



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

“PASTOREO DEL MESOZOOPLANCTON SOBRE EL FITOPLANCTON EN
EL LAGO YAHUARCOCHA, PROVINCIA IMBABURA”

Tesis previa a la obtención del Título de

Ingeniero (a) en Recursos Naturales Renovables

AUTOR (A)

Astudillo Sánchez Juana Elizabeth

DIRECTOR (A):

MSc. Elizabeth Velarde

Ibarra – Ecuador

2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

ESCUELA DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“PASTOREO DEL MESOZOOPLANCTON SOBRE EL FITOPLANCTON EN
EL LAGO YAHUARCOCHA, PROVINCIA IMBABURA”

Tesis revisada por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como requisito parcial
para obtener el Título de:

INGENIERO (A) EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

MSc. Elizabeth Velarde

DIRECTOR (A):

MSc. Tania Oña

ASESOR (A):

MSc. Sania Ortega

ASESOR (A):

MSc. Paul Arias

ASESOR:

Ibarra – Ecuador

2018



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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar a los procesos de investigación, docencia y extensión de la academia.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para la cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD	1722582762
APELLIDOS Y NOMBRES	Astudillo Sánchez Juana Elizabeth
DIRECCIÓN	San Roque- Calle Bolívar y Primavera
EMAIL	elijeas@gmail.com
TELÉFONO FIJO	

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	“PASTOREO DEL MESOZOOPLANCTON SOBRE EL FITOPLANCTON EN EL LAGO YAHUARCOCHA, PROVINCIA IMBABURA”
AUTORA	Astudillo Sánchez Juana Elizabeth
FECHA	21.05.2018
PROGRAMA	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR	MSc. Elizabeth Velarde


2. AUTORIZACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Juana Elizabeth Astudillo Sánchez, con cédula de identidad Nro. 172258276-2, en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de titulación descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio digital institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.


3. CONSTANCIAS

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

AUTOR:


.....
Juana Elizabeth Astudillo Sánchez
C.I. 172258276-2

ACEPTACIÓN:


.....
Ing. Betty Chávez
JEFE DE BIBLIOTECA

Ibarra, a los 21 días del mes de mayo del 2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A FAVOR
DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **Juana Elizabeth Astudillo Sánchez**, con cédula de identidad Nro. **172258276-2**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados a la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4,5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de titulación denominado; “PASTOREO DEL MESOZOOPLANCTON SOBRE EL FITOPLANCTON EN EL LAGO YAHUARCOCHA, PROVINCIA IMBABURA”, que ha sido desarrollado para obtener el título de **Ingeniera en Recursos Naturales Renovables** en la Universidad Técnica del Norte, quedando dicha entidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En consecuencia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 21 días del mes de abril del 2018

AUTOR:

Juana Elizabeth Astudillo Sánchez

C.I. 172258276-2

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 21 días del mes de mayo de 2018

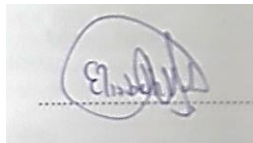
ASTUDILLO SÁNCHEZ JUANA. ELIZABETH. “PASTOREO DEL MESOZOOPLANCTON SOBRE EL FITOPLANCTON EN EL LAGO YAHUARCOCHA, PROVINCIA IMBABURA”.

TRABAJO DE TITULACIÓN. Ingeniera en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Ibarra. EC.

DIRECTORA: Velarde, Elizabeth.

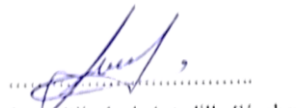
La determinación del pastoreo del mesozooplancton sobre el fitoplancton del lago Yahuarcocha permite conocer la interrelación que existe entre los primeros niveles de la cadena trófica, con el fin de proponer estrategias de control y manejo para mejorar el estado ecológico del lago.

Fecha: 21 de mayo de 2018



MSc Elizabeth Velarde

Directora de Tesis



Elizabeth Astudillo

Autora

PRESENTACIÓN

Yo, JUANA ELIZABETH ASTUDILLO SÁNCHEZ como autora del trabajo de titulación de tema “PASTOREO DEL MESOZOOPLANCTON SOBRE EL FITOPLANCTON EN EL LAGO YAHUARCOCHA, PROVINCIA IMBABURA”, me hago responsable de los resultados, discusión, conclusiones y recomendaciones; y pongo este documento a disposición de los fines académicos para estudiantes de la academia.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, por haberme brindado la oportunidad de hacer uso de sus instalaciones.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales quienes guiaron, enseñaron y brindaron sus consejos de una forma ética y profesional:

A la MSc. Elizabeth Velarde, ejemplo de mujer y madre emprendedora, quien con su cariño, dedicación y consejos fue guía durante mi periodo de formación profesional. A la MSc. Tania Oña, mujer fuerte y luchadora, quien con su amistad, profesionalismo y consejos, ha apoyado mi formación universitaria y al mismo tiempo compartido varios logros profesionales. A la MSc. Sania Ortega, mujer inteligente quien con su aporte profesional guio mi proyecto de titulación. Al MSc. Paul Arias, por su apoyo, amistad y bondad en el momento de instruirme.

Al proyecto “Manejo Sostenible de los lagos del norte del Ecuador bajo las crecientes actividades económicas y el cambio climático” de la Universidad Técnica del Norte y VLIR-UOS Bélgica y su equipo técnico LABINAM quienes apoyaron y asistieron con los recursos humanos y económicos necesarios para el cumplimiento de mi trabajo de titulación.

Al equipo técnico LABINAM: Erika, Diego, Kevin, Malqui, Lenin, Vanesita, Jorge, Karen, Cristina les agradezco por su apoyo, buena voluntad y amistad.

Al Prof. Koenraad Muylaert quien me brindo nuevas oportunidades y gracias a su confianza guío y apoyó con todos los recursos para el desarrollo de la investigación.

Al Dr. Nelson Gallo, quien con su bondad y paciencia aportó para el correcto desarrollo del trabajo de titulación.

A mis amigos Andrea R., María Elena O., Gaby E., Wendy F., Byron A. y Cristian V., quienes han demostrado ser amigos únicos y especiales, que brindaron su apoyo desinteresadamente, les agradezco su amistad en mi proceso de formación profesional.

A mi hermosa familia por su amor y apoyo incondicional ya que son mi fuente de fuerza y energía para cumplir todas mis metas propuestas.

DEDICATORIA

Este logro, es el reflejo de mi esfuerzo y dedicación que gracias a la fe que me inculco mi familia por dios lo he finalizado y de esta manera le dedico este el fruto de mi esfuerzo a mi madre Patricia y padre Franklin, quienes han luchado y guiado para formar una persona de bien. A mis hermanos Dabor, Daniela, Raquel, Samanta, María José, por ser la fuente de energía para seguir esforzándome día a día. Además, dedico este trabajo a mis tíos y tías, quienes me han brindado su amor y consejos.

Elizabeth Astudillo

RESUMEN

El lago Yahuarcocha es un ecosistema acuático eutrofizado, debido a la carga de nutrientes por las actividades antrópicas desarrolladas en la microcuenca, se ha evidenciado cambios en la cadena trófica como las floraciones de algas y la muerte de peces reportada en el año 2016 y 2017. Así surge la necesidad de conocer la relación entre los consumidores y productores en el lago, se planteó como objetivo determinar el pastoreo del mesozooplankton sobre el fitoplancton del lago. Se caracterizó la composición del zooplankton para colocar los bioensayos según la densidad de individuos por litro en el lago, evaluada al cuantificar los cambios en la clorofila *a*. Además, para el establecimiento de estrategias se implementó bioensayos de prueba para plantear una propuesta de biomanipulación para mejorar la calidad de agua. El pastoreo de mesozooplankton fue negativo, con un promedio de -297%. La prueba de ANOVA muestra que el bioensayo dos, tres y cuatro fueron estadísticamente significativos con p-value inferior al 0.05. En el caso de los experimentos de prueba, solo el tratamiento dos del bioensayo 4 que contiene individuos de mayor tamaño presenta significancia estadística. A partir de los resultados se determina que existe presión alimentaria sobre el fitoplancton, a pesar de haberse obtenido en su mayoría valores negativos. En los tratamientos el fitoplancton crece en tal cantidad que supera al que puede ser consumido por el zooplankton. Además al variar la población existen cambios en la biomasa algal consumida, lo que permitió plantear una propuesta de biomanipulación que recomienda seguir implementando bioensayos considerando la población biótica del lago.

