida	Calanoida	<i>Nauplius</i>	<i>Nauplius calanoida</i>
	Branchiopoda	Cladóceras	Daphniidae	<i>Daphnia</i>	<i>Daphnia sp.</i>
Rotífera	Eurotatoria	Ploimida	Gastropodidae	<i>Ascomorpha</i>	<i>Ascomorpha sp.</i>
			Asplanchnidae	<i>Asplanchna</i>	<i>Asplanchna sp.</i>
			Brachionidae	<i>Brachionus</i>	<i>Brachionus angularis</i>
				<i>Keratella</i>	<i>Keratella cochlearis</i>
					<i>Keratella trópica</i>
Synchaetidae	<i>Polyarthra</i>	<i>Polyarthra vulgaris</i>			

El análisis de zooplancton en el lago Yahuarcocha del año 2018 se reconocieron ocho géneros: *Acanthocyclops*, *Ascomorpha*, *Asplanchna*, *Brachionus*, *Daphnia*, *Keratella*, *Nauplius*, *Polyarthra* (Figura 21), de los cuales se observa que los géneros con predominancia dentro de los meses de enero a julio y de octubre a diciembre son *Acanthocyclops* seguido del género *Daphnia*, pero en los meses de agosto y septiembre se intercambia la dominancia siendo primero el género *Daphnia*. El género con mayor densidad fue *Acanthocyclops* con 1 952.27 ind/ml al año, mientras que la densidad del género *Daphnia* fue de 809.67 ind/ml al año, a pesar de que *Daphnia* fue el más abundante dos meses, la densidad no llega a ser mayor que *Acanthocyclops*. El aumento en la densidad del género *Daphnia* se debe a las condiciones de desarrollo ambientales de los cladóceros siendo mejor manera

en la época seca con temperatura de 18 a 25 °C (Abrantes, Antunes, Pereira y Goncalves, 2006; Astudillo, 2018).

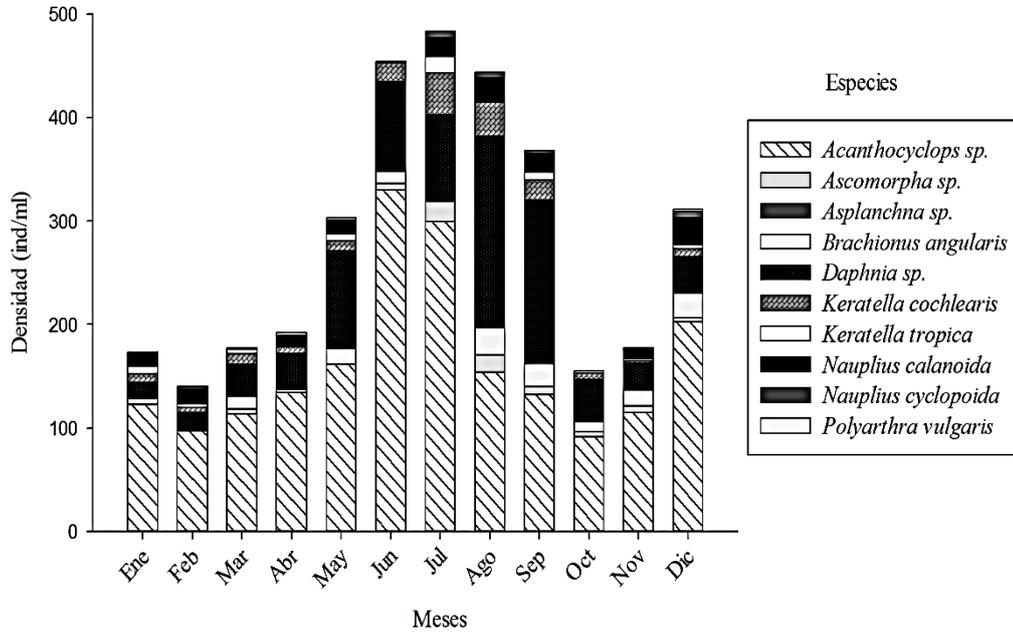


Figura 21. Composición del zooplancton en el año 2018

Steinitz-Kannan (1983) menciona que los géneros más comunes son los *Metacyclops* y *Daphnia* con las especies *Metacyclops mendocinus* y *Daphnia pulex*, estos datos concuerdan con lo propuesto por Casallas y Gunkel (2001) donde reportan a estos dos géneros con las mismas especies, pero esta investigación se realizó en el lago altoandino San Pablo. En esta investigación el análisis de zooplancton, se divide en tres clases como son eurotatoria, copépoda y branchiopoda, donde la clase copépoda consiguió mayor dominancia con el género *Acanthocyclops* y en los meses de agosto y septiembre el género dominante fue *Daphnia*. Estos datos concuerdan con los estudios ya mencionados, siendo *Metacyclops* y *Acanthocyclops* pertenecientes a la clase copépoda. En el lago San Pablo y Yahuarcocha son lagos andinos, pertenecientes a la misma provincia, compartiendo geomorfología y climatología parecidas, donde la dominancia de géneros de zooplancton es la igual en los dos lagos (Miño y Rodríguez, 2018).

En la abundancia de cada clase de zooplancton en el año 2018, se identifica la clase copépoda como el más abundante con el 65,30%, seguido de la clase branchiopoda con el 21,86% y la clase eurotatoria con el 12,83% (Figura 22).

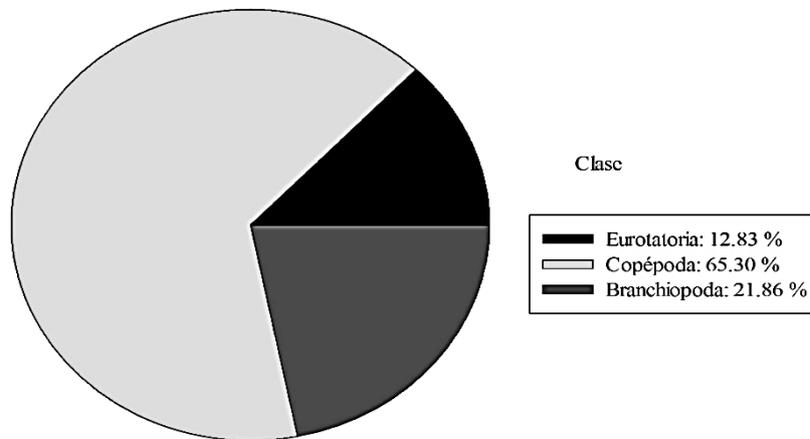


Figura 22. Abundancia relativa (%) de las clases de zooplancton en el año 2018

Astudillo (2018), identifica a la clase copépoda con el 57% como la más abundante en el lago Yahuarcocha, seguido de la clase eurotatoria y branchiopoda respectivamente. En este estudio se conoce que la clase con mayor porcentaje es copépoda con el 65% para el año 2018, lo cual coincide con el estudio ya mencionado, esto se debe a los diferentes factores de alimentación del zooplancton, donde los copépodos no escogen el alimento, sino que se alimentan del fitoplancton más grande posible, debido a que es más fácil al momento de capturarlo y manipularlo.

La abundancia en porcentaje de zooplancton muestra aproximadamente el 70% está constituido por el género *Acanthocyclops*, seguido del género *Daphnia* en todos los meses excepto en los meses de agosto y septiembre donde el 40% aproximado es del género *Daphnia* siendo el más abundante en estos meses, seguido del género *Acanthocyclops*, mientras que los demás géneros ocupan el 20% aproximado entre todas (Figura 23).

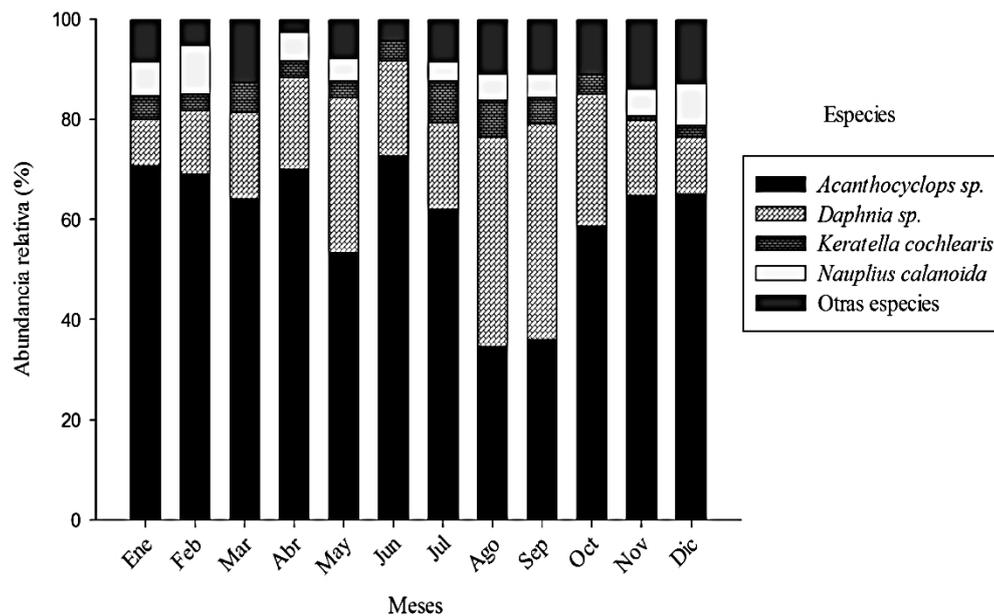
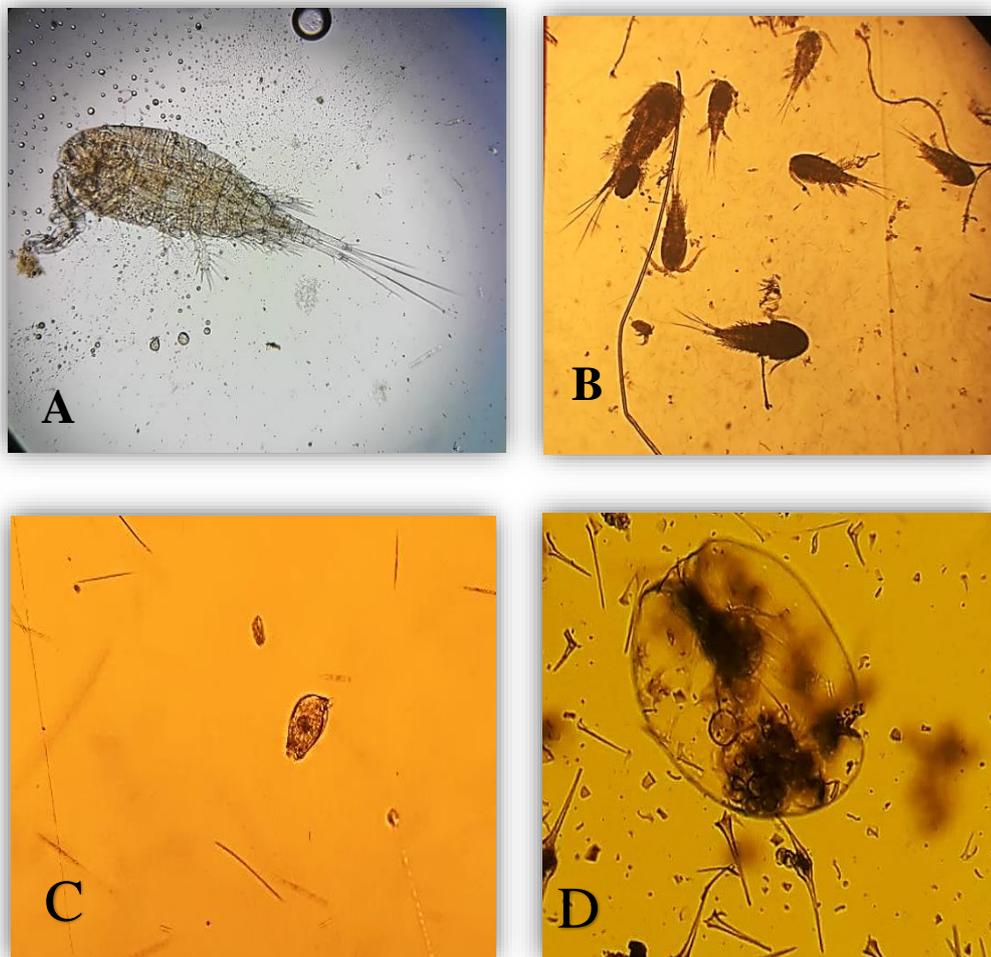


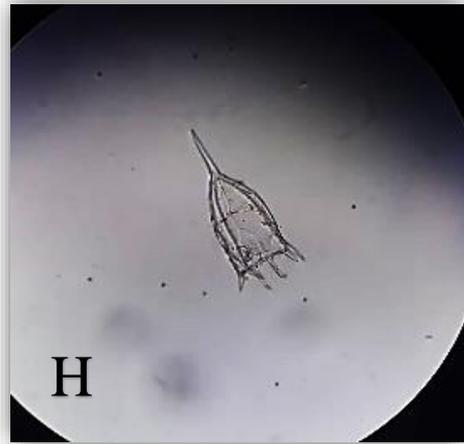
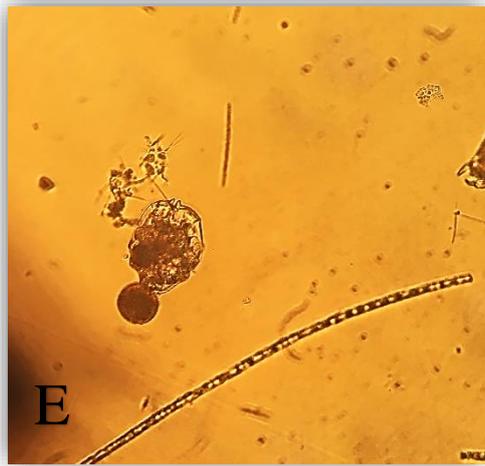
Figura 23. Abundancia relativa (%) del zooplancton en el lago Yahuarcocha para el año 2018

Cabrera (2015) registra 18 taxas de zooplancton en el Lago Yahuarcocha de las cuales el género *Keratella* fue el más abundante con el 51.6% seguido por el género *Brachionus* (15.62%), *Acanthocyclops* (11.52%) y *Polyarthra* (6.78%). Saelens (2015) identificó al género *Keratella* como el más abundante con el 39,48% en cada mes registrado, seguido del género *Acanthocyclops* con el 18%, *Bosmina* y *Daphnia* con 0,66% cada uno. Ambos estudios realizaron sus muestreos en el año 2014 – 2015, pero se diferencia en la metodología, Saelens tomó las muestras del monitoreo a una profundidad superficial 0.5 metros, mientras que Cabrera tomó las muestras hasta la zona profunda del lago. En esta investigación el género *Acanthocyclops* posee dominancia en todos los meses con la excepción de agosto y septiembre, donde el género *Daphnia* es el dominante, pero *Keratella* consigue una abundancia mínima en todos los años, siendo distinto a lo descrito por los autores ya mencionados, esto se debe a que la profundidad para la toma de muestras fue con el valor del disco secchi, debido que al ser un lago polimíctico se mezcla constantemente. La abundancia de *Acanthocyclops* no significa la disminución de los afloramientos (*bloom*) de fitoplancton, ya que no poseen los mecanismos de alimentación de los cladóceros, por esto el género *Daphnia* es un bioindicador de calidad de agua debido a la habilidad de pastoreo, por cuanto una dominancia de este género podría ser de beneficio para el lago (Jeppesen et al., 2012).