ABSTRACT

Yahuarcocha lake is an aquatic eutrophized ecosystem due to the load of nutrients from anthropogenic, developed in the micro-basin causing changes in the trophic chain such as algae blooms and fishes death which were reported in recent years. Thus, there is a need to know the relationship between zooplankton and phytoplankton in the lake. The focus of this study is to determine the grazing of mesozooplankton on phytoplankton. In order to conduct the experiments, the zooplankton composition was estimated, then the treatments were prepared according to the density of individuals per liter in the lake, which was evaluated by quantifying changes in chlorophyll a. In addition, for the establishment of strategies, tests were implemented to propose a biomanipulation proposal to improve water quality. The mesozooplankton grazing was negative, the average was -297%. The ANOVA test shows that bioassay two, three and four were statistically significant with p-value less than 0.05. In the case of the experiments test, only treatment two of bioassay 4 containing larger individuals has statistical significance. From the results it is determined that there is food pressure on the phytoplankton, despite having obtained mostly negative values, since the phytoplankton grows in an amount that exceeds that which can be consumed by the zooplankton. Also, through the tests carried out, it is observed that when the population varies there is a possible change in the biomass consumed algae, which can be used to establish a biomanipulation proposal where the experiments will continue considering the lake's biotic population.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	x
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	4
1.1.1. Objetivo general.	4
1.1.2. Objetivos específicos.....	4
1.2. Hipótesis de la investigación.....	4
CAPÍTULO II	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1. Ecosistemas acuáticos	5
2.1.1. Lagos	5
2.1.2. Componente biótico	6
2.1.3. Fitoplancton.....	8
2.1.4. Floraciones de algas	9
2.1.5. Zooplancton.....	9
2.1.5.1. Cladóceros	11
2.1.5.2. Copépodos	11
2.1.5.3. Rotíferos.....	12
2.1.6. Pastoreo de mesozooplanton	12
2.1.7. Las estrategias de manejo y control.....	14
2.1.8. Biomanipulación	15
2.1.9. Marco legal.....	16
CAPÍTULO III.....	18
3. MARCO METODOLÓGICO	18
3.1. Descripción del área de estudio	18
3.2. Materiales y métodos	20
3.2.1. Materiales	20
3.2.2. Métodos	20

3.3.	Determinación de niveles de clorofila <i>a</i> de fitoplancton	21
3.3.1.	Medición de pigmento (clorofila <i>a</i>).....	21
3.4.	Cálculo de pastoreo de mesozooplancton	22
3.4.1.	Muestra cuantitativa de zooplancton.....	22
3.4.2.	Análisis cuantitativo de muestras de zooplancton.....	23
•	Selección de individuos para tratamientos.....	24
•	Bioensayo <i>in situ</i>	24
3.4.3.	Preparación de tratamientos para bioensayos.....	24
3.4.4.	Colocación de los bioensayos en el lago	26
3.4.5.	Tratamientos para bioensayos	27
3.4.6.	Medición de clorofila <i>a</i> en los bioensayos	28
3.4.7.	Diseño estadístico.....	28
3.4.7.1.	Consideraciones aplicadas para cada bioensayo.....	29
3.4.8.	Fórmulas de pastoreo de mesozooplancton.....	30
3.5.	Estrategias de control y manejo	31
3.5.1.	Bioensayos de prueba.....	31
3.6.	Consideraciones bioéticas	34
CAPÍTULO IV.....		35
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1.	Determinación de niveles de clorofila <i>a</i> de fitoplancton	35
4.2.	Pastoreo de mesozooplancton	36
4.2.1.	Comunidad zooplanctónica	36
4.2.2.	Características de la comunidad zooplanctónica del Lago Yahuarcocha.....	37
4.2.3.	Abundancia de la comunidad zooplanctónica	39
4.2.4.	Densidad de la comunidad de zooplancton	42
4.2.5.	Selección de individuos para tratamientos	44
4.2.6.	Crecimiento del fitoplancton en bioensayos	45
•	Bioensayo 1	45
•	Bioensayo 2	46
•	Bioensayo 3	47
•	Bioensayo 4	48

4.2.7.	Análisis de datos de pastoreo según la densidad de mesozooplancton ...	48
4.2.8.	Pastoreo de mesozooplancton.....	50
4.3.	Propuestas de manejo y control.....	54
4.3.1.	Pruebas de prueba.....	55
	• Bioensayo 5	55
	• Bioensayo 6	56
	• Bioensayo 7	56
	• Bioensayo 8	57
	• Bioensayo 9	58
4.3.2.	Análisis de datos de los bioensayos de prueba.....	59
4.3.3.	Propuesta de manejo y control	61
CAPÍTULO V		67
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
5.1.	Conclusiones	67
5.2.	Recomendaciones.....	69
REFERENCIAS.....		70
ANEXOS		77

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 1. Características del Lago Yahuarcocha.....	18
Tabla 2. Lista de materiales, equipos, reactivos y software.....	20
Tabla 3. Tratamientos aplicados en el bioensayo uno y dos la época ecológicamente lluviosa.	27
Tabla 4. Tratamientos aplicados en bioensayo 3 y 4 en la época ecológicamente seca.....	28
Tabla 5. Bosquejo de Análisis de ANOVA	29
Tabla 6. Tratamientos aplicados en bioensayos de prueba 5 y 6 en la época ecológicamente lluviosa.	32
Tabla 7. Tratamientos aplicados en bioensayos de prueba 7 y 8 en la época ecológicamente seca.....	33
Tabla 8. Tratamientos aplicados en el bioensayo 9 en la época ecológicamente lluviosa.	33
Tabla 9. Taxonomía de los organismos de la comunidad zooplanctónica del lago	37
Tabla 10. Densidad de individuos de mesozooplancton del lago Yahuarcocha ...	44
Tabla 11. Bosquejo de análisis de ANOVA del bioensayo uno, dos, tres y cuatro	49
Tabla 12. Tasa de pastoreo del bioensayo uno, dos, tres y cuatro	50
Tabla 13. Tasa de pastoreo de mesozooplancton del lago	51
Tabla 14. Tasa de filtración de mesozooplancton del lago.	52
Tabla 15. Tasa de ingesta de mesozooplancton del lago.	53
Tabla 16. Tasa de crecimiento de fitoplancton de mesozooplancton del lago.....	53
Tabla 17. Porcentaje de fitoplancton consumido de mesozooplancton del lago...	54
Tabla 18. Bosquejo de análisis de ANOVA de los bioensayos 5, 6, 7, 8 y 9.	60
Tabla 19. Análisis F. O. D. A.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de clasificación ecológica de organismos de agua dulce	7
Figura 2. Características generales de los grupos de zooplancton	10
Figura 3. Esquema general de las interacciones biológicas que implican al zooplancton	15
Figura 4. Mapa de ubicación del Lago Yahuarcocha.....	19
Figura 5. Toma de muestras para medición de clorofila a.....	21
Figura 6. Colecta de muestras con Trampa Schidler Patalas 30 litros	22
Figura 7. Muestra mensual de zooplancton.....	23
Figura 8. Cuantificación de zooplancton ^(a) , Campo óptico de muestras ^(b)	24
Figura 9. Colecta de muestras vivas de mesozooplancton	25
Figura 10. Captura y separación de tratamientos	25
Figura 11. Estructura metálica con botellas de los bioensayos	26
Figura 12. Clorofila a in vivo del Lago Yahuarcocha desde el periodo 2014 a 2017	35
Figura 13. Clorofila a in vivo del Lago Yahuarcocha del periodo de estudio.	36
Figura 14. Especies de la clase taxonómica Rotatoria: Keratella spp. ^(a) , Poliartha spp. ^(b) , Brachionus angularis ^(c) , Asplanchna spp. ^(d) , Ascomorpha ecaudis ^(e) , Filinia spp. ^(f) , Colotheca spp. ^(g) y Ascomorpha saltans ^(h)	38
Figura 15. Especies de la clase taxonómica Copépoda: Acanthocyclops spp. ^(a) , Nauplii cyclopoide. ^(b)	39
Figura 16. Especies de la clase taxonómica Brachiopoda: Daphnia spp. ^(a) , Bosmina spp. ^(b) , Chydorus spp. ^(c)	39
Figura 17. Densidad de la comunidad zooplanctónica del lago.....	40
Figura 18. Abundancia relativa de zooplancton del lago Yahuarcocha	41
Figura 19. Densidad de individuos de la clase Rotatoria del lago.	42
Figura 20. Densidad de individuos de la clase Copépoda del lago.....	43
Figura 21. Densidad de individuos de la clase Brachiopoda del lago.....	43
Figura 22. Género Acanthocyclops ^(a) , Género Daphnia ^(b)	45
Figura 23. Resultados del bioensayo uno, con los tratamientos T1 y T2 aplicados en marzo.....	46

Figura 24. Resultados del bioensayo dos, con los tratamientos T1 y T2 aplicados en abril.....	47
Figura 25. Resultados del bioensayo tres, con los tratamientos T1 y T1 en agosto.	47
Figura 26. Resultados del bioensayo cuatro, con los tratamientos T1 y T2 en septiembre.	48
Figura 27. Resultados del bioensayo quinto, con los tratamientos T1 y T2 en marzo.....	55
Figura 28. Resultados del bioensayo sexto, con los tratamientos T1 y T2 en abril.	56
Figura 29. Resultados del bioensayo séptimo, con los tratamientos T1 y T2 en agosto	57
Figura 30. Resultados del bioensayo octavo, con los tratamientos T1 y T2 en septiembre.	58
Figura 31. Resultados del bioensayo nueve, con los tratamientos T1 y T2 en octubre.....	59
Figura 32. Representación esquemática de la habilidad de zooplancton para controlar el fitoplancton.	61
Figura 33. Colecta de muestra de zooplancton.	64
Figura 34. Estructura con bioensayos listo para colocar en el lago.	65

CAPÍTULO I

El presente capítulo se presenta las referencias de la revisión de literatura, incluye marco teórico, marco legal y estado del arte, utilizado como sustento para obtener los resultados y su respectiva discusión.

1. INTRODUCCIÓN

La provincia de Imbabura es conocida como la provincia de los lagos que se caracteriza por la riqueza en recursos hídricos, debido al número de sistemas lacustres que posee. Uno de los lagos presentes es Yahuarcocha, que según Steiniz (1979) y Portilla (2015), presenta un estado ecológico que va de eutrófico con tendencia a hipertrófico, las afectaciones a los sistemas lacustres se da en su mayoría por las actividades agrícolas, resultando estas las principales aportantes de nutrientes por medio del arrastre de suelo hacia la cubeta del lago, como lo determinó Sosnovsky y Quiróz (2006), además el uso de fertilizantes en las áreas con un intensivo uso agrícola pueden afectar el estado trófico de los cuerpos de agua.

Por ende, en el componente biológico se observa los cambios a consecuencia del proceso de eutrofización, los microorganismos de un lago están compuestos por el fitoplancton, que se caracteriza por ser el grupo productor de carbono orgánico en la zona pelágica, estos organismos pueden caracterizarse con fenómenos como los “blooms de algas”. Estas floraciones de algas en los sistemas lenticos se manifiestan como un desequilibrio en los ciclos de los ecosistemas acuáticos, (Sigeo, 2005) y Klemas (2012), determinan que pueden afectar dependiendo de las especies que se

presenten, como algunas cianobacterias, por la presencia de toxinas, que aún en concentraciones bajas pueden afectar a la salud. Otra consecuencia de estos cambios es que puede causar la muerte de otras especies, por ejemplo eventos de mortandad de peces en los años 2016 y 2017, en el lago Yahuarcocha.

El zooplancton también forma parte de la cadena trófica considerado como el predador natural del fitoplancton según Conde *et al.* (2004) y Hernández *et al.* (2007), quienes además establecen que existe un control sobre las concentraciones de clorofila *a*. Según Cabrera (2015), el lago Yahuarcocha presenta altas concentraciones biomasa en individuos de distintos órdenes como Brachiopoda, Copépoda y Rotatoria, estos microorganismos están estrechamente relacionados con el fitoplancton como lo menciona Conde *et al.* (2004). De tal manera que surge la necesidad de conocer la funcionalidad de estos. Por lo tanto, conocer la función que ejerce el segundo eslabón de la cadena trófica de un lago proporcionaría sistemas de manejo de las comunidades (Gophen, 1990).

La contaminación de los recursos naturales se ha visto reflejado en la pérdida de biodiversidad como consecuencia grave del deterioro de los ecosistemas acuáticos (RAPAL, 2010), además, FMCN, FMCEA y FEP, (2010), menciona que la contaminación de lagos, ríos, estanques y humedales a menudo se traduce en la pérdida irremediable de especies de distribución muy restringida que allí habitan. Un río, estanque o lago contaminado se puede convertir en un foco de infección para la población que lo rodea, con impactos sobre las personas más necesitadas y vulnerables.

La mayoría de los estudios en lagos se basa en parámetros físicos y biológicos, dentro de los biológicos se encuentran el fitoplancton, zooplancton y macroinvertebrados, los que representan los primeros niveles de traspaso de carbono y energía. Así la composición específica del zooplancton puede ser un excelente criterio para caracterizar el estado trófico de los sistemas acuáticos, deducir la estructura de las comunidades acuáticas y el impacto o presión que ejerce

la comunidad zooplanctónica sobre el fitoplancton o las relaciones zooplancton-fitoplancton (Conde, Ramos y Morales, 2004).

El zooplancton en sistemas lénticos ha sido estudiado alrededor del mundo, especialmente su distribución y abundancia, como lo menciona (Pantaleón, Aceves y Castellanos, 2005). En lo que se refiere a la relación existente entre el zooplancton y fitoplancton se ha experimentado con bioensayos sometidos a distintas condiciones, como aumento de nutrientes (fósforo y nitrógeno), un número limitado de géneros de cladóceros y copépodos, mimas que proporcionan información del control del segundo eslabón de la cadena trófica en un lago (Turner y Graneli 1991).

Los resultados aplicando mesocosmos o bioensayos sobre el impacto alimentario o pastoreo de especies como copépodos Calanoidea, cladóceros de la familia Daphnidae en los trabajos de Mauchline, (1988); Mayzaud, (2002); Frederiksen *et al.*, (2006) y Giraldo (2014), variaron según el ecosistema en el que lo implementaron. En México Hernández *et al.* (2007), obtuvo una tasa del 17 % de pastoreo en la Bahía de la Paz, aplicando bioensayos con distintas cantidades de mesozooplancton.

En Ecuador Cabrera (2015), estudió la distribución espacial y temporal en el lago Yahuarcocha, determinando que la población de la comunidad zooplanctónica del lago se encuentra en similares cantidades en toda la columna de agua.

Las investigaciones llevadas a cabo por Blomme (2013) y Mandonx (2013), en la provincia de Imbabura, en los lagos de Mojanda y Yahuarcocha en una nueva etapa, proporcionaron información general limnológica y ecológica de zooplancton y fitoplancton, empleando bioensayos *in situ*. De similar manera Cabrera, (2015); Caicedo (2015) y Portilla (2015), aportan con relaciones existentes entre los parámetros físico químicos y el estado trófico del lago y la distribución espacial del fitoplancton y zooplancton de los lagos en estudio.

Según Cooke (1986), la mejor alternativa de manejo que se sugiere para mejorar la calidad de agua de un lago se puede llevar a cabo al conocer la relación zooplancton-fitoplancton, por ende se justifica la necesidad de estudiar el pastoreo del mesozooplancton sobre el fitoplancton en el lago.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general.

Determinar el pastoreo del mesozooplancton sobre el fitoplancton en el Lago Yahuarcocha.

1.1.2. Objetivos específicos.

- Analizar los niveles de clorofila *a* en el lago Yahuarcocha durante febrero 2016 a marzo de 2017.
- Calcular el pastoreo del mesozooplancton sobre el fitoplancton en el lago Yahuarcocha.
- Establecer estrategias de control y manejo del mesozooplancton sobre el fitoplancton en el Lago Yahuarcocha.

1.2. Hipótesis de la investigación

Para el presente estudio se propuso una hipótesis alternativa la que se menciona a continuación:

- El mesozooplancton ejerce pastoreo sobre el fitoplancton del lago Yahuarcocha.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

En esta sección se encuentra los contenidos básicos de los sistemas acuáticos lénticos, documentos, artículos, libros e investigaciones que permitieron interpretar los resultados.

2.1. Ecosistemas acuáticos

Según Cervantes (1994), las aguas que se encuentran distribuidas en los continentes son considerados ecosistemas acuáticos, las cuales se pueden clasificar de manera general como sistemas lóticos y lénticos. Las aguas corrientes como ríos son lóticos y los comparados con aguas estancadas como pantanos, lagos, humedales y estanques son lénticos. Gómez (2005) menciona que este tipo de ecosistemas dulceacuícolas constituyen un hábitat donde viven y se desarrollan una variedad de seres vivos que dependen del agua para su subsistencia.

2.1.1. Lagos

Son ecosistemas acuáticos andinos considerados como esenciales para el funcionamiento de las pequeñas cuencas hidrográficas (Caziani y Derlindati, 1999). Uno de los componentes de un lago, son los factores bióticos que son considerados como la parte viva. Categorizada en tres grupos, los productores o

fotosintetizadores, los consumidores o animales acuáticos y los descomponedores (Roldan y Ramírez, 2008).

Cervantes (1994), conceptualiza que los lagos “Son cuerpos de agua naturales de condiciones lénticas (estancadas) y cuyo origen es continental; sin comunicación directa con el mar, generalmente son grandes, con más de 8 m de profundidad y constituyen masas de agua permanentes que se depositan en una depresión del terreno (cuenca lacustre). Steinitz (1997) considera que los lagos también se pueden clasificar según la altura a la que se ubican, los que están a más de 2000 m.s.n.m. son lagos de alta montaña como los que se encuentran a lo largo de región interandina. Otra forma de clasificar los lagos es según el estado trófico o por la productividad reflejada en la abundancia y diversidad de organismos; estos pueden ser ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipertrófico, siendo ultraoligotrófico el de menos productividad e hipertrófico con la más alta (Martínez y Madroñero, 2015).

2.1.2. Componente biótico

En el caso de lagos, los organismos se encuentran en la zona pelágica o de aguas abiertas (Figura 1), está constituida por varias comunidades de neuston, perifiton, necton y haciendo énfasis en el plancton los organismos más estudiados son las comunidades de fitoplancton y zooplancton (Lampert y Sommer, 2007; Reynolds, 1997 y Marcano, 2005).

Las interacciones entre los organismos acuáticos se puede reflejar al momento en el que se alimentan, ya que es la vía por la cual la materia y la energía pasan de un nivel trófico inferior a uno superior (Bamstedt et al., 2000).

Gómez (2005), también clasifica al componente biótico según las características ecológicas de los organismos de agua dulce, las condiciones químicas y físicas del medio acuático que determinan el tipo de organismos que viven en este medio,

siendo la sistematización que presenta la siguiente: plancton, necton, bentos, neuston, seston y perifiton. En el caso del plancton menciona que comprende a los organismos que viven suspendidos en las aguas y que carecen medios de locomoción, el necton lo caracteriza como organismos capaces de nadar libremente y por trasladarse de un lugar a otro. A los bentos los describe como organismos que viven en el fondo o fijos a él y por lo tanto depende de este para su subsistencia. El neuston es el grupo al que pertenecen los organismos que nadan o caminan sobre la superficie del agua, el seston corresponde a los organismos considerados vivientes y no vivientes que flotan sobre las aguas y el perifiton son organismos vegetales y animales que se adhieren a los tallos y hojas de plantas con raíces fijas a los fondos.