4.1.2.1 Descripción cualitativa según su morfología

El zooplancton alberga tres clases eurotatoria, copépoda y branchiopoda, la clase copépoda es la que abarca a géneros como *Metacyclops* y *Acanthocyclops*, estos tienen varias fases de crecimiento uno de ellos el género *Nauplius*, que es un estado de desarrollo juvenil de los copépodos, luego llegan a su madurez donde poseen un cuerpo alargado. El género *Daphnia* al ser menos abundantes que los copépodos también son de un tamaño menor a los dos mm, los rotíferos no son muy abundantes, por lo que su tamaño y densidad se ven reducidas. Los géneros *Polyarthra*, *Ascomorpha* y *Brachionus* son los que menor densidad y tamaño poseen en las muestras. A continuación, se presentan los ocho géneros que fueron encontrados en el lago Yahuarcocha (Figura 24).





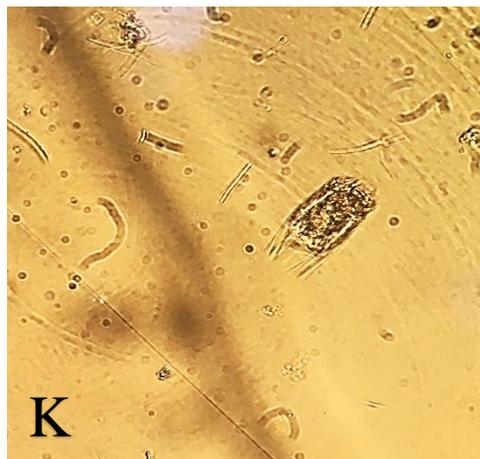


Figura 24. Las especies de zooplancton identificados en el lago Yahuarcocha del año 2018 son: **A** *Acanthocyclops sp.* (10x); **B** *Acanthocyclops sp.* (4x), **C** *Ascomorpha sp.* (40x), **D** *Asplanchna sp.* (10x), **E** *Brachionus angularis* (40x), **F** *Daphnia sp.* (10x), **G** *Keratella tropica* (40x), **H** *Keratella cochlearis* (40x), **I** *Nauplius calanoida* (40x), **J** *Nauplius cyclopoida* (40x), **K** *Polyarthra vulgaris* (40x).

Steinitz-Kannan (1983) registra en el lago Yahuarcocha, al género *Daphnia* como el de mayor abundancia, seguido por el género *Metacyclops*. Además, Astudillo (2018) menciona que el género *Daphnia* se lo considera como uno de los géneros principales para cumplir con la función de pastoreo, también por ser filtradores y otra característica es ser considerado como un bioindicador de ecosistemas, ya que no pueden desarrollarse de una manera adecuada en lagos contaminados, donde exista intervención o presión que les afecte. También Miño y Rodríguez (2018) mencionan que los cladóceros en general y específicamente *Daphnia* son considerados bioindicadores de sistemas lacustres oligotróficos, conclusiones que llegan luego de trabajar en el lago San Pablo es que no existe mucha abundancia del género ya mencionado, debido a que la condición del lago se encuentra en estado mesotrófico. En el presente estudio se ha encontrado *Daphnia*, aunque su tamaño y abundancia es menor en relación a otros lagos, lo que se podría explicar teniendo en cuenta que Yahuarcocha se encuentra en un estado eutrófico a hipertrófico. El aumento de nutrientes en el lago ha dado paso a floraciones excesivas de especies fitoplanctónicas, esto restringe el desarrollo de las poblaciones zooplanctónicas. En décadas anteriores se conoce que el género *Daphnia* fue la más abundante, pero esto ha cambiado durante los años, provocando una disminución de este género y una alteración en la cadena trófica de este ecosistema (Steinitz-Kannan, 1983; Cabrera, 2015).

4.1.3 Pez (*Poecilia reticulata*)

Poecilia reticulata o por su nombre común “Guppy” pertenece a la familia Poeciliidae, Orden Cyprinodontiformes y Clase Actinopterygii. Su morfología posee una aleta dorsal corta, con aleta caudal redondeada, un cuerpo pequeño pero alargado con un tamaño que oscila de 2 cm a 4.5 cm de longitud (Figura 25), esta especie posee dimorfismo sexual, donde las hembras son más grandes que los machos y estos poseen una coloración mucho más vistosa que las hembras.



Figura 25. Medición de tamaño de *Poecilia reticulata* (hembra)

Poecilia reticulata tiene la resistencia de vivir y adaptarse fácilmente a los sistemas acuáticos que poseen temperatura de 20 °C a 30 °C, además tienen una alimentación variada siendo omnívoros, con preferencia a ser carnívoros en su mayoría y poseen una reproducción ovovivípara. En los muestreos se encontraron que el 42% eran machos y el 58% eran hembras, siendo las hembras con mayor tamaño (Figura 26), y el tamaño promedio de esta especie es de 2.94 cm.

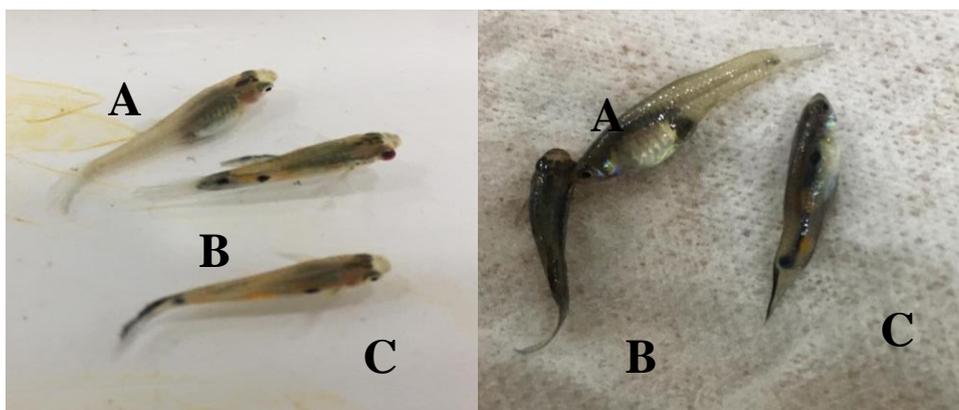


Figura 26. Identificación del género de *Poecilia reticulata*: (A) Hembra y (B y C) Machos

En el muestreo realizado se identificó 5 puntos estratégicos en base a la profundidad del lago, la cual debe ser de 0.5 m a 1.5 m y que contenga la presencia de vegetación (Figura 27, Anexo 2.2). El promedio de la muestra calculada es de 31 individuos en diez litros de agua (3.1 ind/l), en el segundo punto de muestreo se encontró 45 individuos siendo el mayor número, esto es igual a 5 ind/l.

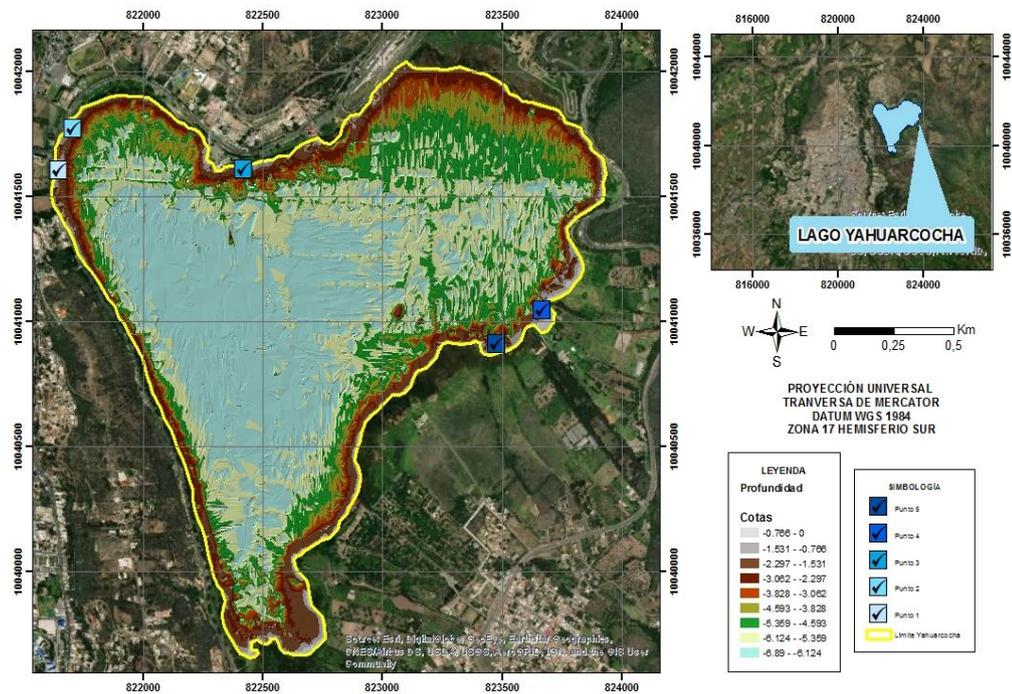


Figura 27. Identificación de los puntos de muestreo de peces en el mapa de cotas de profundidad del lago Yahuarcocha

Bobadilla (2013) afirma que esta especie posee una elevada adaptabilidad a cualquier ecosistema, es por esto que es considerada en algunos países como una especie invasora. Además, Kottelat y Whitten (1996) manifiesta que esta especie es utilizada como controlador biológico de los insectos pequeños como los mosquitos, a pesar de que no causan enfermedades, esta especie puede desequilibrar por completo el sistema de un hábitat en específico. En el presente estudio se reporta la alteración que existe en la cadena trófica del lago Yahuarcocha, debido a la sobrepoblación de *Poecilia reticulata*, ya que sus adaptaciones a los ambientes eutróficos han afectado al control *top-down*, provocando la desaparición de especies zoopláctónicas que ayudan con el pastoreo.

Con los resultados obtenidos se plantea un esquema gráfico de la cadena trófica del lago Yahuarcocha en base a los componentes biológicos estudiados. Las entradas de nutrientes al lago son el abastecimiento necesario para el crecimiento de fitoplancton, siendo este el primer eslabón y el más importante de la cadena trófica, ya que estos son los responsables de las floraciones (*bloom*) donde se encuentra el filo Cyanobacteria. El siguiente componente en el eslabón es el zooplancton que son los principales depredadores de fitoplancton, por último, el pez (*Poecilia reticulata*) que es el depredador del zooplancton y perifiton, además se conoce la inexistencia de la macrófita *Elodea densa* en el lago, debido a la extracción de esta especie (Figura 28).

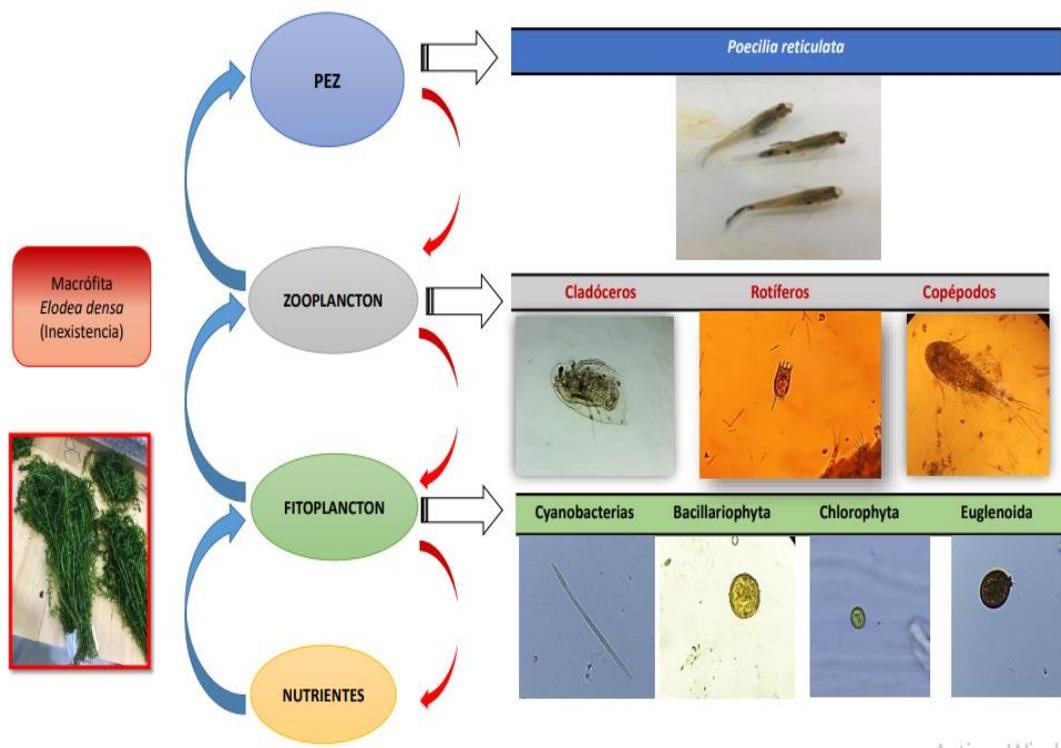


Figura 28. Esquema sobre la cadena trófica del lago Yahuarcocha en base a los componentes bióticos estudiados. Las líneas de color azul se refieren a la interacción positiva que tiene el eslabón superior al aprovechar el consumo del inferior, ayudando a desarrollar de mejor manera al consumirlo, en cambio las líneas de color rojo se refieren a la interacción negativa.