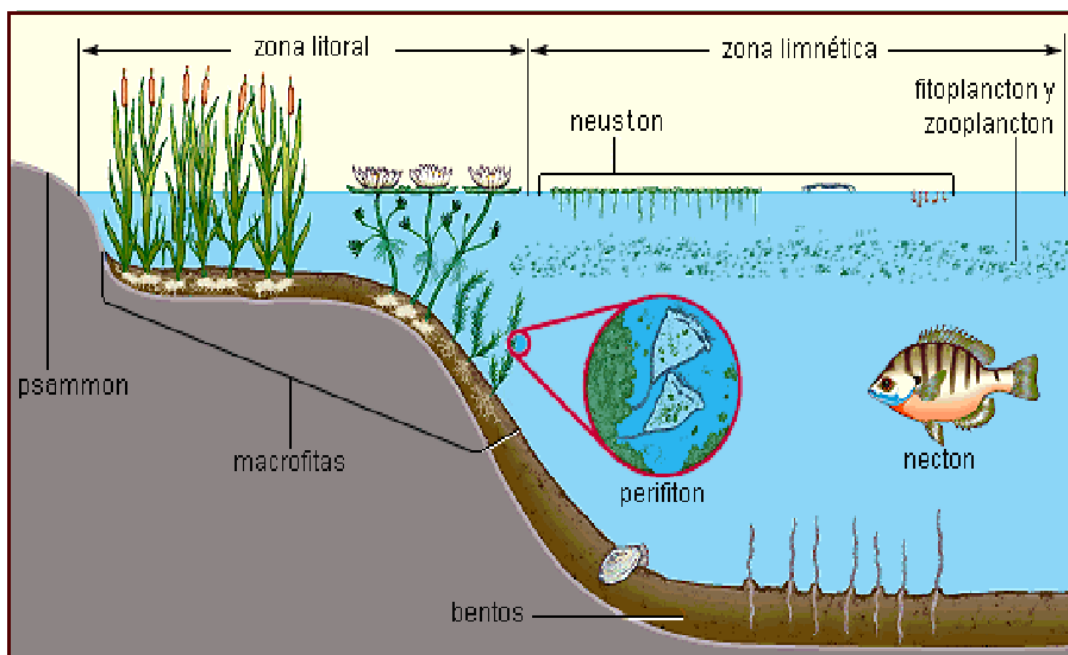


Figura 1. Esquema de clasificación ecológica de organismos de agua dulce
Fuente: (Marcano, 2005)

En los lagos altoandinos el zooplancton se considera como un indicador biogeográfico (Mulahueser y Vila, 1987), como por ejemplo en los países sudamericanos los cuerpos lacustres con alto nivel de eutrofización y de poca profundidad se caracterizan por la composición taxonómica. La biomasa es dependiente de la fauna ictiológica y avifauna presentes debido a la carga de nutrientes que estos aportan; el caudal de agua que ingresa en el cuerpo lacustre

también aporta con fosfatos y nitratos de la microcuenca (Echaniz, Vignatti y Cabrera, 2009).

En los lagos eutróficos la diversidad de especies de zooplancton y la tasa de reproducción se ve influenciada por la disponibilidad de nutrientes disueltos en el agua, y por la capacidad de materia orgánica adsorbida por los organismos zooplanctónicos. Es probable que un cuerpo lacustre sea muy pobre como para soportar periodos largos y abastecer estas comunidades, como es el caso de ciertos cuerpos de agua de Argentina y Uruguay entre los cuales se incluyen embalses y cuerpos acuáticos artificiales (Vignatti y Echaniz, 2008).

2.1.3. Fitoplancton

En los lagos se puede identificar zonas lacustres como: la litoral, béntica y la de aguas abiertas, en la última mencionada se encuentran organismos foto-autótrofos y heterótrofos. En los que se identifica al fitoplancton, para Reynolds (2006) son microorganismos que se encuentran distribuidos parcialmente o de manera más constante en aguas abiertas. En si el fitoplancton es definido como plancton autótrofo, el cual es el mayor productor de carbono orgánico en la zona pelágica de los ecosistemas acuáticos. Además, según Bellinger y Sigeo (2010) son el tercer grupo más grande de organismos fotosintéticos que pueden fijar biomasa, que difieren de las plantas acuáticas por características químicas, taxonómicas y morfológicas.

El fitoplancton es caracterizado por los pigmentos fotosintéticos, entre los más importantes se encuentra la clorofila *a*, que es un estimador de la biomasa de las algas, siendo el principal pigmento fotosintético influenciado tanto por factores externos como internos del medio acuático.

La clorofila *a* es uno de los parámetros fundamentales en la evaluación de un ecosistema, altas concentraciones de este pigmento muestran alta productividad,

mientras que bajas concentraciones están asociadas a baja productividad de un lago (Caicedo, 2015). Además Wetzel (2001), menciona que en los lago tropicales y eutróficos son los que registran mayores concentraciones de clorofila *a*.

2.1.4. Floraciones de algas

Los fenómenos más comunes relacionados al fitoplancton son los blooms o floraciones algales que según Sigeo (2005) son simplemente densas poblaciones de algas plantónicas que se desarrollan en sistemas acuáticos, bajo la misma referencia menciona que las floraciones de algas se presentan en ciertas épocas como parte del ciclo natural en los ecosistemas acuáticos. Para Steinitz (1979) este suceso se registró en el lago Yahuarcocha por la gran abundancia de *Euglena sanguínea*.

Además, el fitoplancton puede ser evaluado por la biomasa algal que según Bellinger y Sigeo (2010), consideran a la biomasa como el contenido por unidad de área o por unidad de carbono de algas eucariotas y procariotas, que puede ser evaluada usando protocolos de extracción de pigmentos, como la clorofila *a*.

2.1.5. Zooplancton

Otra comunidad biótica es el grupo zooplancton que está conformado por protozoarios de vida libre y por metazoarios, que están representado por rotíferos y microcrutáceos. Se los pueden clasificar según su tamaño, los de 50 a 500 μm son conocidos como microplancton y los $>500 \mu\text{m}$ son macrozooplancton (Aranguren, 2002). Otra categorización es la que menciona Sommer *et al.* (1986) y Lampert (1988), quienes catalogan a los de tamaño $<200 \mu\text{m}$ como microzooplancton y el mesozoplancton que está representado por cladóceros y copépodos de tamaño de 0.2–2 mm.

Además, se encuentran categorizados como crustáceos planctónicos y se dividen en branquiópodos y copépodos. De los distintos órdenes de branquiópodos, los más conocidos y estudiados son los anomópodos, conocidos tradicionalmente como cladóceros. Los copépodos son el segundo grupo más grande, son crustáceos más complejos que se pueden localizar tanto en aguas continentales como en aguas marinas, se caracterizan por ser más abundantes y diversos en aguas marinas que los rotíferos y cladóceros (Conde *et al.*, 2004).

En la figura 2 se muestran las características generales de las comunidades de zooplancton, principalmente se los conoce por estar cubiertos por un exoesqueleto poseer extremidades dispuestas de forma segmentaria que son importantes para el sistema de locomoción y alimentación.

Los dos grupos principales de zooplancton son los cladóceros y copépodos. Los cladóceros se distinguen por la presencia de una cabeza diferente (con un ojo compuesto y un ocelo más pequeño) y un caparazón bivalvo cuticular, que se puede encontrar en la mayoría de los géneros. El segundo grupo más grande son los copépodos que se diferencian por tener una estructura anterior compuesta de cefalotorax y tórax, con extremidades más desarrolladas: seis pares de patas para la locomoción (Sigeo, 2005).

Zooplancton	Tamaño aprox. (mm)	Reproducción	Fuentes principales de alimento	Sistemas acuáticos donde predominan
Rotíferos	0.05-1.5	Partenogenética (sexual ocasionalmente)	- Algas - Detritos - Bacterias - Otros rotíferos	- Eutróficos - Sistemas no limitados en P - Sistemas con peces planctívoros
Cladóceros	0.5-3.0	Partenogenética (sexual ocasionalmente)	- Algas - Bacterias	- Oligotróficos - Sistemas sin peces planctívoros
Copépodos	0.5-2.0	Sexual	- Algas - Rotíferos - Ciliados	- Eutróficos - Sistemas salinos

Figura 2. Características generales de los grupos de zooplancton
Fuente: (Conde *et al.*, 2004)

La taxonomía y la distribución actual del zooplancton en los lagos alto andinos se diferencian por la presencia de endemismos regionales, de donde se refleja la importancia de la ubicación de un cuerpo lacustre para la diversidad y riqueza del cuerpo acuático (Mulahueser y Vila, 1987). En los lagos alto andinos existe una mayor riqueza de especies de zooplancton entre los cuales se representan los grupos de: Calanoídeos, Cladóceros y Rotíferos. En estudios realizados por Loffer (1972) se menciona que la baja representatividad de especies de zooplancton se debe al aislamiento geográfico de la región.

2.1.5.1. Cladóceros

Los cladóceros son microorganismos que pueden medir hasta 3 mm, se los identifican por poseer un caparazón compuesto de quitina, que simula la formación de dos valvas, estas protegen el sistema digestivo y la cabeza. En la región cefálica se observan varias estructuras conocidas como setas, que permiten la locomoción, una de las estructuras más importantes es el postabdomen que ayuda a diferenciar las especies de cladóceros. En la misma región tienen dos pares de antenas, las primeras son pequeñas y sensitivas. Las segundas antenas son bifurcadas y nadadoras, en la región dorsal se presenta el corazón y una cavidad que sirve como cámara incubadora (Margalef, 1983 y De Infante, 1988).

2.1.5.2. Copépodos

Los copépodos tienen un cuerpo más complejo a comparación de los otros grupos, ya que se puede observar varias regiones o segmentos torácicos y abdominales (cefálica, cefalotórax y frontal). En la región cefálica se pueden reconocer cinco pares de apéndices, que están constituidas por pares de antenas que componen los sistemas de locomoción, en estas se puede diferenciar dos antenas superiores de

mayor tamaño. Presentan un ojo único en el centro de la región frontal, así como también un ojo naupliar (De Infante, 1988).

2.1.5.3. Rotíferos

Los rotíferos son el grupo más abundante y diverso y por lo general los relacionan directamente con lagos en estado mesotrófico, eutrófico e hipertrófico (Aranguren, 2002). Los rotíferos juegan un papel fundamental en las cadenas tróficas pelágicas ya que son un eslabón entre el fitoplancton y los consumidores secundarios, pero su importancia aumenta porque pueden transferir materia y energía desde bacterias y partículas detríticas de pequeño tamaño, que son recursos no utilizables por otros organismos planctónicos, la mayoría se caracterizan por estar cubiertos de una lamina cutícula transparente, no poseen estructura especializadas de locomoción y algunas especies de mayor tamaño suelen depredar otros rotíferos (Conde *et al.*, 2004).

2.1.6. Pastoreo de mesozooplanton

Conjuntamente el zooplancton es considerado como el enlace directo entre los productores y consumidores, que según Maizaud (2002) y Frederiksen *et al.* (2006) cumplen la función como eslabón en la cadena trófica y son indispensables para la transferencia de carbono a niveles superiores. La relación directa que existe entre el zooplancton y fitoplancton es el pastoreo “Grazing” o impacto alimentario. Esto es definido como “la presión de consumo que ejerce el zooplancton sobre el fitoplancton” (Giraldo *et al.* 2014). Para lo cual se debe conocer la cantidad de predadores y la cantidad de alimento, que se determina a través de los pigmentos fotosintéticos como la clorofila *a*.

Según Wetzel (2001), manifiesta que las partículas algales y bacterianas son consumidas por macrozooplanton y al efectuarse este fenómeno natural se

presentan varios beneficios para el ecosistema, como la regeneración potencial del fósforo de las excretas que puede llevarse a cabo por el pastoreo, ya que permite el traspaso de energía y recirculación de nutrientes en la cadena trófica.

La ecología trófica tiene variaciones en sus indicadores que pueden ser originadas por el tamaño del organismo, el sexo, el estadio de vida, la concentración, tipo de alimento o la composición química del alimento y otros factores que influyen de modo diferencial en los distintos hábitats (García *et al.*, 1991)

El potencial del pastoreo sobre la biomasa de algas según Sommer *et al.* (1986) es importante ya que provoca cambios sobre la productividad en un ecosistema. El fenómeno conocido como “fase de agua clara” es uno de los mecanismos para caracterizar que las tasas de pastoreo sobrepasan a la reproducción de fitoplancton. También el pastoreo puede explicar la mortalidad significativa en periodos de estudio más amplios, en los que se puede considerar la relación de la clorofila *a* y fósforo de un lago (Hansson, 1992).

La evaluación del pastoreo del zooplancton se puede realizar tomando en consideración los detalles de los trabajos de Lehman y Sandgren (1985); Landry y Hassett (1982); Marin *et al.* (1986) y Bamstedt *et al.* (2000), las cuales toman en detalle a las tasas de eliminación de individuos de fitoplancton. Que se estiman aplicando sistemas experimentales o mesocosmos en los que se manipulan las densidades de los predadores o “grazer”, en los que se calcula la tasa de crecimiento de las algas considerando la línea de regresión como la tasa de eliminación de tasas fitoplanctónicas.

El zooplancton al cumplir con la función de reciclador de nutrientes como Nitrógeno y Fósforo, y al ser estos elementos limitantes para el crecimiento del fitoplancton. Se puede implementar la manipulación de la densidad de los organismos zooplanctónicos, para determinar los cambios que ejercen las poblaciones dependiendo de la productividad que presente el ecosistema (Lehman 1980). Al contrario Shapiro *et al.* (1982) menciona que si se puede mantener el

estado permanente de bajo fitoplancton, independientemente de si el ecosistema acuático es pobre o rico en nutrientes.

Las condiciones principales para que el pastoreo sea efectivo son las siguientes, primero, las comunidades de zooplancton deben ser abundantes como para inducir en tasas de mortalidad que el crecimiento y la reproducción de las algas se igual. Y en segundo, las poblaciones del fitoplancton deben ser vulnerables al pastoreo (Lampert, 1988), como por ejemplo si existieran ciertas especies con cepas tóxicas o especies de algas están más allá del espectro de tamaño de partículas de alimentos disponibles para los herbívoros.

La familia Daphnidae son conocidos por ser herbívoros excepcionales del fitoplancton, la densidad de estos puede ser relacionada con la clorofila, los nutrientes, la diversidad de fitoplancton y la magnitud de cascadas tróficas (Mazumder 1994). En especial las daphnias grandes cumplen su papel trófico más efectivamente, ya que el modo de búsqueda de forrajeo generalizado de alimento explica gran parte de su dominio ecológico, así estos organismos consumen un rango más amplio de partículas algales que los rotíferos, copépodos y algunos otros cladóceros como Bosminidae (Leibold, 1989).

2.1.7. Las estrategias de manejo y control

La estrategia básica para reducir la productividad de un lago es reducir la carga de nutrientes pero adicionalmente a esto se requiere realizar biomanipulación con las comunidades del lago (Shapiro y Wright, 1984). Al conocer la función que cumple el zooplancton (Figura 3), en especial el de gran tamaño, se presenta un potencial como supresor del crecimiento de las poblaciones fitoplanctónicas (Lammens *et al.* 1990).

Y gracias a estudios para determinar lo mencionado, se ha demostrado la importancia del mesozooplancton en especial en lagos en estado eutrofizado, en los

que al aumentar o permitir que el tamaño de las comunidades del segundo nivel trófico aumente, estas controlan las poblaciones de fitoplancton (Elser *et al.*, 1990 y Morales *et al.*, 1994).

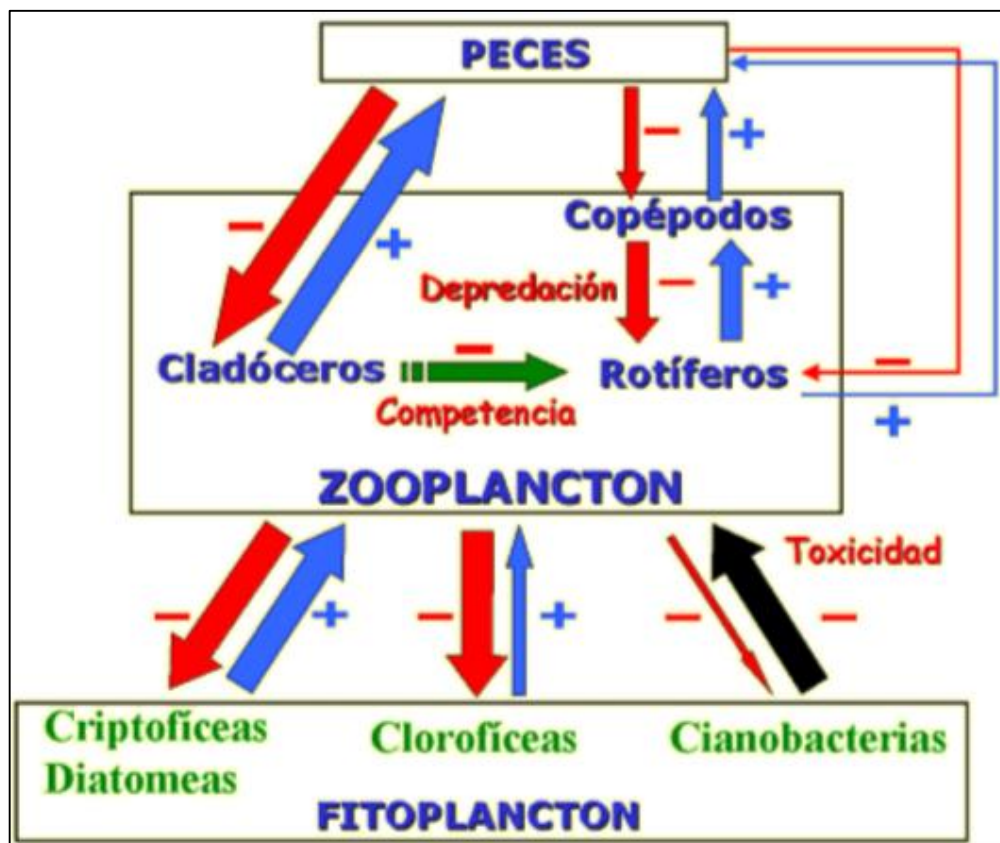


Figura 3. Esquema general de las interacciones biológicas que implican al zooplancton
Fuente: (Conde *et al.*, 2004)

2.1.8. Biomanipulación

Las alternativas de manejo y control de los componentes biológicos se pueden llevar a cabo por medio de biomanipulación, esta es considerada como una técnica de restauración (Gophen, 1990), también se considera que debe ser usada en lagos pequeños, poco profundo, porque los organismos de este tipo de ecosistemas se encuentran distribuidos en toda la columna de agua (Hanson y Butler, 1994). La manipulación biológica se lleva a cabo al permitir el aumento de las comunidades zooplanctónicas o disminuir la cantidad de sus predadores (peces). Las técnicas utilizadas es eliminar o remover las poblaciones de predadores (Cooke 1986).

La biomanipulación es generalmente usada en lagos someros y pequeños, ya que permiten desarrollar técnicas de manipulación en la población ya que no existe distribución espacial a lo largo de la columna de agua (Hanson y Butler, 1994). El principal objetivo de la implementación de biomanipilacionm en un ecosistema acuático es mejorar la calidad de agua, siendo una de las reglas generales para la efectividad esta técnica el aumento de las poblaciones de zooplancton. Según Cooke (1986), el método más apropiado para el incremento de poblaciones de zooplancton es la muerte o remoción de peces o especies planctívoras.

En el enfoque de la biomanipulación para el realizar el manejo en un lago es considerar que las densidades de algas son controladas por los herbívoros planctónicos (zooplancton), los que permite tener un nivel de control suficientemente bajo para mantener la transparencia o zona fótica de un ecosistema acuático. Así la tasa de mortalidad en las poblaciones de algas se mantiene disminuida por el pastoreo (Mazumder 1994).

2.1.9. Marco legal

A continuación, se describe la legislación ecuatoriana en la que se rige el presente estudio:

En la Constitución de la República del Ecuador se encuentra: Título II Derechos: Capítulo segundo; Derechos del buen vivir Sección primera Agua y alimentación menciona el Art. 12 sobre el derecho humano al agua mismo que es considerado fundamental e irrenunciable ya que es considerada como patrimonio nacional estratégico de uso público y esencial para la vida.