Conde-Porcuna et al. (2004) menciona que en las interacciones bióticas existe la competencia por los recursos, como en la depredación, siendo importante la regularización de las comunidades acuáticas. Pabón (2015) afirma la existencia de *Elodea* en el lago Yahuarcocha, la presencia de esta especie es identificada en un

solo transecto, también se identifican en otros, pero solo como individuos aislados. En el esquema se demuestra la productividad del lago (Figura 28), con las comunidades que se desarrollan, de esta manera se conoce el rol que cumple cada componente biótico y como se estructura la cadena trófica (Colen, et al., 2017).

4.2 Determinación del crecimiento de fitoplancton y zooplancton en función de *Elodea densa* y *Poecilia reticulata*.

Se analizó el crecimiento de las variables dependientes como son fitoplancton y zooplancton que se encontraron en los mesocosmos, para conocer si existe la influencia por parte de *Elodea densa* y *Poecilia reticulata* en los distintos tratamientos.

4.2.1 Densidad de Fitoplancton

Para cada uno de los tratamientos se les asignó unas siglas de acuerdo al contenido: Inicial (Inicial), Control, EZ (*Elodea* + Zooplancton), EZP (*Elodea* + Zooplancton + Peces), P (Peces), Z (Zooplancton) y ZP (Zooplancton + Peces). Estas siglas se han utilizado para el análisis de datos de los mesocosmos del fitoplancton y algunos de estos para zooplancton (Tabla 4).

La densidad y diversidad del fitoplancton se determinó en los mesocosmos que fueron colocados para la experimentación. El género con mayor densidad fueron *Cylindrospermopsis* con valores que oscilan de 29 385.71 ind/ml hasta 149 962.96 ind/ml, además, de estar presentes en todos los mesocosmos. Sin embargo, también se identifican los géneros con menor densidad, siendo *Spirulina* con 105.82 ind/ml únicamente en el tratamiento Z que es donde existe la presencia solo de zooplancton y *Microcystis* con 687.83 ind/ml únicamente en el tratamiento inicial.

Tabla 4. Densidad de los géneros en cada tratamiento (ind/ml)

Géneros	Tratamientos						
	Initial	Control	P	Z	ZP	EZ	EZP
<i>Cylindrospermopsis</i>	84 457.67	107 086.42	149 962.96	84 589.94	122 839.50	46 355.21	29 385.71
<i>Merismopedia</i>	1 362.43	0.00	0.00	0.00	0.00	159.93	0.00
<i>Microcystis</i>	687.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Scenedesmus</i>	211.64	211.64	617.28	621.69	148.14	0.00	0.00
<i>Monoraphidium</i>	582.01	1 746.03	925.92	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Oscillatoria</i>	0.00	3 223.98	3222.22	1 931.21	1 629.62	643.93	414.46
<i>Chlorella</i>	0.00	606.7	740.74	502.64	1 061.72	273.56	29.62
<i>Coelastrum</i>	0.00	352.73	370.37	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Fragilaria</i>	0.00	0.00	296.29	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cyclotella</i>	0.00	0.00	148.14	0.00	370.37	92.59	0.00
<i>Nitzschia</i>	0.00	0.00	296.29	2 129.62	0.00	454.54	855.99
<i>Navícula</i>	0.00	0.00	0.00	1 388.88	0.00	0.00	0.00
<i>Spirulina</i>	0.00	0.00	0.00	105.82	0.00	0.00	0.00
Total Fitoplancton	87 301.58	113 227.51	156 666.66	91 269.84	126 049.38	47 979.79	30 685.80

La densidad del fitoplancton en los tratamientos EZ y EZP fueron de 47 979.79 y 30 685.80 respectivamente, donde los tratamientos con presencia de *Elodea densa* han disminuido comparado con la muestra inicial de 87 301.58 ind/ml. En cambio, los tratamientos sin la presencia de *Elodea densa* como P (156 666.66in/ml), ZP (126 049.38 ind/ml), Z (91 269.84 ind/ml) y Control (113 227.51 ind/ml) fueron mayor a la muestra inicial (Figura 29).

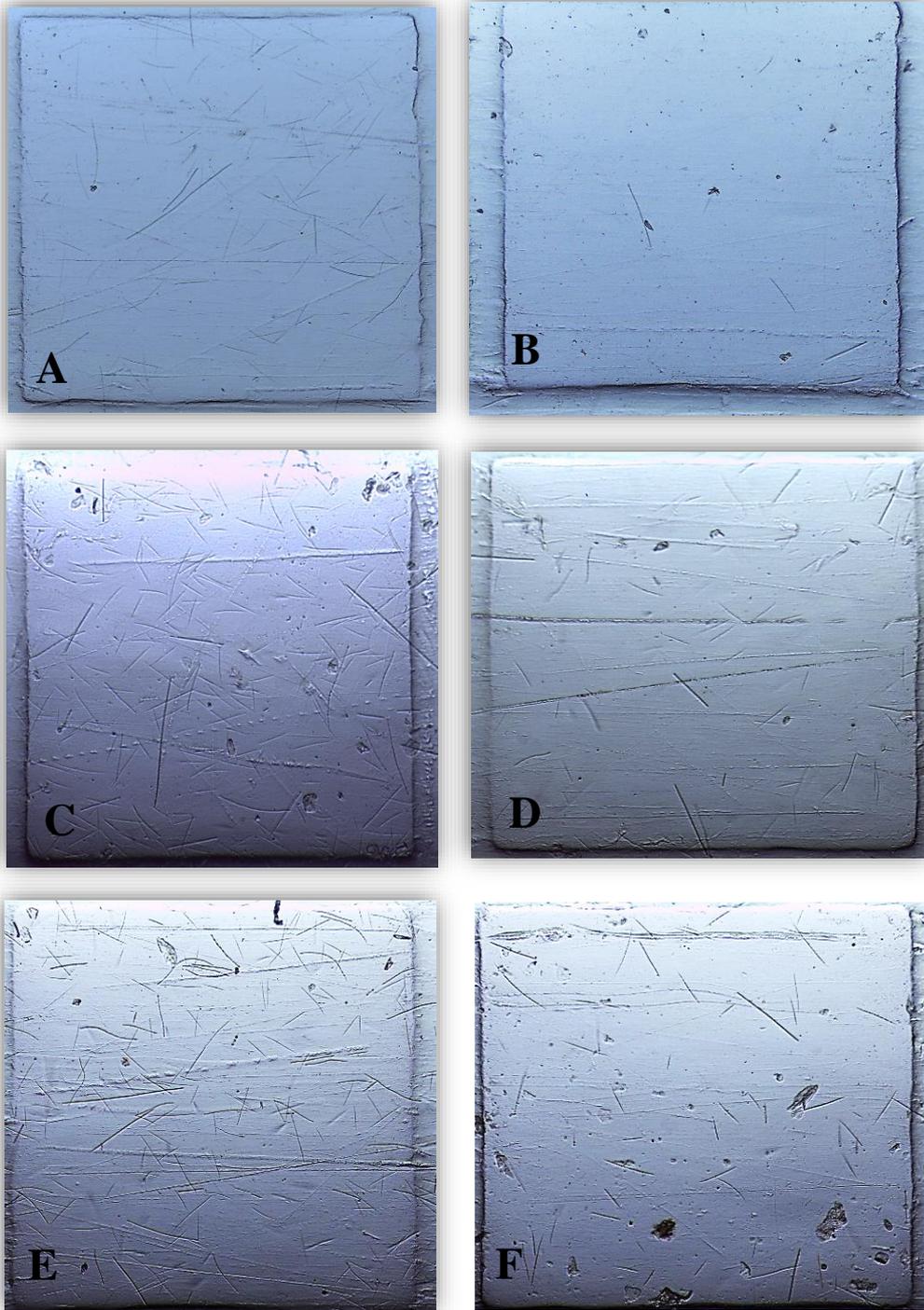




Figura 29. Abundancia gráfica de los tratamientos de fitoplancton; **A** Inicial (10x), **B** *Elodea*, Zooplancton y Peces (10x), **C** Peces (10x), **D** Zooplancton (10x), **E** Zooplancton y Peces (10x), **F** Control (10x), y **G** *Elodea* y Zooplancton (10x).

En los tratamientos con presencia de *Elodea densa* se evidencia que existió una reducción de *Cylindrospermopsis*. El género con mayor densidad fue *Cylindrospermopsis* que varía de 149 962.96 a 29 385.71 ind/ml en cambio Maridueña et al. (2003) menciona que consiguió biomasa siendo el género más representativo *Synedra* y *Anabaenopsis*. El excesivo aporte de nutrientes que ha existido en los años ha ocasionado que *Synedra* disminuya su biomasa, pero aumente la biomasa de *Cylindrospermopsis*, debido a que esta especie puede aprovechar de manera eficaz los nutrientes de un ecosistema limitado en nutrientes, logrando aumentar su biomasa y colonizarla. Meerhoff y Mazzeo (2004) manifiesta que las macrófitas se encargan de la eliminación de nutrientes y al mismo tiempo reduce de la cantidad de fitoplancton. La eutrofización del lago está relacionada con las floraciones de cianobacterias, la acumulación de *Cylindrospermopsis* produce cianotoxinas como la cylindrospermopsina que son perjudiciales (Martigani, 2012; Colen, et al., 2017).

4.2.2 Análisis estadístico de Clorofila (b)

En cuanto a la clorofila extraída ($\mu\text{g/l}$) se realiza un análisis estadístico ANOVA, donde detalla las pruebas de Shapiro, Levene, Tukey para conocer la Homogeneidad, Normalidad y la Comparación múltiple de los distintos tratamientos de los mesocosmos.

4.2.2.1 Análisis de diferencias estadísticas entre tratamientos de clorofila

En la estadística descriptiva de la Clorofila extraída, se consiguió datos generales como el promedio, número de datos, desviación estándar, mediana entre otros (Tabla 5). En el tratamiento EZP se tomó en cuenta dos repeticiones, ya que en la tercera repetición existió datos atípicos debido a la reutilización de macrófitas en mal estado.

Tabla 5. Resumen estadístico descriptivo de Clorofila

Tratamiento	N	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Control	9	73.49249	14.482913	57.39478	92.43382
EZ	9	70.06867	15.090825	56.86787	91.61523
EZP	6	45.65707	16.565022	30.22164	61.28068
Inicial	9	72.86523	9.101522	61.76054	84.31387
P	9	92.26236	6.758181	82.88370	99.82927
Z	9	83.62806	3.705539	78.06630	87.94573
ZP	9	90.82070	7.341810	81.92399	101.61698

Los resultados del análisis de varianza de los datos de clorofila con los distintos componentes bióticos, demostraron que existe una diferencia significativa entre los tratamientos, ya que el valor del *p-value* es de $7.46e^{-10}$ siendo menor al nivel de significancia de 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa afirmando que existe influencia de *Poecilia reticulata* y *Elodea densa* sobre el crecimiento de fitoplancton (Tabla 6).

Tabla 6. Resultado del análisis de varianza de los datos de clorofila

	<i>Df</i>	<i>Sum sq</i>	<i>Mean Sq</i>	<i>F value</i>	<i>P-value</i>
Tratamiento	6	10 802	1800.4	14.81	$7.46e^{-10}$
Error	53	6441	121.5		

En la caja de bigotes de los distintos tratamientos no existen valores atípicos, por lo que los datos no presentaron eventos anormales. Otra característica es la dispersión de los datos de clorofila, donde el tratamiento que tiene una menor dispersión es Z, los datos de control, EZ y EZP son los que denotan una mayor dispersión de datos (Figura 30). Para los centros o las medianas podemos observar que el tratamiento

Inicial, Control y EZ son los que tiene un valor de 65 a 75 ug/L, en cambio, las medianas de datos de clorofila para P, Z y ZP son valores que varían de 85 a 95 ug/l y el tratamiento de EZP posee una mediana 45 ug/l. observando estos valores se puede conocer como es el cambio que se ha realizado en los 14 días, para cada tratamiento. Para la evaluación de clorofila extraída en el canal b, se obtiene como resultado que el tratamiento EZP consiguió el menor valor de 45 $\mu\text{g/l}$, mientras el valor más alto de clorofila fue de 92 $\mu\text{g/l}$ para P y 90 $\mu\text{g/l}$ para ZP, donde se puede comparar con el valor inicial de 72 $\mu\text{g/l}$, estos datos permiten observar que la clorofila disminuye con la presencia de *Elodea densa*, debido a que esta macrófita compite por los nutrientes con el fitoplancton y se produce alelopatía negativa es decir ejercer un efecto perjudicial en otros componentes bióticos, en este estudio es el fitoplancton, de la misma manera Mazzeo et al. (2003) menciona que las macrófitas presentan varios mecanismos que ayudan a mantener cultivos bajos de fitoplancton tanto en la columna de agua como en sedimentos, encargándose del procesamiento de materia orgánica y nutrientes.

Se aplicó la prueba de Tukey, si el valor de p. ajustado es mayor a el nivel de significancia (0.05) donde nos presenta las agrupaciones de los tratamientos, tomando en cuenta que los tratamientos que contenga letras en común son iguales significativamente, mientras que los tratamientos que poseen letras distintas tienen diferencias significativas. Se registra que el primer grupo contiene a los tratamientos P, Z y ZP los cuales fueron significativamente iguales al ser representados por la letra "A", el segundo grupo contiene a los tratamientos EZ, Z y Control, siendo significativamente iguales y están representados por la letra "B", mientras que el tercer grupo representado por la letra "C" solo contiene a EZP que fue distinto a todos. El tratamiento Z se registró en los dos primeros grupos con las letras "A" y "B", por lo que se deduce que es significativamente igual para los dos grupos (Figura 30).

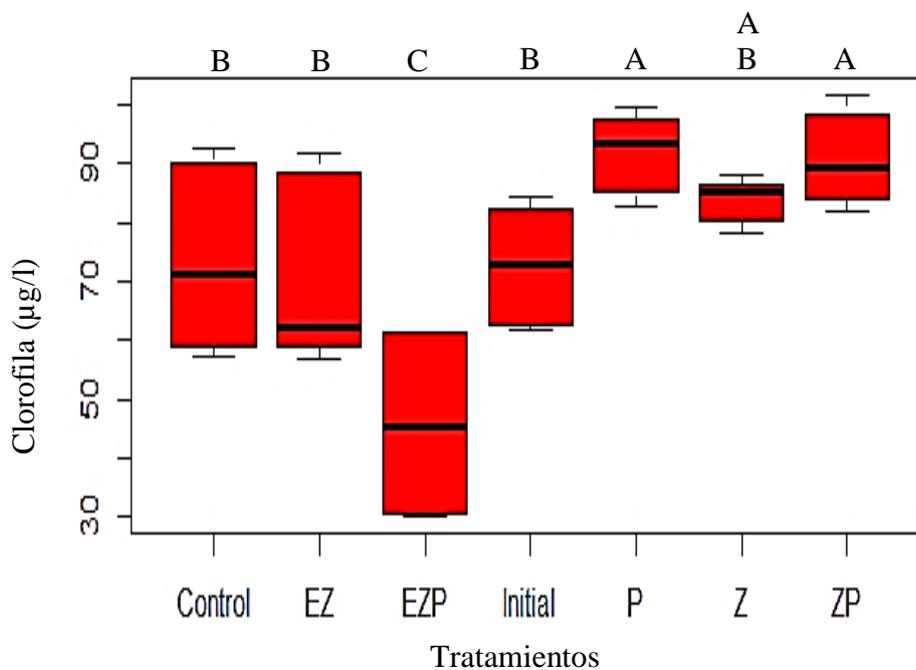


Figura 30. Caja de Bigotes de los datos de clorofila extraída

La clorofila del tratamiento EZP es distinta a los demás ya que sus valores fueron los más bajos de los mesocosmos, debido a la presencia de zooplancton, *Poecilia reticulata* y *Elodea densa*, ya que la macrófita actúa con alelopatía negativa hacia el fitoplancton al competir por los nutrientes, además ayuda a que el zooplancton busque refugio contra el depredador, por lo que se desarrolla de mejor manera y los cladóceros pueden cumplir con el pastoreo. La presencia de estos componentes bióticos ayuda a la reducción de las floraciones de cyanobacterias (Mazzeo et al., 2003; Hernández, Aguirre y Palacios, 2011; Jeppesen et al., 2012).

Para comprobar si los datos son paramétricos o no paramétricos se utilizaron algunas pruebas, como la prueba de Levene entre otras. En la homogeneidad se realizó la prueba de Levene, donde se consigue el p -F de 0.01346, este resultado descarta la homogeneidad al ser el valor menor a p -value. Para considerar que los datos tienen homogeneidad, el resultado debe ser mayor al nivel de significancia (0.05). La prueba de Levene es uno de los más difíciles de comprobar, es por esto que existen otras alternativas como la prueba de Anova F o una modificación de la prueba F, en este estudio se aplicó las dos opciones para verificar.

Para Anova F se divide la desviación estándar mayor (16.56) con la desviación estándar menor (3.70), consiguiendo el resultado de 4.47, el resultado debe ser menor o igual a cinco para aceptar la homogeneidad, con esta prueba se consigue homogeneidad en los datos. También se aplicó la modificación de la prueba F para confirmar la homogeneidad, al realizar por este método se debe tomar en cuenta que el *p-value* debe ser menor al nivel de significancia (0.05), por lo que el resultado obtenido estadísticamente es de $9.067e^{-6}$, siendo este valor menor al nivel de significancia y se considera que con los dos métodos, los datos si poseen homogeneidad.

En la comprobación de normalidad se toma en cuenta el histograma, donde se observa que los datos poseen normalidad, en relación la frecuencia, es decir las barras frecuencias se encuentran relativamente en orden, capaz de reconocer la dispersión que existe entre ellos e identificar los picos más altos de los conglomerados, por lo que se acepta la Normalidad (Figura 31). La distribución es más amplia en comparación con la prueba de Normalidad realizada para cladóceros, ya que en estos se consiguieron mayores números de datos que en zooplancton.

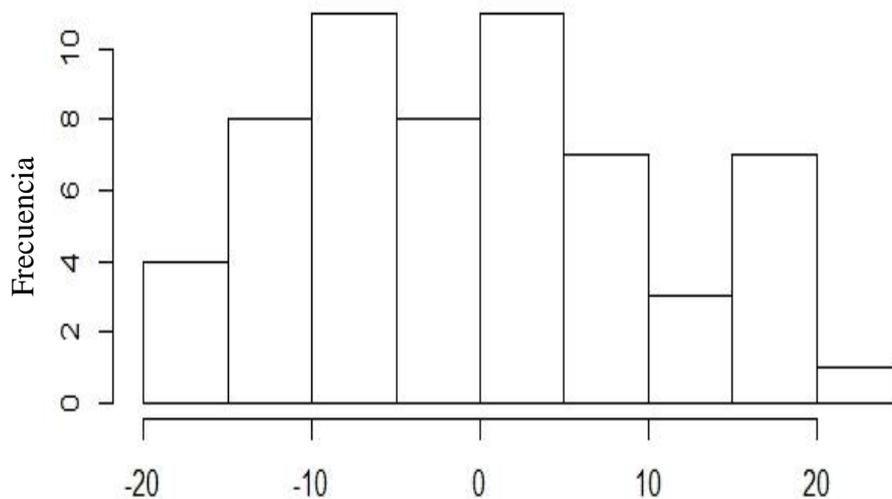


Figura 31. Histograma de Normalidad de clorofila

4.2.2.2 Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento de clorofila extraída se evidencia junto a los rangos de error, estos datos se obtuvieron aplicando la fórmula de la tasa de crecimiento, donde se detalla que el tratamiento EZP tiene el mayor crecimiento negativo en relación a los demás, sin embargo EZ también tiene crecimiento negativo pero este es menor al de EZP, por lo contrario P, Z y ZP son los tratamientos que tienen un crecimiento positivo muy similar, para estos mesocosmos se usó el control que es la base del crecimiento de clorofila de todos los mesocosmos (Figura 32). Los tratamientos EZP y EZ que son los que poseen crecimiento negativo y estuvieron fuertemente relacionado con la presencia de *Elodea densa*, la cual cumple su función ecológica de competir con el fitoplancton por los nutrientes de la columna de agua.

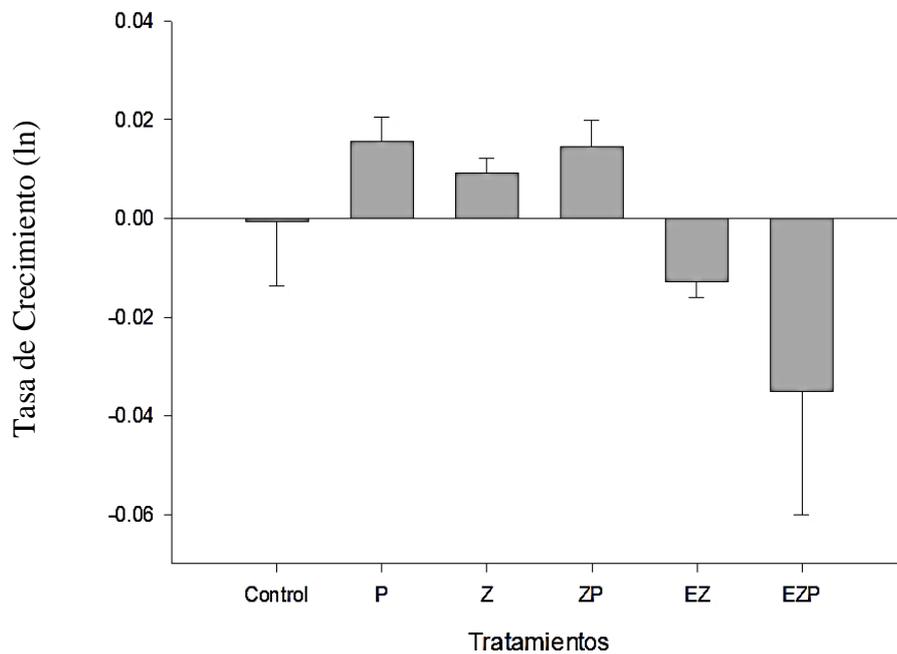


Figura 32. Tasa de crecimiento de los tratamientos

La tasa de crecimiento revela como cambiaron los tratamientos en los 14 días que permanecieron los mesocosmos bajo la influencia de *E. densa* y *P. reticulata*, donde el resultado óptimo fue del tratamiento EZP con presencia de macrófita. Meerhoff y Mazzeo (2004) manifiesta que las plantas acuáticas son fundamental para enfrentar la eutrofización debido a la eliminación de nutrientes y disminución en la

tasa de crecimiento de clorofila, Hilt et al. (2018) declaran que los valores de fitoplancton descienden cuando existe la presencia de macrófitas, en un ecosistema debe estar el 20% de la superficie con macrófitas para ver cambio moderadamente rápido en cuanto a la tasa de crecimiento negativo.

4.2.3 Densidad de zooplancton

Para cada uno de los tratamientos se les asigna sus respectivas siglas para conocer su densidad: Initial (Inicial), Z (Control de zooplancton), EZP (*Elodea* + Zooplancton + Peces) y EZ (Zooplancton + *Elodea*) y P (Zooplancton + Peces). En el tratamiento inicial se encontraron 2.35 ind/ml, después de 14 días se pudo identificar un cambio en la densidad de zooplancton en cada tratamiento (Tabla 7). La densidad mayor corresponde al tratamiento donde existe la presencia de *Elodea densa* con 3.12 ind/ml, mientras que el tratamiento Z (control de zooplancton), aumenta su densidad. En cambio, el tratamiento P, se identificó la disminución de la densidad a 2.09 ind/ml.

Tabla 7. Densidad de cladóceros (ind/ml)

Tratamientos	Cladóceros (ind/ml)
Initial	2.32
Z	3.04
P	2.09
EZ	3.12
EZP	2.54

Estos datos indican que existe una relación entre los cladóceros y *Poecilia reticulata*, debido a que este pez carnívoro se alimenta del zooplancton, ejerciendo una presión en el desarrollo de los cladóceros. En cambio, al existir la presencia de *Elodea densa*, el zooplancton puede buscar refugio entre la planta cuando exista un depredador, lo que le permitirá un mejor desarrollo en su tamaño, logrando que estos cladóceros ejerzan su función de pastoreo y disminuyendo la densidad excesiva de fitoplancton. Godzdziejewska y Tucholski (2011) afirman que la presencia de un depredador, como un pez, puede interferir en el tamaño y en la densidad del zooplancton, especialmente en los cladóceros. A través de

experimentos pusieron a prueba la interacción de peces con cladóceros y comprobaron que su abundancia disminuye, mientras que al interactuar con una macrófita, el tamaño de los cladóceros aumentó (Jeppesen et al., 2012).

4.2.3.1 Análisis de diferencias estadísticas entre tratamientos de cladóceros

La estadística descriptiva del conteo de cladóceros de los distintos mesocosmos, dio datos generales como el promedio, número de datos, desviación estándar, mediana entre otros (Tabla 8).

Tabla 8. Resumen estadístico descriptivo de cladóceros

Tratamiento	N	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
EZ	3	3.473	0.1761	3.33	3.67
EZP	3	2.823	0.0585	2.78	2.89
Inicial	3	2.326	0.7637	2.26	2.41
Z	3	3.376	0.1365	3.22	3.47
ZP	3	2.326	0.1137	2.20	2.42

Los resultados del análisis de varianza de los datos de cladóceros con los distintos componentes bióticos, demostraron que existe una diferencia significativa entre los tratamientos, ya que el valor del *p-value* es de $4.6e^{-07}$ siendo menor al nivel de significancia de 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa afirmando que existe influencia de la *Poecilia reticulata* y *Elodea densa* sobre el crecimiento de zooplankton especialmente con cladóceros (Tabla 9).

Tabla 9. Resultados del análisis de varianza de cladóceros

	<i>Df</i>	<i>Sum Sq</i>	<i>Mean Sq</i>	<i>F value</i>	<i>P-value</i>
Tratamiento	4	3.640	0.9099	63.3	$4.6e^{-07}$
Error	10	0.144	0.0144		

El diagrama de caja de bigotes mostró que no existen valores atípicos, por lo que los datos no presentaron eventos anormales. La dispersión de los datos de cladóceros, indicó que el tratamiento con menor dispersión es Inicial y EZP, en cambio EZ denota una mayor dispersión de datos (Figura 33). Para los centros o las

medias los tratamientos Inicial y ZP tienen valores de 2.32 y 2.35 ind/ml respectivamente, en cambio, las medias de datos de cladóceros para EZ y Z son 3.47 a 3.37 ind/ml respectivamente, y el tratamiento de EZP posee una media de 2.82 ind/ml, observando estos valores se puede conocer como es el cambio que se ha realizado en los 14 días, para cada tratamiento. Además, se identificaron las agrupaciones de los distintos tratamientos, tomando en cuenta que los tratamientos que contenga letras en común son iguales o no tienen diferencia significativa. Se registra que el primer grupo contiene a los tratamientos Inicial y ZP los cuales fueron significativamente iguales al ser representados por la letra “A”, el segundo contiene al tratamiento EZP, que viene a ser distinto a los demás mesocosmos siendo que es el único representado con la letra “B”, debido a contenía la presencia de *E. densa* y *P. reticulata*, mientras que el tercer grupo representado por la letra “C” contiene a EZ y Z.