Conjuntamente el Título VI Régimen de Desarrollo: Capítulo primero; Principios generales en el Art. 276 considera como objetivo recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo,

y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural del tal manera que al recurso hídrico es un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos.

Además, el Código Orgánico Ambiental garantiza y considera de gran importancia la conservación y el control para la contaminación con el fin de proteger este recurso y sea aceptable, asequible para uso recreacional y doméstico. Igualmente se tomará en cuenta Título Régimen del Buen Vivir (2013-2014) el cual menciona que el Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral del recurso hídrico en todas sus formas, además se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua (República del Ecuador, 2008).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se describen las características del área de estudio y se detallan los materiales y métodos utilizados para el desarrollo de los objetivos de este trabajo.

3.1. Descripción del área de estudio

El lago Yahuarcocha se localiza en la provincia de Imbabura (Figura 4), dentro de los valles secos al Norte de la ciudad de Ibarra, las coordenadas y características generales se muestran en la tabla 1. El sistema lacustre se encuentra en una depresión volcánica rodeada por zonas agrícolas, urbanas y obras de infraestructura (Santander *et al.*, 2005).

Tabla 1. Características del Lago Yahuarcocha

Coordenadas	17N X= 822303, Y=10040672.
Altitud	2010 m.s.n.m
Profundidad máxima	7 m
Superficie	2,4 km ²
Temperatura	17°C

Fuente: Terneus (2014)

El interés ecológico y cultural que posee se evidencia en todas actividades realizadas alrededor, como la extracción de *Schoenoplectus californicus* (Totora)

por pobladores de la zona para fabricar artesanías (Maridueña 2003), además la población cercana brinda servicios turísticos como paseos en lanchas, recorridos en parapente, ciclismo y brindan platos típicos en restaurantes situados en los alrededores del lago.

El alto grado de eutrofización, la zona litoral de vegetación emergente, la presión antrópica que ejerce la población de la microcuenca son características que resaltan en el lago de Yahuarcocha (Terneus, 2014). El incremento de los niveles de eutrofización representa el aumento de productividad primaria por la carga de nutrientes y sedimentos de la microcuenca (Portilla, 2015).

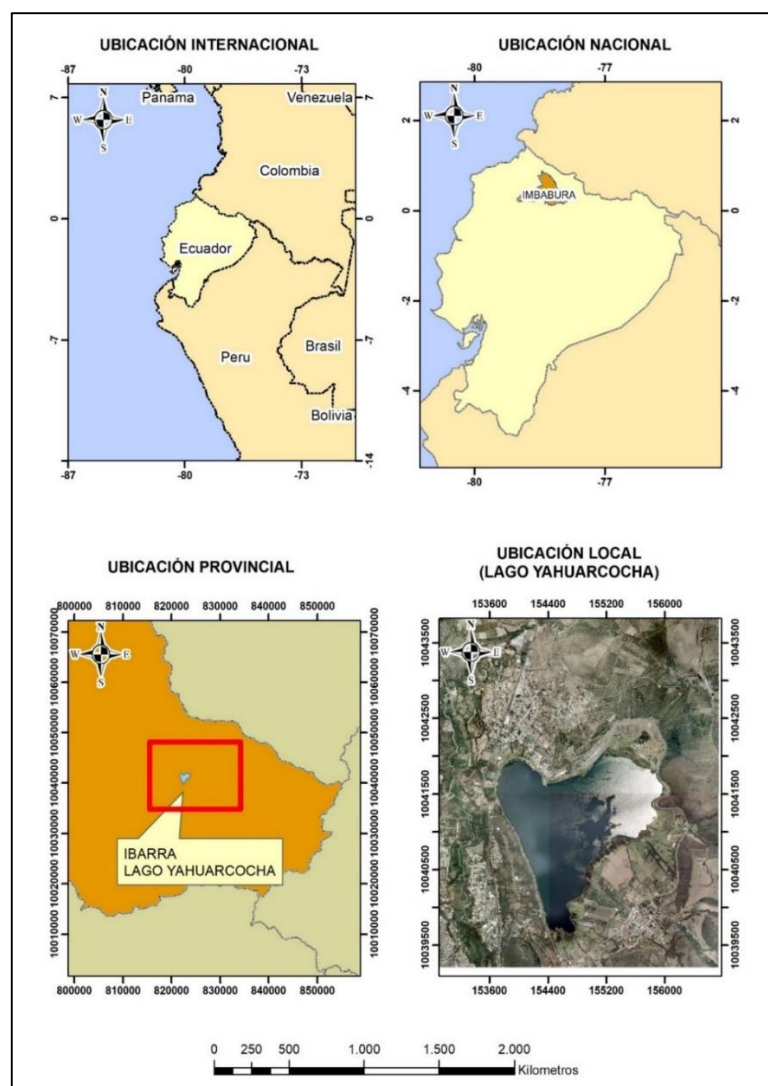


Figura 4. Mapa de ubicación del Lago Yahuarcocha

3.2. Materiales y métodos

En los siguientes enunciados se muestra los materiales y métodos, utilizados para el desarrollo de los objetivos planteados.

3.2.1. Materiales

A continuación en la tabla 2, se detallan los materiales, equipos, reactivos y software que se utilizaron para el desarrollo del presente estudio.

Tabla 2. Lista de materiales, equipos, reactivos y software

MATERIALES	EQUIPOS	REACTIVOS	Softwares
Fichas de campo			
Libreta de campo	Fluorímetro Aquafluor		
Subministros de oficina	Cámara fotográfica GPS garmin 62sc		
Filtros Whatman GF/F de 25 mm	Microscopio marca LEICA tipo M 165 C	Agua destilada comercial al 37%	SigmaPlot 11.0
Papel aluminio	Cámara de conteo	Formaldehído comercial al 37%	ArcGIS 10.0
Papel secante	Sedgewick-rafter		InfoStat
Botellas de 1 litro	Micropipeta		
Marco metálico de 1 x 1 m	Bote Disco Secchi		
Baldes	Trampa Schildler Patalas de 30 litros		
Cuerdas			
Ancla			

3.2.2. Métodos

La determinación de clorofila *a*, el cálculo de pastoreo de mesozoplancton y el establecimiento de estrategias de manejo y control se realizaron en etapas, los detalles se presentan a continuación. Además, es importante mencionar que la selección del punto de muestreo fue realizada en base a las recomendaciones sugeridas por Caicedo (2015), quien menciona que es representativa la toma de

muestras en un solo punto por la polimixis del lago, seleccionando el punto más profundo del lago (7 metros) con coordenada X= 822303, Y=10040672.

3.3. Determinación de niveles de clorofila *a* de fitoplancton

Para el desarrollo de este objetivo, se realizó salidas de campo mensuales, y el proceso se detalla en el siguiente texto.

3.3.1. Medición de pigmento (clorofila *a*)

Las pautas para la toma de muestras mensuales de clorofila *a* en el periodo de abril 2016 a marzo 2017, fueron los protocolos realizados en los trabajos de Mandonx (2014), Blomme (2014) y Caicedo (2015). Las muestras se colectaron a nivel superficial en el lago (0.50 m), con la ayuda de una botella de Van Dorn vertical con capacidad de 2.2 litros. El agua colectada se usó para la medición *in situ* de clorofila *a*, utilizando cubetas de 2 ml y con una pipeta plástica se tomó y colocó el agua para ubicarla en el fluorímetro (AquaFluor), el que expresa la biomasa algal en unidades de fluorescencia (RFU), el canal de medición usado fue el A y esto depende de la versión del equipo, posteriormente para la medición se consideró que el equipo debe encontrarse en un área horizontal fija y con poca luminosidad para evitar errores en los valores (Figura 5).



Figura 5. Toma de muestras para medición de clorofila *a*

3.4. Cálculo de pastoreo de mesozooplankton

El cálculo se realizó con la implementación de bioensayos para lo cual fue necesario cuantificar la densidad de zooplankton en el lago, a continuación, se presenta las actividades realizadas.

3.4.1. Muestra cuantitativa de zooplankton

Para establecer los bioensayos fue necesario conocer la media de individuos mensual, se tomó muestras de zooplankton mensuales en el período de febrero 2016 a enero 2017, el proceso se llevó a cabo según los métodos de colecta descritos por Rice *et al.* (2012), en su publicación de métodos estandarizados para examinación de aguas, el equipo utilizado fue la Trampa Schidler Patalas con capacidad de 30 litros, su mecanismo de funcionamiento consta de una caja con dos aberturas (Figura 6), que inmediatamente al ingresar al agua se abren y con un leve jalado se cierra, permitiendo tomar una cantidad y profundidad determinada, para obtener la concentración de individuos de 30 litros, además está compuesta de una abertura lateral circular en la que se adapta una red de 64 μm y un copo que también posee un red de igual abertura de malla que filtra el agua y concentra en el fondo del copo, como lo sugiere Sullivan y Reynolds (2004).



Figura 6. Colecta de muestras con Trampa Schidler Patalas 30 litros

La muestra fue tomada a nivel superficial (0.50 m), la cantidad aproximada que se obtuvo fue de 50 ml, se trasvaso a un tubo falcon debidamente etiquetado del mismo volumen (Figura 7), luego se procedió a preservar inmediatamente con formaldehído al 4% como lo establece Samanez *et al.* (2014), Sullivan y Reynolds (2004) y Rice *et al.* (2012), cumpliendo con las condiciones de cadena de custodia, protección y seguridad, se llevó las muestras al Laboratorio de Investigaciones Ambientales (LABINAM) y se los almacenó en oscuridad, para evitar la degradación de los microorganismos planctónicos y el análisis correspondiente.



Figura 7. Muestra mensual de zooplancton

3.4.2. Análisis cuantitativo de muestras de zooplancton

El análisis cuantitativo mensual de las muestras colectadas de zooplancton se realizó a través de un microscopio invertido a una amplificación de 40 X, los conteos mensuales se efectuaron colocando alícuotas de 5ml en una caja Petri (Figura 8), en las que se determinó la densidad de individuos por litro de agua. En ocasiones en las que las muestras mostraban saturación de individuos se adicionó agua destilada para mejorar la visualización, los valores obtenidos se registraron en una ficha de conteo (Anexo 2).

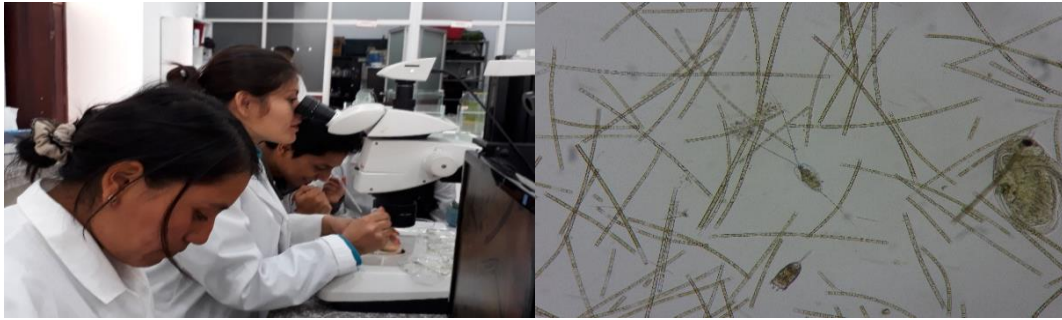


Figura 8. Cuantificación de zooplancton ^(a), Campo óptico de muestras ^(b)

- **Selección de individuos para tratamientos**

Los individuos se seleccionaron según la densidad del conteo realizado en los meses de febrero 2016 a marzo 2017 y su importancia en la cadena trófica fue seleccionado en base a los criterios de Garcés (2003), ya que la cantidad de cladóceros puede relacionarse con el estado ecológico del lago, también se consideraron las características potencialmente bioindicadores, determinadas por Cabrera (2015), para la selección las especies para los bioensayos.

- **Bioensayo *in situ***

El protocolo de implementación de bioensayos ejecutado por Saelens (2015), fue el escogido como referencia para desarrollarse en este trabajo, es importante mencionar que se realizó modificaciones según los cambios observados en el ecosistema acuático.

3.4.3. Preparación de tratamientos para bioensayos

Previo a la colocación de los bioensayos se aplicó el método de colecta detallado por Harris *et al.* (2000), el que recomienda que se debe tener mucho cuidado para minimizar el estrés psicológico y daño físico en el momento de captura.

Las muestras vivas de mesozooplancton fueron tomadas a una profundidad de 1 m utilizando una red de arrastre de 64 μm (Figura 9), el agua con los individuos fue colocada cuidadosamente en botellas plásticas de 1000 ml e inmediatamente se

trasladaron al laboratorio LABINAM para colocarlas en una pecera de 10 litros y conservarlas en condiciones que mantenga con vida a los microorganismos, este proceso se llevó a cabo un día antes a la colocación para evitar la muerte de las especies.



Figura 9. Colecta de muestras vivas de mesozooplankton

La captura y separación de las especies de mesozooplankton se realizó el día de colocación de los bioensayos, se utilizó una pipeta de 5 ml para extraer los individuos, luego se colocó en una caja Petri con divisiones y con la ayuda de una pipeta Pasteur se visualizó en un estereomicroscopio para proceder a separar y contar las cantidades necesarias para cada tratamiento (Figura 10). Para trasladar al lago se los sitúo los individuos en tubos falcón de 15 ml procurando mantenerlas a oscuridad.

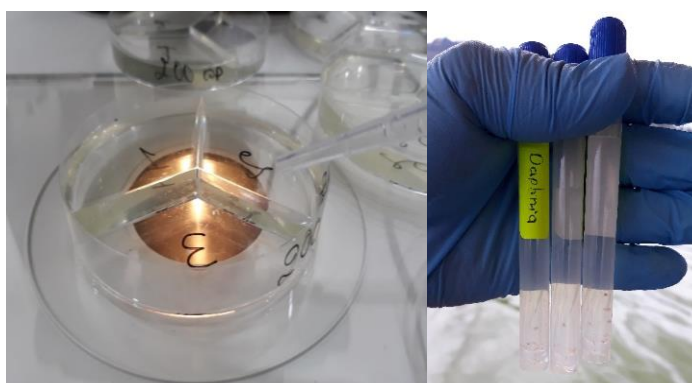


Figura 10. Captura y separación de tratamientos

3.4.4. Colocación de los bioensayos en el lago

Los cuatro bioensayos colocados están compuestos con tratamientos que contienen mesozooplancton cada uno con tres réplicas y adicionalmente se pusieron tres controles, para los que se utilizó botellas de 1000 ml transparente debidamente etiquetadas para la simulación de mesocosmos, las que se llenaron con agua del sitio previamente filtrada a través de una red de 64 μm para extraer los organismos zooplanctónicos, la cantidad de los recipientes varió dependiendo del número de tratamientos realizados.

Las botellas se colocaron en una estructura metálica de 1x1 m, con malla plástica de color negro para evitar la interferencia del 10% de los rayos UV, que pueden obstruir el crecimiento de la biomasa algal (Figura 11), las estructuras se ubicaron en el punto más profundo a nivel superficial (0.50 m), coincidiendo esta con la zona fótica del lago, debido a que el valor de este ha disminuido como lo menciona Ochoa (2017), estas fueron fijadas con un ancla y un flotador. El tiempo de incubación fue de dos días debido a la temperatura de 20°C, ya que como lo sugiere Mandonx (2013), este valor es representativo para el crecimiento de las comunidades fitoplanctónicas.



Figura 11. Estructura metálica con botellas de los bioensayos

Al final del tiempo de incubación se retiró las estructuras y se trasladó al laboratorio LABINAM, se procuró evitar que las botellas se expongan a la luz solar para evitar la interferencia en el crecimiento de la biomasa algal.

3.4.5. Tratamientos para bioensayos

Para los bioensayos uno, dos, tres y cuatro se estableció una hipótesis alternativa (H_a) y una hipótesis nula (H_0), siendo las siguientes: H_a : Los niveles de clorofila a son distintas en al menos un tratamiento del bioensayo aplicado y H_0 : Los niveles de clorofila a no son distintos en los tratamientos del bioensayo aplicado.

El primer y segundo bioensayo se situó en la época ecológicamente lluviosa en el mes de marzo y abril 2017, en los últimos días de cada mes, en el caso del primer bioensayo la clorofila a inicial del agua del lago fue de 0,079 RFU y el segundo tenía un valor de clorofila a de 0.06 RFU, los bioensayos contenían el promedio de individuos por cada 1000 ml de agua del lago. Los tratamientos aplicados son los siguientes: en el T1 la cantidad colocada fue de 5 *Daphnia spp.* y en el T2 se colocó 100 individuos de *Acanthocyclops spp.*, sin adición de nutrientes (Tabla 3), para conocer el nivel de pastoreo que está ejerciendo en el estado puntual de eutrofización que se encuentra el lago.

Tabla 3. Tratamientos aplicados en el bioensayo uno y dos la época ecológicamente lluviosa.

Tratamientos	Réplicas	Descripción
T1	3	100 individuos del género <i>Acanthocyclops spp.</i> sin adición de nutrientes
T2	3	5 individuos del género <i>Daphnia spp.</i> sin adición de nutrientes.
Control	3	Controles

El tercer y cuarto bioensayo se colocó en los últimos días del mes de septiembre y octubre en la época ecológicamente seca, los niveles de clorofila a inicial en los que se colocó cada tratamiento fue de 0.049 RFU para el bioensayo tres y 0.072 RFU para el bioensayo 4. En estos se aplicó lo descrito en la tabla 4, en el tratamiento T1

se colocó 100 individuos de *Acanthocyclops spp* y en el T2 se añadió 10 *Daphnia spp*.

Tabla 4. Tratamientos aplicados en bioensayo 3 y 4 en la época ecológicamente seca.

Tratamientos	Replicas	Descripción
T1	3	100 individuos del género <i>Acanthocyclops spp</i> . sin adición de nutrientes
T2	3	10 individuos del género <i>Daphnia spp</i> . sin adición de nutrientes
Control	3	Controles

3.4.6. Medición de clorofila *a* en los bioensayos

Después de los dos días de incubación de cada bioensayo se realizaron mediciones de clorofila *a* con la ayuda de un Fluorímetro (AquaFluor), a cada botella antes de la cuantificación se realizó movimientos circulares leves para homogenizar el agua, con una pipeta Pasteur se tomó 2 ml de agua y se colocó en una cubeta, se procedió a ubicar la cubeta en el equipo, procurando que este se encuentre en un sitio estable y horizontal, se registraron tres valores de cada tratamiento. Los datos obtenidos de todo el proceso se registraron en fichas de análisis y conteo (Anexo 1).

3.4.7. Diseño estadístico

Los datos se analizaron aplicando estadística descriptiva con modelos matemáticos sencillos, para comparar los resultados obtenidos en cada bioensayo, el diseño estadístico utilizado fue diseño irrestricto al azar, en el que se realiza una ordenación simple (One Way), la que se aplica a unidades experimentales homogéneas que tienen el coeficiente de varianza (CV) mínimo (Condo y Pazmiño, 2015).

Según Mendiburu (2007), el diseño al azar es aplicable en ciertas condiciones con respecto a ambientes controlados en los que el material de experimentación es homogéneo con igual número de repeticiones en cada tratamiento, siendo estas las condiciones que cumple el presente estudio.