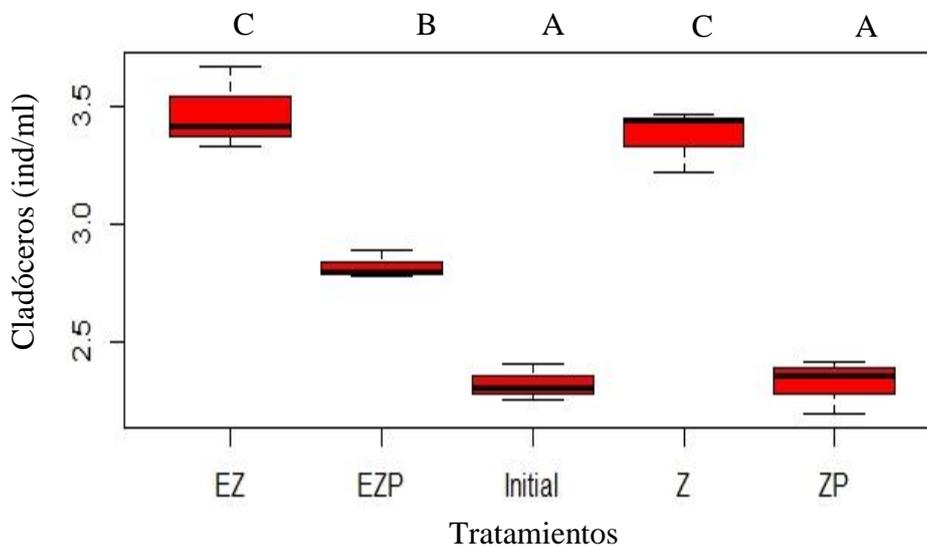


Figura 33. Caja de Bigotes con los tratamientos de cladóceros

Para saber si los datos son paramétricos o no paramétricos se utilizó varias pruebas, en la homogeneidad se realizó la prueba de Levene, donde se consigue el $p-F$ de 0.8568, este resultado aprueba la homogeneidad al ser el valor mayor a $p-value$ de 0.05. También se realizó una prueba F para confirmar el valor de homogeneidad. Al realizar por este método se debe tomar en cuenta que el $p-value$ debe ser menor al nivel de significancia (0.05), por lo que el resultado obtenido es de 0.00053,

siendo este valor menor al nivel de significancia y se considera que los datos si poseen homogeneidad.

Para comprobar la normalidad se realizó la prueba de Shapiro teniendo como resultado el *p-value* 0.6825 siendo mayor que 0.05 por lo que se acepta la normalidad, también se toma en cuenta el Histograma, donde se observa que los datos poseen normalidad, en relación a la frecuencia de los datos, es decir las barras frecuencias se encuentran relativamente en orden, por lo que se acepta la Normalidad (Figura 34).

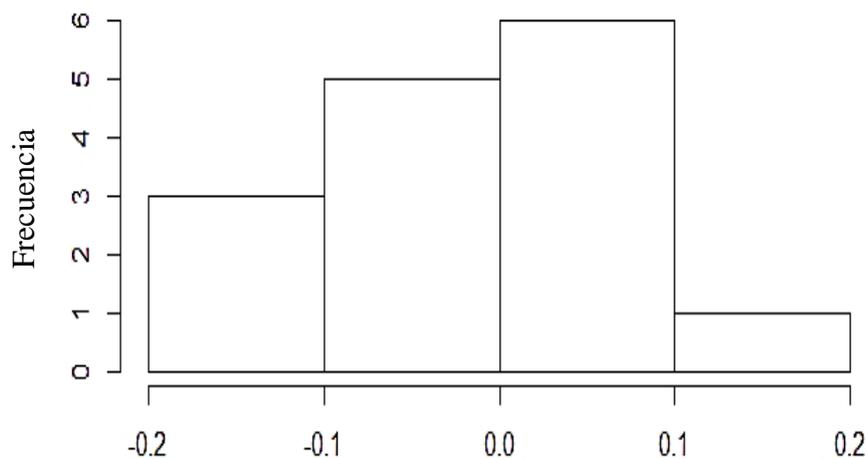


Figura 34. Histograma de Normalidad de clorofila

En los experimentos con la variable dependiente fitoplancton, se consiguió la densidad de cada tratamiento con sus respectivas repeticiones siendo EZ y EZP los tratamientos más eficientes para una restauración ecológica, debido a la presencia de la macrófita *E. densa*, incluso los análisis de clorofila recalcan como la *E. densa* influye directamente sobre el fitoplancton consiguiendo una tasa de crecimiento negativo. Sin embargo, la influencia de *P. reticulata* ha generado un aumento en su densidad al igual que en la tasa de clorofila, demostrando que influye directamente sobre el crecimiento de fitoplancton, esto se debe a que *P. reticulata* aporta con nutrientes para el desarrollo de las floraciones de fitoplancton. Meerhoff y Mazzeo (2004) declaran que las macrófitas son esenciales para la disminución de la densidad de fitoplancton por lo que ayuda a eliminar nutrientes de manera más

eficaz que las plantas emergentes ya que se encuentran presentes en toda la columna de agua.

En los experimentos con la variable dependiente zooplancton se observa que el tratamiento EZ fue el más efectivo debido a que los cladóceros se pueden desarrollar y realizar su función de pastoreo y filtradores, por lo contrario, en el tratamiento ZP la densidad de cladóceros disminuye esto se debe a la presencia de *P. reticulata*, que busca alimentarse de zooplancton, por lo que el tratamiento EZP que existe la presencia de *E. densa* y *P. reticulata* tiene una densidad mayor a la del tratamiento ZP, debido a que la presencia de la macrófita fue idóneo para constituir micro-hábitats y establecer refugio para los cladóceros. Mazzeo et al. (2003) concluye que la presencia de *E. densa* incrementa la densidad y el tamaño del zooplancton creando ayuda para la protección de los depredadores. Villabona, Aguirre y Estrada (2011) manifiesta que la presencia de macrófitas favorece a una mayor riqueza de zooplancton y tiene a presentar una diversidad de agregados alimenticios. Los respectivos experimentos con cladóceros y fitoplancton demuestran que la presencia de macrófitas es necesaria para conseguir mejorías en los aspectos ecológicos, y restableciendo el orden de la cadena trófica. La presencia de macrófitas poseen una relación inversa a turbidez del agua, ayudando a eliminar nutrientes y el abundante número de fitoplancton presentes en un ecosistema (Meerhoff y Mazzeo, 2004; Jeppesen et al., 2012).

4.3 Propuesta de biomanipulación

La propuesta de biomanipulación se enfoca en diseños para reducir un atributo ecológico indeseable, en este caso las floraciones de *Cylindrospermopsis* que es el principal problema, por esta razón no se aplica un método para el manejo de la especie *Poecilia reticulata*.

En base a los experimentos se determina que el género de fitoplancton más abundante en el lago Yahuarcocha es *Cylindrospermopsis*, el cual se encontró en gran cantidad en todos los meses. En cambio, el pez *P. reticulata* no es una

influencia positiva para el crecimiento de *Cylindrospermopsis*, sino que aporta con nutrientes los cuales ayuda a su floración. A continuación, se detalla la implementación de camas o esteras flotantes en el lago Yahuarcocha, con la aplicación de experimentos se determinó que la especie *Elodea densa* interviene en el crecimiento de fitoplancton de forma negativa, es decir que es el crecimiento de fitoplancton es inversamente proporcional a la abundancia de *E. densa*.

La presente propuesta de biomanipulación se compone de: Antecedentes, Objetivo general y específicos, Evaluación por el método F.O.D.A., Metodología que contiene medio de cultivo, diseño, ubicación, implementación, mantenimiento y Presupuesto.

4.3.1 Antecedentes de la propuesta

La eutrofización es un procesos natural que advierte el deterioro de un lago, esto se debe algunas veces a la contaminación por las actividades antrópicas, por lo que se busca un método efectivo para la eliminación de los nutrientes que llegan directamente a los lagos, muchos lagos naturales tienen su propia planta de purificación *in situ*, siendo las macrófitas la mejor opción natural, por esta razón es viable la aplicabilidad de las esteras flotantes de macrófitas para la eliminación excesiva de los nutrientes (Song, Li, Li y Lu, 2014).

Todas las personas contribuyen a la generación de aguas residuales, esto en muchas ocasiones son enviados a los sistemas acuáticos naturales, donde toda la carga orgánica se acumula, proporcionando nutrientes que ayudan a la producción de los “*bloom*” de fitoplancton, como resultado se han realizado los humedales para el tratamiento de aguas, las cuales pueden ser de maneras naturales o artificiales (Martelo y Lara, 2011).

En los últimos años las remediaciones de los lagos se han establecido en dos fases, la primera es purificar el agua y el segundo es la recuperación de las macrófitas sumergidas. Estas fases permiten la restauración de lagos a través de esteras flotantes, donde las macrófitas puede ayudar a limitar la eutrofización con la

reducción de nutrientes y ayuda a mejorar el hábitat de los animales acuáticos (Guo et al., 2013).

Se han realizado estudios previos con macrófitas sumergidas, flotantes y emergentes, descubriendo la eficiencia que tiene esta técnica para la remoción, siendo los resultados considerablemente altos, se debe tomar en cuenta que los experimentos fueron elaborados bajo ciertos criterios dependiendo de la especie de macrófita que se pretenda usar (Yeh, Yeh y Chang, 2015).

4.3.2 Objetivos de la propuesta de biomanipulación

A continuación, se describen los objetivos para la propuesta de biomanipulación, en base a los resultados obtenidos por los experimentos realizados con la especie *Elodea densa*.

4.3.2.1 Objetivo general de la propuesta:

Elaborar el diseño de biomanipulación con la macrófita *Elodea densa*, mediante la implementación de esteras flotantes para el control de cyanobacterias y restauración de la cadena trófica del lago Yahuarcocha.

4.3.2.2 Objetivos específicos de la propuesta:

- Analizar los aspectos generales para la implementación de las esteras flotantes en base a *Elodea densa*.
- Elaborar el diseño de esteras flotantes que se incluirán en el lago, para la fitorremediación.
- Identificar las zonas estratégicas en el lago Yahuarcocha, donde se colocarán las esteras flotantes.

4.3.3 Evaluación por F.O.D.A.

La aplicación del método F.O.D.A. es base fundamental para propuestas o proyectos, ya que ayuda a determinar y plantear las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que puedan existir en base al proyecto. A través de este método se llega a tener un análisis completo para la propuesta con los resultados obtenidos, identificando distintos panoramas para establecer medidas de mejora en cada aspecto (Tabla 10).

Tabla 10. Método F.O.D.A.

Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
- Existencia o presencia de un nuevo mesocosmo.	- Generación de fuentes de trabajo.	- Elevada inversión económica.	- Alteración de la cadena trófica del ecosistema.
- Eliminación de las floraciones de cyanobacterias.	- Generación de una herramienta técnica de biorremediación para gestores locales.	- Resultados a largo plazo.	- Impacto visual: paisajístico negativo, y socialmente: incertidumbre.
- Disminución de la cantidad de nutrientes.	- Mejorar la calidad de vida y salud de los moradores del sector.	- Falta de experimentación in-situ a media y gran escala.	
- Biorremediación de la calidad del agua del lago.	- Aprovechamiento de biomasa.		
- Restablecimiento de las interacciones de la cadena trófica.	- Alimentación – agregación de métodos técnicos para una guía metodológica.		
- Aumento de tamaño del zooplancton.			
- Conservación del ecosistema y su belleza paisajística.			
- Facilidad y complejidad mínima para mantenimiento, control y revisión.			

4.3.4 Metodología determinada de la propuesta

En base a la evaluación por el método FODA se puede conocer las A continuación, se presenta la metodología para la propuesta de las esteras flotantes, detallando el

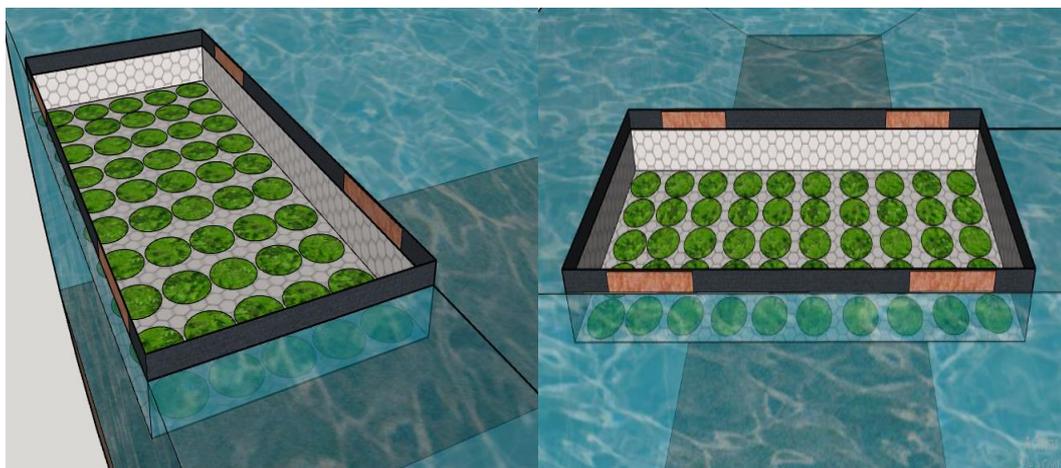
medio de cultivo, diseño, implementación, presupuesto, mantenimientos y características generales sobre la especie *Elodea densa*.

- Medio de cultivo:

El medio de cultivo a utilizar es sedimento o grava fina, que sirven para el desarrollo de la planta y mejorar el enraizamiento, además que los brotes nuevos se pueden cortar e incluirlos en los medios de cultivo para el crecimiento de un nuevo individuo.

- Diseño

El diseño de la propuesta se basa en realizar camas o esteras flotantes, las medidas para la estructura metálica de acero inoxidable de las esteras son de 4 metros de largo, 2 metros de ancho y 1.3 metros de altura. Para la altura se dividirá en tres partes de 0.50 centímetros extraíbles ya que esta es la profundidad inicial para que la macrófita se desarrolle con la luz, según el crecimiento de la *Elodea* se inserta los otros 0.50 centímetros completando el metro de profundidad desde la superficie del lago y los 30 centímetros restantes es cubierto de plástico y colocado sobre la superficie del lago para evitar la entrada de organismos o basura que son arrastrados por los movimientos del agua, dejando la abertura superior para el paso de luz que es muy importante para el desarrollo de la macrófita (Figura 35).



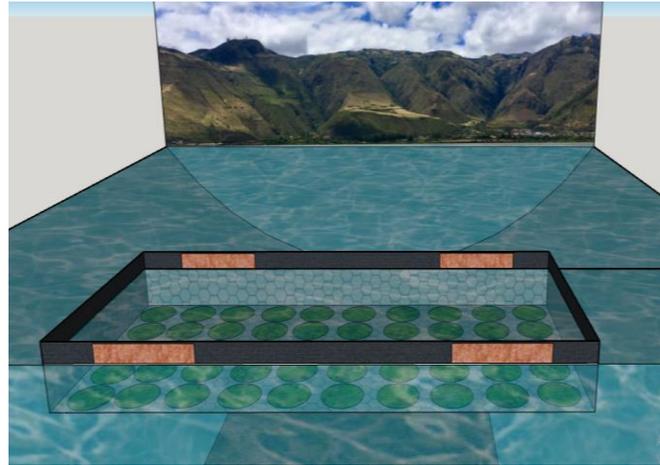


Figura 35. Diseño de las esteras flotantes de macrófitas

En la base se coloca la especie *Elodea densa*, esta estructura metálica es cubierta por una malla con diámetro de 0.75 milímetros, la cual irá por toda la estructura excepto en la parte superior. Esta estera también contiene cuatro flotadores rectangulares de plástico (color rosado) y un ancla que se amarra en dos ganchos en la parte superior, esto ayuda a mantener la estabilidad y reducir el movimiento de las esteras. Además, cuentan con cuatro agarraderas para dar facilidad al momento de posesionarla y dar el mantenimiento de las esteras flotantes (Figura 36).

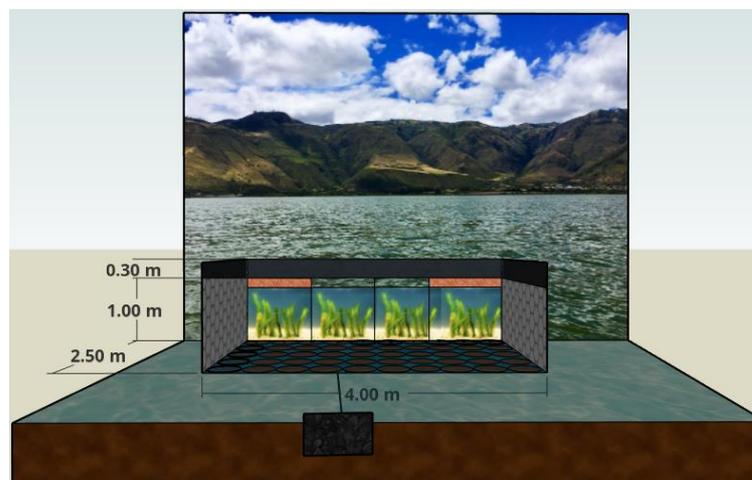


Figura 36. Implementación de la estera flotante de macrófitas

Las macrófitas deben ser insertadas en envases plásticos 40 centímetros de diámetro, los cuales son ubicados en la base de las esteras flotantes, donde se coloca el sustrato, contando con pequeños orificios para que la raíz se desarrolle. Cada estera flotante contiene 25 kilogramos de peso húmedo de *Elodea densa*, donde están distribuidas 500 gramos de *Elodea* por cada envase, y en cada estera se insertan 50 envases (Figura 37).



Figura 37. Preparación de los 500 gramos de *Elodea densa*

- Ubicación

La ubicación de las esteras flotantes se coloca en los perfiles del lago Yahuarcocha, se plantea ubicar diez de ellas en donde las profundidades sean mayores a 2.5 metros, además de abarcar la mayor área posible. De las diez esteras flotantes, siete se deben colocar cerca del perfil y los tres restantes están en el centro del lago debido a que el fitoplancton podría acumularse.

Para la ubicación de las diez esteras flotantes se toman en cuenta los siguientes criterios: i) respetar el área de las zonas que se utilizan para el turismo como el paseo en botes, también ii) no interferir en el área donde se ubican otros tipos de especies tanto de flora como de fauna, además iii) no ubicar esteras flotantes cerca del perfil o de lugares donde la población sea más concurrente (Figura 38, Anexo 2.3), y iv) no colocar en zonas con profundidades menores a 2.5 metros debido a que esta especie es de crecimiento rápido y por semana puede crecer 2 centímetros aproximado, tomando en cuenta el tallo y la raíz.

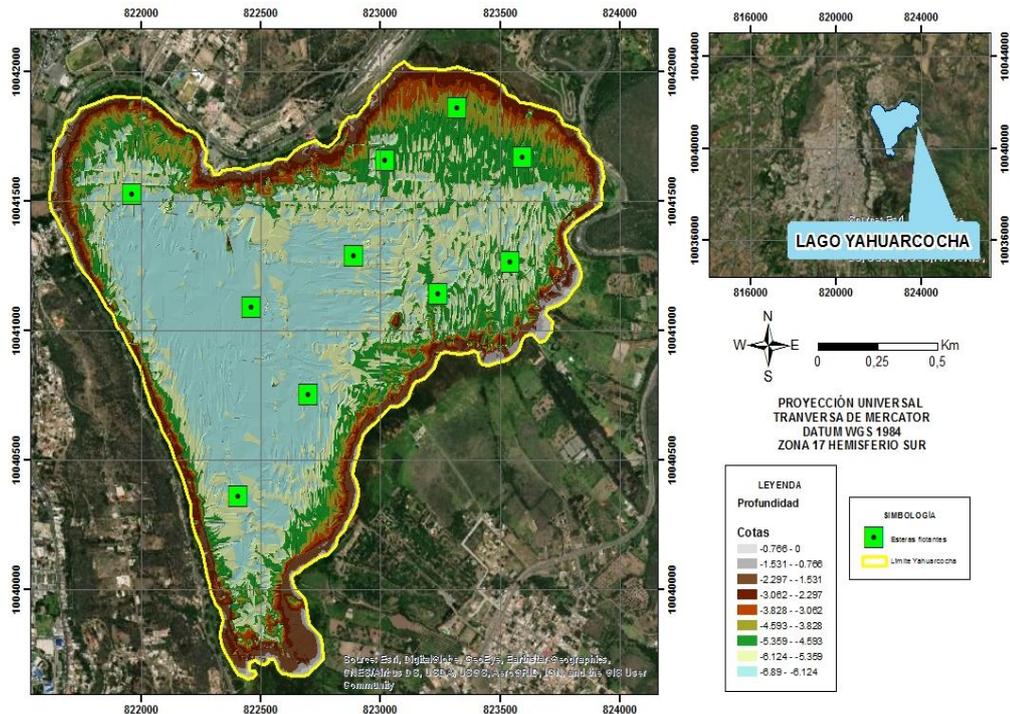


Figura 38. Mapa de puntos estratégicos para colocar las esteras flotantes

- Implementación

Este método consiste en colocar las esteras flotantes en los sitios mencionados anteriormente con la especie *E. densa*, las cuales tiene características alelopáticas contra las cyanobacterias, también cuenta con la característica de ser totalmente sumergida lo que contribuye a la remoción de metales pesados y nutrientes del lago que se pueden encontrar en el sedimento, superficie y en toda la columna de agua. El fitoplancton compite con las macrófitas por la luz y los nutrientes que se encuentran en el lago, con los experimentos se puede ver el crecimiento negativo que tiene el fitoplancton al estar presente la macrófita. Es importante resaltar que es un método de resiliencia natural, ya que esta especie en particular existía en Yahuarcocha, pero fue removida mediante dragado, y además de esta manera no se interfieren con otros métodos.

La implementación de estas esteras flotantes comienza con la identificación del género de cyanobacterias que son las más abundantes en el lago, encontrando una floración de *Cylindrospermopsis*, con base a estos resultados se han revisado

estudios donde se muestra la importancia de macrófitas para la fitorremediación del agua. A continuación, se describen los pasos que se deben seguir para la implementación de esteras flotantes en el lago Yahuarcocha:

- a) Planificación de la implementación de la propuesta de biomanipulación.
- b) Análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas de la propuesta (FODA).
- c) Realización del diseño para la elaboración de esteras flotantes.
- d) Identificación de las zonas estratégicas para la colocación de las esteras flotantes.
- e) Socialización con los gestores locales.
- f) Obtención de los materiales y construcción de las esteras flotantes.
- g) Colocación de las esteras flotantes.
- h) Establecer monitoreos mensuales para las revisiones del estado de las esteras y el estado de calidad del agua (parámetros físicos, químicos y biológicos).
- i) Ejecutar el mantenimiento cada seis meses, donde se realizará el cambio o trasplante de la especie *Elodea densa*.

Esta fase de implementación tiene una duración piloto de cinco años, donde se lleva los monitoreos mensuales del lago y el mantenimiento adecuado para las esteras. Con esto la macrófita cumple con su rol ecológico, reduciendo la abundancia de fitoplancton para generar un orden en la cadena trófica.

- Control y mantenimiento

Es necesario realizar el monitoreo mensual, donde se tomen en cuenta los parámetros físicos, químicos y biológicos, además, hacer una revisión mensual donde conste el estado de la estera flotante y de las macrófitas, también es de vital importancia dar mantenimiento adecuado de las esteras flotantes con un período de seis meses, se estima el crecimiento de 48 centímetros cada 6 meses por esto se

realizará la poda debida, ya que puede crecer a través de nuevos brotes de los nudos, o trasplante de ser necesario. Si el estado de la planta está deteriorado, se procederá el retiro de la planta y la colocación de una nueva, igualmente se retirará la basura u otras especies vegetales que se adhieran a la *Elodea*, esta poda y colocación de planta se efectuará de forma manual.

Al retirar la *Elodea densa* se puede utilizar la biomasa para la generación de compost o de abono para los cultivos de flores, para la manufactura de cartón, la producción de combustible, también sirve para la descomposición de la materia para la generación de metano.

4.3.5 Presupuesto

Se detalla los costos de la propuesta de las esteras flotantes, tomando en cuenta los aspectos mencionados como el diseño, la construcción, implementación, mantenimiento entre otros (Tabla 11).

Tabla 11. Presupuesto para la implementación de 10 esteras flotantes

EQUIPO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO USD	PRECIO TOTAL USD
Soga	1	40	40
Flotadores rectangulares	4	30	120
Envases plástico	50	0.2	50
Plástico	1	100	100
Malla metálica	1	100	100
<i>Elodea densa</i>	25 kg	250	250
Ancla	1	40	40
Estructura metálica	1	500	500
Instrumentos adicionales	1	300	300
Total diseño de 1 estera flotante			1 500
Total diseño de 10 esteras flotantes			15 000

Estudio inicial del proyecto	1	2 000	2 000
Construcción de la estera flotante	10	1 000	10 000
Colocación de esteras flotantes	10	1 000	10 000
Total fase de implementación			22 000
Mantenimiento	12	100	1 200
Mantenimiento bimestral (poda o colocación de nuevas plantas) al año	2	250	500
Tratamiento biológico esteras al año	2	250	500
Costo total mantenimiento y tratamiento al año			2 200
Costo Total			39 200

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La caracterización de los componentes bióticos del año 2018 en referencia al fitoplancton demuestra que el género *Cylindrospermopsis* perteneciente al filo cyanobacteria posee mayor dominancia con el 90 % en el lago.

En relación al zooplancton del año 2018 en la mayoría de los meses la especie más representativa fue *Acanthocyclops sp.*, excepto en los meses de agosto y septiembre donde se registró dominancia de la especie *Daphnia sp.*

Para la especie *Poecilia reticulata* se identificó que en el punto 2 existe la mayor presencia, al estar en las orillas del lago con profundidades de 0.5 m a 1.5 m, con presencia de vegetación, el tamaño promedio es de 2.94 cm, siendo el 42% machos y el 58% hembras.

En los experimentos realizados en base al fitoplancton con *Elodea densa* y *Poecilia reticulata*, se determinó que los tratamientos que poseen la macrófita (EZ y EZP) tienden a reducir la densidad de poblaciones fitoplanctónicas, sin embargo, en el resto de tratamientos se produce un incremento de estas poblaciones.

Para el cálculo del crecimiento de zooplancton en relación a *Elodea densa* y *Poecilia reticulata* se demostró que el género *Daphnia* son los más representativos de los cladóceros, del cual *Daphnia* aumentó su densidad cuando existía presencia de *Elodea densa* al no poseer un depredador que dificulte el desarrollo adecuado.

La propuesta de biomanipulación de implementar esteras flotantes con macrófitas (*Elodea densa*), se encarga de reducir las floraciones (*bloom*) fitoplanctónicas, identificando diez sitios estratégicos, el cual durará un período piloto de cinco años, donde se pretende evidenciar los resultados.

5.2 Recomendaciones

Para la caracterización de los componentes bióticos como son zooplancton y fitoplancton y pez *Poecilia reticulata* se recomienda que el período de muestreo sea mayor a un año debido a que de esta manera se puede conocer los cambios que puede sufrir el lago, además de ser utilizado como base para próximos estudios en relación a diversidad.

Se recomienda para futuros estudios, se pueda encontrar un lugar donde provea de *Elodea densa* o realizar el crecimiento de esta de manera *ex situ*, lo que ayudará a la obtención de esta especie de manera accesible.

Realizar estudios de la diversidad completa de las especies actuales que se encuentran en el lago, además de conocer su dinámica poblacional dentro de este hábitat, indicando cuales son las especies depredadoras que pueden ser evaluadas como respuesta ante la sobrepoblación de una especie que este alterando el ecosistema.

Se recomienda que se implemente esta propuesta de biomanipulación en el lago Yahuarcocha, para trabajar conjuntamente con el GAD municipal, provincial y Ministerio del Ambiente.

REFERENCIAS

- Amend, S., Giraldo, A., Oltemari, J., Sánchez, R., Valarezo, V. y Yerena, E. (2002). abPlanes de manejo - conceptos y propuestas. *Revista Parques nacionales y conservación ambiental*, 10 (1), 59-63.
- Abrantes, N., Antunes, S., Pereira, M. y Goncalves, F. (2006). Seasonal succession of cladocerans and phytoplankton and their interactions in a shallow eutrophic lake (Lake Vela, Portugal). *Acta Oecologica*, 29, 54-65.
- Abreu, V., Popin, V., Alvarenga, D., Schaker, P., Hoff-Risseti, C., Varani, M., & Fiore, F. (2018). Genomic and Genotypic Characterization of *Cylindrospermopsis raciborskii*: Toward an Intraspecific Phylogenetic Evaluation by Comparative Genomics. *Frontiers in microbiology*, 9, 306-317.
- Andramunio, C. y Caraballo, P. (2012). Análisis de las relaciones tróficas en un lago de inundación de la amazonía colombiana. *Colombiana Cienc*, 4(1), 102-120.
- Astudillo, E. (2018). *Pastoreo del mesozooplankton sobre el fitoplancton en el lago Yahuarcocha, Provincia Imbabura* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Becares, E., Conty, A., Rodríguez-Villafañe, C. y Blanco, S. (2004). Funcionamiento de los lagos someros mediterráneos. *Ecosistemas*, 2, 1-15.
- Bicudo, C. y Menezes, M. (2006). *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil (chave para identificação e descrições) - Segunda edição*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/320191750>
- Bobadilla, F. (2013). *Resistencia de peces dulceacuícolas de ornato al shock halino y térmico, como una forma de evaluar su supervivencia en esteros de la Bahía de la Paz* (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, Baja California Sur.
- Brönmark, C. y Hansson, L. (2005). *The biology of lakes and ponds*. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press.

- Burks, L., Jeppesen, E. y Lodge, D. (2001). Litoral zone structure as a refugium for cladoceran against fish predators. *Limnology and Oceanography*, 46 (2), 230–237.
- Cabrera, S. (2015). *Análisis temporal y espacial de comunidades zooplanctónicas en los lagos andinos: Yahuarcocha y Mojanda, Ecuador* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Caicedo, F. (2016). *Evaluación de la dinámica poblacional del fitoplancton con relación a las características físicos-químicas del lago altoandino Yahuarcocha* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte: Ibarra, Ecuador.
- Caicedo, F. (2019). *The structuring role of three different types of macrophytes on the planktonic communities of lake San Pablo, a tropical andean system in northern Ecuador* (Tesis de maestría).
- Carpenter, S. R., Cole, J. J., Hodgson, J. R., Kitchell, F. J., Pace, M. L., Bade, D., ... Schindler, D. E. (2001). Trophic cascades, nutrients, and lake productivity: Whole-lake Experiments. *Ecological Monographs*, 71(2), 163–186.
- Carpenter, S. y Kitchell, J. (1993). *The trophic cascade in lakes. The trophic cascade in lakes*. Great Britain: Univesrity Press.
- Carpenter, S., Kitchell, J. y Hodgson, J. (1985). Cascading Trophic Interactions and Lake Productivity. *BioScience*, 35(10), 634–639.
- Casallas, J. y Gunkel, G. (2001). Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: San Pablo, Ecuador. *Limnetica*, 20(2), 215-232.
- Cervantes, M. (2007). Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México. *Los Ecenarios Acuáticos*, 37–67.
- Código Ogárnico del Ambiente, (2017). Glosario de términos: conservación. Quito, Ecuador. Presidencia de la República del Ecuador.
- Colen, W., Portilla, K., Oña, T., Wyseure, G., Goethals, P., Velarde, E. y Muylaert,

- K. (2017). Limnology of the neotropical high elevation shallow lake Yahuarcocha (Ecuador) and challenges for managing eutrophication using biomanipulation. *Limnológica*, 67, 37–44.
- Conde-Porcuna, J., Ramos-Rodriguez, E. y Morales-Baquero, R. (2004). El zooplankton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos. *Ecosistemas*, 13(2), 23–29.
- Condo, L. y Pazmiño, J. (2015). *Diseño experimental en el desarrollo del conocimiento científico de las ciencias agropecuarias*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Instituto de Investigaciones.
- Crettaz, M. (2018). *Estudio del crecimiento de Microcystis aeruginosa y de la producción de microcystina en cultivo de laboratorio* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de la Plata, Argentina.
- De Manuel Barrabin, J. (2000). The rotiferos of spanish reservoirs: Ecological, systematical and Zoogeographical remarks. *Limnética*, 19(4), 91-166.
- Díaz, A., y Sotomayor, L. (2013). “Evaluación de la eutrofización de la laguna Conococha – Ancash” a agosto de 2012 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", Ancash, Perú.
- Durán, C. (2010). Asistencia técnica para el control de macrófitos: Mejora de la gestión de los embalses del Bajo Ebro. *URS España*, 1-151.
- Elías-Fernández, G., Navarrete-Salgado, A., Fernández-Guzmán, L. y Contreras-Rivero, G. (2006). Crecimiento, abundancia y biomasa de *Poecilia reticulata* en el lago urbano del parque Tezozomoc de la ciudad de México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 2, 155–159.
- Godzdziejewska, A. y Tucholski, S. (2011). Zooplankton of fish culture ponds periodically fed with treated wastewater. *Polish J. Of Enviroment*, 20 (1), 67-79.
- Guo, Y., Liu, Y., Zeng, G., Hu, X., Li, X., Huang, D., Liu, Y. y Yin, Y. (2014). A restoration-promoting integrated floating bed and its experimental perfomance in eutrophication remediation. *Journal of Environmental*

Sciences 26, 1090-1098.

Harris, E. (2001). Chlamydomonas as a Model Organism. *Plant Mol. Biol.*, 52, 363-406.

Hernández, E., Aguirre, J. y Palacio, A. (2011). Relación entre la determinación del pigmento clorofila a y el biovolumen geométrico algal en un lago de planicie de inundación (Ciénafa de Ayapel, Córdoba - Colombia). *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 60, 159-169.

Hilt, S., Alirangues, N., Bakker, E., Blindow, I., Davidson, T., Gillefalk, M.,... Sayer, D. (2018). Response of Submerged Macrophyte Communities to External and Internal Restoration Measures in North Temperate Shallow Lakes. *Frontiers in Plant Science*, (9)194.

Huse, G., Holst, J., Utne, K., Nøttestad, L., Melle, W., Slotte, A., ... Uiblein, F. (2012). Effects of interactions between fish populations on ecosystem dynamics in the Norwegian Sea - results of the INFERNO project. *Marine Biology Research*, 8(5), 415-419.

Jácome, G. (2015). *Propuesta de gestión de los conflictos socioambientales generados por el agua de consumo humano dentro de la microcuenca de la laguna de Yahuarcocha* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

Jeppesen, E., Lauridsen, T. L., Kairesalo, T. y Perrow, M. (1998). Impact of submerged macrophytes on fish-zooplankton interactions in lakes. *Ecological Studies Springer Verlag*, 131, 91-114.

Jeppesen, E., Meerhoff, M., Holmgren, K., González-Bergonzoni, I., Teixeira-de Mello, F., Declerck, S. A. J., ... Lazzaro, X. (2010). Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential effects on ecosystem function. *Hydrobiologia*, 646(1), 73-90.

Jeppesen, E., Søndergaard, M., Lauridsen, T. L., Davidson, T. A., Liu, Z., Mazzeo, N., ... Meerhoff, M. (2012). Biomanipulation as a Restoration Tool to Combat Eutrophication: Recent Advances and Future Challenges.

Advances in Ecological Research, 47, 411-488.

- Krinski, D y Camera, B. (2018). Occasional release of guppy, *Poecilia reticulata* (Cyprinodontiformes, Poeciliidae) in Upper Paraguay River Basin, Mato Grosso State: a new threat to rivers forming the Brazilian Pantanal?. *Brazilian Journal of Biology*, 78(3), 595-596.
- Kottelat, M. y Whitten, T. (1996). *Freshwater biodiversity in Asia, with special reference to fish*. Washington, D.C.: World Bank Tech.
- Lampert, W. y Sommer, U. (2007). *The Ecology in lakes and Streams*. Great Britain: Limnoecology.
- Lopretto, C. y Tell, C. (1995). *Ecosistemas de aguas continentales. Metodologías para su estudio*. La plata, Argentina: Ediciones Sur.
- Mandonx, T. (2014). *Trophic status and phytoplankton ecology of two lakes in northern Ecuador: Yahuarcocha & Mojanda* (Tesis de maestría). Katholieke Universiteit Leuven, Lovaina, Bélgica.
- Maridueña, A., Chalén, N., Coello, D., Cajas, J., Elías, E., Solís-Coello, P., ... Revelo, W. (2003). Mortandad de peces en la laguna de Yahuarcocha, Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura. Febrero 2003. *Boletín Especial*, 02(1), 1–128.
- Martelo, J. y Lara, J. (2012). Macrófitas fotates en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 8(15), 221-243.
- Martigani, F. (2012). *Influencia de la deficiencia por nutrientes en el crecimiento y la producción de toxinas de una cianobacteria invasora* (Tesis de maestría). Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Mazzeo, N., Rodríguez-Gallego, L., Kruk, C., Meerhoff, M., Gorga, J., Lacerot, G., ... García-Rodríguez, F. (2003). Effects of *Egeria densa* planch. beds on a shallow lake without piscivorous fish. *Hydrobiología*, 79, 591–602.
- Meerhoff, M. y Mazzeo, N. (2004) Importancia de las plantas flotantes libres de gran parte en la conservación y rehabilitación de lagos someros de

- Sudamérica. *Ecosistemas*, 2, 55-65.
- Mercado, N. y Suárez, E. (2011). Morfología, diversidad y distribución de los Cyclopoidea (Copepoda) de zonas áridas del centro-norte de México. *I. Cyclopinae. Hidrobiológica*, 21(1), 1-25.
- Miño, C. y Rodríguez, A. (2018). *Evaluación del estado trófico en relación al comportamiento de los parámetros físicos y biológicos del lago San Pablo, Ecuador* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Miranda-Chumacero, G. y Barrera, S. (2005). Riqueza y abundancia de peces en dos lagunas de los Andes tropicales. *Ecología En Bolivia*, 40(2), 41–52.
- Montoya, Y. y Aguirre, N. (2009). State of the art of limnology and flood plain lakes. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 37(8), 680–684.
- Murillo, P., Reta, J. y Sánchez, L. (2004). Cultivo de *Poecilia reticulata* (Pisces: Poeciliidae) en cuerpos de agua tropicales, Veracruz, México. *Biology tropical*, 52(4), 951-958.
- Negrisoni, E., Martins, D., Velini, E. y Ferrera, W. (2003). Degradação de diquat em condições de caixa d'água com e sem Plantas de Egéria. *Planta Daninha*, 21, 93–98.
- Nugra, F. (2014). *Caracterización de la ictiofauna dentro la sub Cuenca del río Llaviuco* (Tesis de maestría). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- O'Sullivan, P. y Reynolds, C. (2004). *The lakes handbook. Limnology and limnetic ecology*. Australia: Blackwell.
- Ochoa, M. E. (2017). *Evaluación del crecimiento de cianobacterias en relación a los parámetros físico-químicos del agua en el lago Yahuarcocha* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Overgård, M., Risholt, C., Lauridsen, T., Søndergaard, M., Grønkjær, P., Jacobsen, L., ... Jeppesen, E. (2009). Restoring lakes by using artificial plant beds:

- Habitat selection of zooplankton in a clear and a turbid shallow lake. *Freshwater Biology*, 54, 1520 - 1531.
- Pabón, J. (2015). *Distribución y evaluación de la vegetación macrofítica en el lago de Yahuarcocha, provincia de Imbabura* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Palma, D. (2005). *Cómo elaborar propuestas de investigación* (Tesis de postgrado). Universidad pedagógica de Bogota, Bogota, Colombia.
- Portilla, K. (2015). *Evaluación del comportamiento de los parámetros físicos del agua, para determinar el estado trófico del lago Yahuarcocha, provincia Imbabura* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- República del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador 2008. Quito: Registro Oficial 449
- Reynolds, C. (2006). *Ecology of Phytoplankton*. United States of America: Cambridge University Press.
- Rice, E., Baird, R., Eaton, A. y Clesceri, L. (2012). *Standard Methods: For the examination of water and wastewater*, 22nd edition.
- Saelens, P. (2015). *Ecological functioning of a eutrophic, high-altitude shallow lake in Ecuador, Laguna Yahuarcocha* (Tesis de maestría). Katholieke Universiteit Leuven, Bélgica.
- Song, H., Li, X., Li, W. y Lu, X. (2014). Role of biologic components in a novel floating-bed combining *Ipomoea aquatic*, *Corbicula fluminea* and biofilm carrier media. *Front Environment Scienc English*, 8(2), 215-225.
- Sosa, R., Gaxiola, G., Olivos, A. y Silva, L. (2013). Nutrientes inorgánicos y producción del fitoplancton en una laguna costera subtropical de México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 48(1), 143-154.
- Steinitz-Kannan, M., Colinvaux, P. y Kannan, R. (1983). Limnological studies in Ecuador: 1. A survey of chemical and physical properties of Ecuadorian

lakes. *Hydrobiologie*, 1-45. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/315703437_Limnological_studies_in_Ecuador_1_A_survey_of_chemical_and_physical_properties_of_Ecuadorian_lakes

Steinitz-Kannan, M. (1997). The Lakes in Andean Protected Areas of Ecuador. *The George Wright Forum*, 14 (3), 33–43.

Stucken, K., Murillo, A., Fuentes, J., John, U., Vasquez, M. y Cembella, A. (2008) *Are *Cylindrospermopsis* and *Raphidiopsis* indeed different genera from *Cyanobacteria*?. Australia.*

Terneus, E. (2014). Vegetación acuática y estado trófico de las lagunas andinas de San Pablo y Yahuarcocha, Provincia de Imbabura, Ecuador. *Revista Ecuatoriana De Medicina Y Ciencias Biológicas*, 2, 121–131.

Trujillo, A. y Arroyo, E. (1991). Análisis de la mortalidad y esperanza de vida de *Acartia californiensis* Trinast (copepoda: calanoida) bajo condiciones de laboratorio. *Ciencias Marinas*, 17(4), 11-18.

UNESCO. (2009). *Cianobacterias Planctónicas del Uruguay*.

Villabona, L., Aguirre, N. y Estrada, L. (2011). Influencia de las macrófitas sobre la estructura poblacional de rotíferos y microscrustráceos en un plano de inundación tropical. *Revista Biológica Tropical*, 59(2), 853-870.

Wetzel, R. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. <https://doi.org/10.1063/1.3224729>

Wehr, J. y Sheath, R. (2003). *Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification*. United States of America: Journal of Experimental Psychology: General.

Yeh, N., Yeh, P. y Chang, Y. (2015). Artificial floating islands for environmental improvement. *Elsevier*, 47, 616-622.

ANEXO 1: REGISTRO FOTOGRÁFICO



Anexo 1.1 Colocación de los mesocosmos cerca del lago Yahuarcocha



Anexo 1.2 Captura de la especie *Poecilia reticulata* en el lago Yahuarcocha



Anexo 1.3 Captura de zooplancton para los mesocosmos



Anexo 1.4 Ubicación de los componentes bióticos en los mesocosmos



Anexo 1.5 Extracción de clorofila de los mesocosmos



Anexo 1.6 Colaboración de los bomberos y estudiantes de la carrera RNR

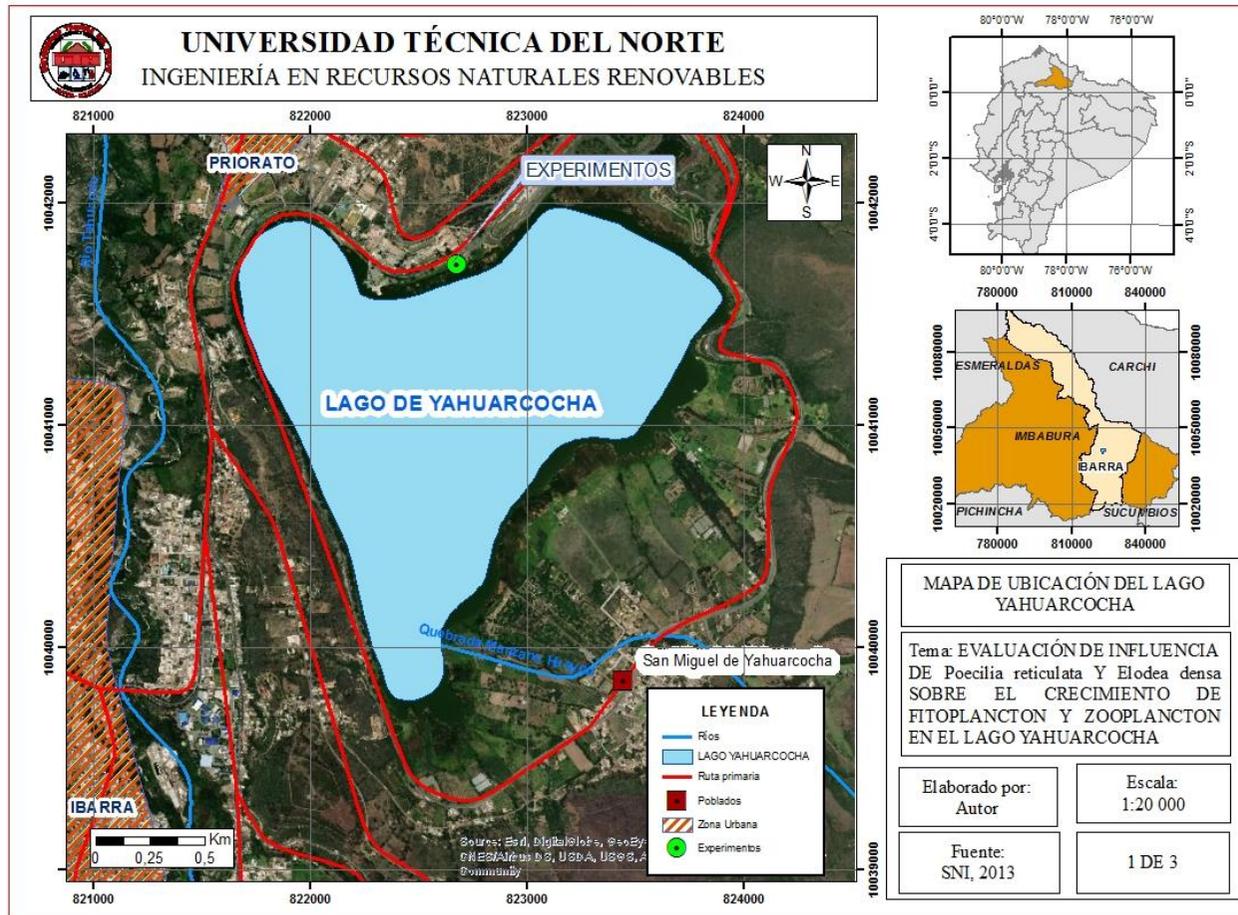


Anexo 1.7 Monitoreos realizados para el año 2018 en el lago Yahuarcocha

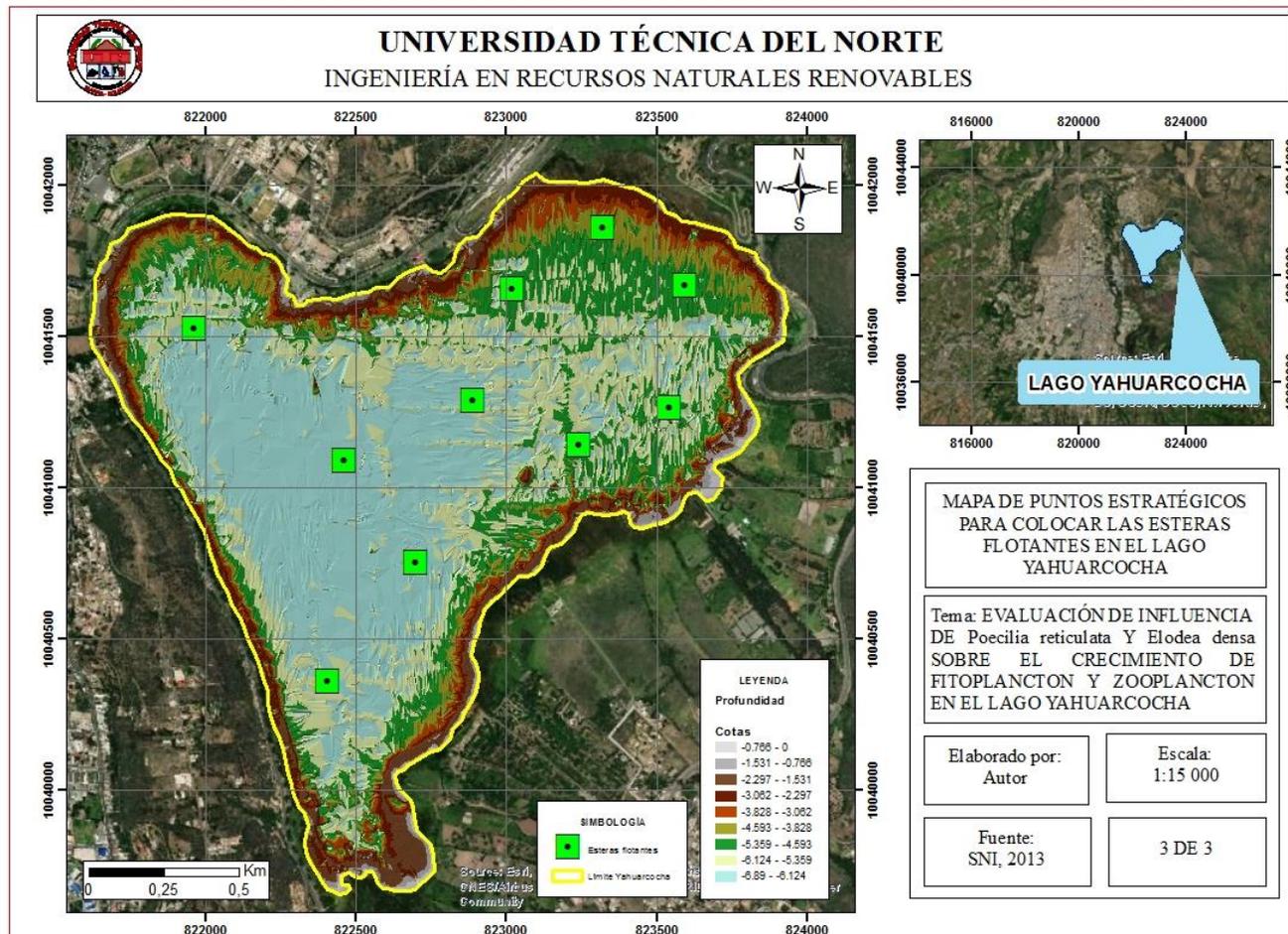


Anexo 1.8 Trabajo en distintos lagos para la Red VLIR-UOS

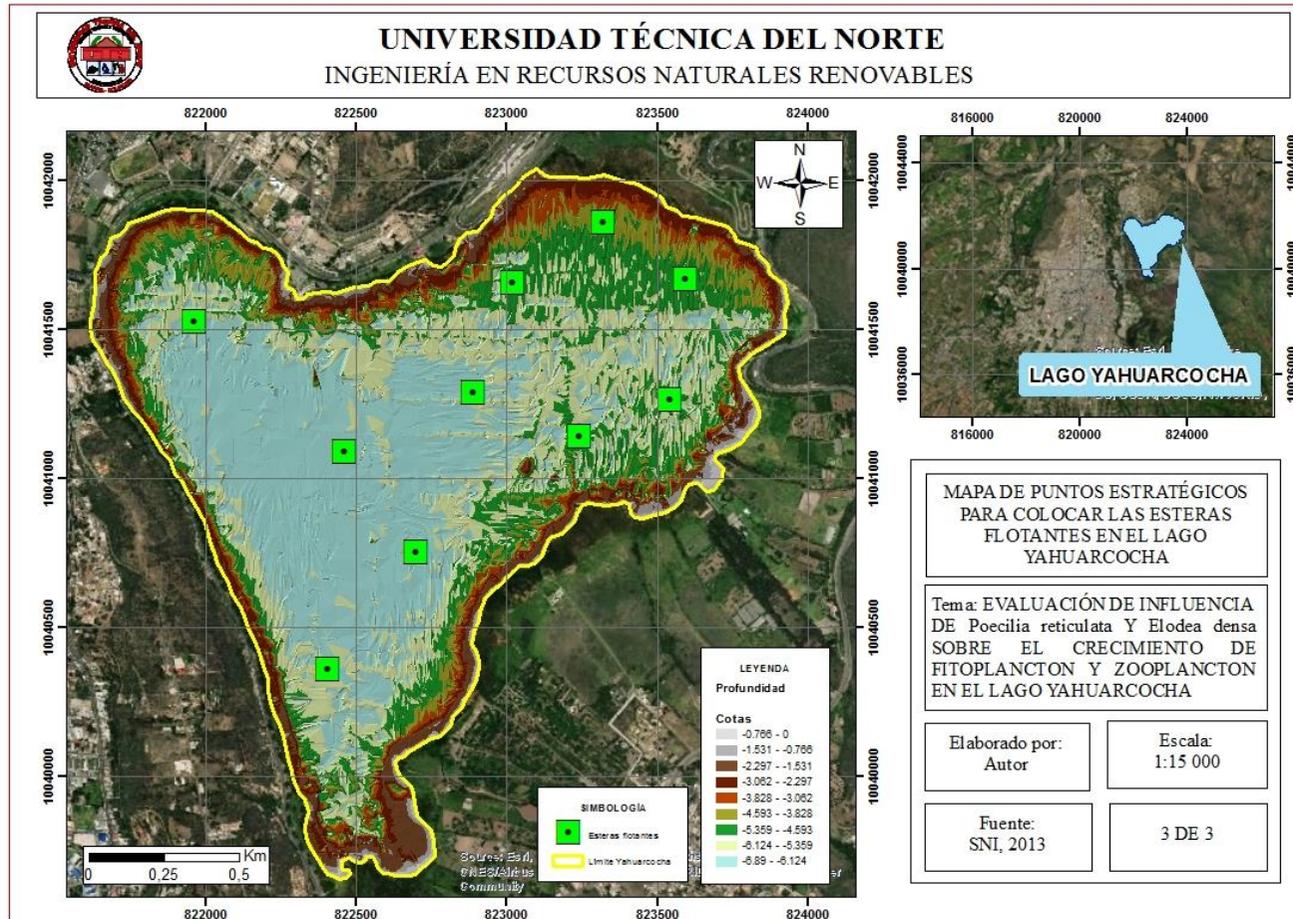
ANEXO 2: MAPAS



Anexo 2.1 Mapa de ubicación del lago Yahuarcocha



Anexo 2.2 Mapa de puntos de muestreo de peces en el lago Yahuarcocha



Anexo 2.3 Mapa de puntos estratégicos para colocar las esteras flotantes en el lago Yahuarcocha