Además, para estos estudios se debe guiar en base a una hipótesis alternativa o una nula, siendo así posible la aceptación o rechazo de estas y para contrastar se puede aplicar un análisis de varianza simple que permite comparar las medias obtenidas de los experimentos con el objetivo de determinar el efecto sobre una variable dependiente sometida a varios niveles de un factor x (De la Fuente, 2000).

El objetivo de los diseños al azar brindar un grado de precisión, es decir calcular la variación que existe entre las unidades y así determinar el rango de error, siendo así necesario aplicar un análisis de varianza estableciendo una tabla como la de la tabla 5 (Terán, 2000).

Tabla 5. Bosquejo de Análisis de ANOVA

F.V	gl	Sc	CM	Fc
Tratamientos	t - 1	$\sum_{i=1}^t \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y^2}{n}$	SC trat t - 1	CM trat
Error	n - t	Sc total - sc trats	Sc error	CM error
Total	n - 1	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r y_{ij}^2 - \frac{y^2}{n}$		

3.4.7.1. Consideraciones aplicadas para cada bioensayo

Según Aguirre y Vizcaíno (2009), el Diseño Irrestricto al Azar (DIA) es aplicable para experimentos como los realizados en el presente estudio. Este diseño permite solamente identificar significancia entre tratamientos. Para el desarrollo de análisis de datos se aplicó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = observación individual

μ = media

τ_i = efecto de tratamiento

ε_{ij} = error experimental

Para el Diseño Irrestricto al Azar (DIA) se planteó una hipótesis alternativa (Ha) y una hipótesis nula (H0), tomando en consideración lo siguiente:

H0: $\mu_1 = \mu_2 \dots \mu_n$

Ha: $\mu_1 \neq \mu_2 \dots \mu_n$

El criterio de prueba aplicado fue la F. de Fisher, en la que se compara el valor tabular de la distribución de Fisher. En el que se considera el cociente entre los grados de libertad de tratamientos y los grados de libertad del error (Aguirre y Vizcaíno, 2009).

Para los datos obtenidos de cada bioensayo también se aplicó un análisis de varianza el que permite desagregar la variación total entre tratamientos o el error entre los valores. El nivel de significancia estadística que se considero fue el 5% que se aplica para la prueba de Fisher. Así si el valor de la F calculada es mayor que la f tabular se detecta un resultado significativo al 95% de probabilidad estadística o al contrario no existe significancia y se acepta la hipótesis nula. Previo a la aceptación del análisis de varianza obtenido en el software InfoStat, se realizó un análisis de dispersión y de homogeneidad, para determinar la validez de los datos.

3.4.8. Fórmulas de pastoreo de mesozooplancton

El análisis de datos se realizó a través de la tabulación en una hoja de Excel, y como lo menciona Landry y Hasset (1982); Marin *et al.* (1986) y Bamstedt *et al.* (2000) el pastoreo de zooplancton se calcula con la tasa de pastoreo (g), tasa de filtración (F), rango de ingesta (I) y porcentaje de fitoplancton consumido (P)

Para la tasa de pastoreo se utilizó la fórmula 1, siendo Chla $a_{(i)}$ la concentración de la clorofila inicial y Chla $a_{(f)}$ la concentración de clorofila final y el residuo se divide para el tiempo de incubación *in situ* en horas del bioensayo.

$$g = (\ln \text{chla}_{(i)} - \ln \text{chla}_{(f)}) / t \quad (1)$$

La fórmula 2, permite el cálculo de la tasa de filtración en la cual V es el volumen en ml de la botella de incubación, g es la tasa de pastoreo y N es el número de individuos añadidos según el tratamiento.

$$F=V. g / N \quad (2)$$

La tasa de ingesta se calcula con la fórmula 3, la cual se obtiene en base al resultado del producto de la tasa de filtración (F) y la concentración experimental de la clorofila *a* (C).

$$I=F*C \quad (3)$$

Igualmente, fue importante calcular la tasa de crecimiento de fitoplancton (K), en la cual se considera el residuo entre el logaritmo de la clorofila *a* obtenida del control y la inicial, resultado que se divide para el tiempo de incubación en horas.

$$K = (\ln \text{ control}) - (\ln \text{ inicial}) / t \quad (4)$$

Finalmente se calculó el porcentaje de fitoplancton consumido, se tomó en consideración el valor de la tasa de crecimiento y la tasa de pastoreo.

$$P= (K/G) *100 \quad (5)$$

3.5. Estrategias de control y manejo

El desarrollo de este objetivo se lo llevo a través de la implementación de bioensayos de prueba, proceso que se detalla a continuación:

3.5.1. Bioensayos de prueba

En base a los resultados obtenidos, se establecieron estrategias de control y manejo de la relación del zooplankton y clorofila *a*, para dar alternativas que mejoren la

calidad de agua de la cubeta lacustre, siendo considerada a la biomanipulación como una estrategia de manejo y control de ecosistemas acuáticos. Para lo cual se realizaron bioensayos de prueba, siguiendo el mismo procedimiento de preparación y colocación descrito para el objetivo dos, en los que se desarrolló pruebas con la comunidad de mesozooplankton, los cambios fueron en la cantidad que se colocaron en cada botella.

Para el quinto, sexto, séptimo, octavo y noveno bioensayo se estableció una hipótesis alternativa (H_a) y una hipótesis nula (H_0), siendo las siguientes: H_a : Los niveles de clorofila a son distintas en al menos un tratamiento del bioensayo aplicado y H_0 : Los niveles de clorofila a no son distintos en los tratamientos del bioensayo aplicado.

El bioensayo de prueba 5 y 6 se lo colocó en la época ecológicamente lluviosa en los que se aplicó dos tratamientos y un control, la clorofila a inicial del agua del lago fue de 0,079 RFU para el quinto y el sexto tenía un valor de clorofila a de 0.06 RFU. En cada uno de los bioensayos se aplicó los tratamientos descritos en la tabla 6, en estos se añadió el T1 que contenía 10 individuos de *Acanthocyclops spp.* y el T2 con 10 *Daphnia spp.*, para comparar en igual número de individuos distintos órdenes de zooplancton.

Tabla 6. Tratamientos aplicados en bioensayos de prueba 5 y 6 en la época ecológicamente lluviosa.

Tratamientos	Replicas	Descripción
T1	3	10 individuos del género <i>Acanthocyclops spp.</i> sin adición de nutrientes
T2	3	10 individuos del género <i>Daphnia spp.</i> sin adición de nutrientes
Control	3	Controles

El bioensayo de prueba 7 y 8 se lo colocó en la época ecológicamente seca en los que se aplicó dos tratamientos y un control, los niveles de clorofila a inicial en los que se colocó cada tratamiento fue de 0.049 RFU para el séptimo bioensayo y 0.072

RFU para el octavo bioensayo. En cada uno de los bioensayos se aplicó los tratamientos descritos en la tabla 7, en estos se añadió el T1 que contenía 200 individuos de *Acanthocyclops spp.* y el T2 con 20 *Daphnia spp.*, para comparar el doble de individuos de la densidad de zooplancton en el lago.

Tabla 7. Tratamientos aplicados en bioensayos de prueba 7 y 8 en la época ecológicamente seca.

Tratamientos	Replicas	Descripción
T1	3	200 individuos del género <i>Acanthocyclops spp.</i> sin adición de nutrientes
T2	3	20 individuos del género <i>Daphnia spp.</i> sin adición de nutrientes
Control	3	Controles

Los tratamientos T1 y T2 descritos en la tabla 8 corresponden al bioensayo 9, colocado a la época ecológicamente seca, que fue colocado en agua con un valor de clorofila a de 0.072 RFU. En el que se realizó un cambio de especie, ya que se adicionó en el T1 10 individuos de *Daphnia spp.* y en el T2 10 especies de *Daphnia pulicaria*, la que posee características similares a las colocadas en el T1, sin embargo estas varían en tamaño.

Tabla 8. Tratamientos aplicados en el bioensayo 9 en la época ecológicamente lluviosa.

Tratamientos	Replicas	Descripción
T1	3	10 individuos del género <i>Daphnia spp.</i> sin adición de nutrientes
T2	3	10 individuos del género <i>Daphnia pulicaria</i> . sin adición de nutrientes
Control	3	Controles

- **Análisis de datos**

El análisis de datos se efectuó de igual forma a lo realizado en el objetivo dos, en el que se realizó medición de clorofila *a* inicial y final de cada bioensayo.

3.6. Consideraciones bioéticas

Para la realización de este trabajo, se consideraron los aspectos sugeridos en el ámbito de gestión ambiental, estos se encuentran en el nuevo Código Orgánico Ambiental. Que establece los principios para el correcto uso de los recursos, el principal en el que se basa este estudio es el principio de precaución el cual permite reducir la posibilidad de sufrir un daño ambiental debido al manejo inadecuado de los recursos en el caso de no existir certeza científica sobre el impacto o daño que pueda provocarse al ambiente. Además, se consideró el de prevención de tal manera que los resultados del estudio serán de aporte científico, los cuales contribuirá al manejo de los recursos hídricos permitiendo el bienestar del ser humano y sus generaciones futuras. Es muy importante considerar estos aspectos debido a que el problema de estudio de este trabajo se centra en un potencial riesgo de salud, ya que el estado ecológico del lago presenta cambios evidentes como las floraciones y mortandad de peces.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada objetivo y se realiza un análisis comparativo con trabajos similares.

4.1. Determinación de niveles de clorofila *a* de fitoplancton

La productividad del lago se reflejó con la medición de la clorofila *a in situ*, la que permite determinar la biomasa del lago, donde se evidenció aumentos leves de productividad en el mes de julio y octubre de 2016. En el mes de julio se obtuvo 0.1952 RFU y en octubre de 0.1945 RFU, el mes con menor productividad fue diciembre 0.0783 RFU y el promedio de productividad del periodo de investigación fue de 0.132 RFU (Figura 12).

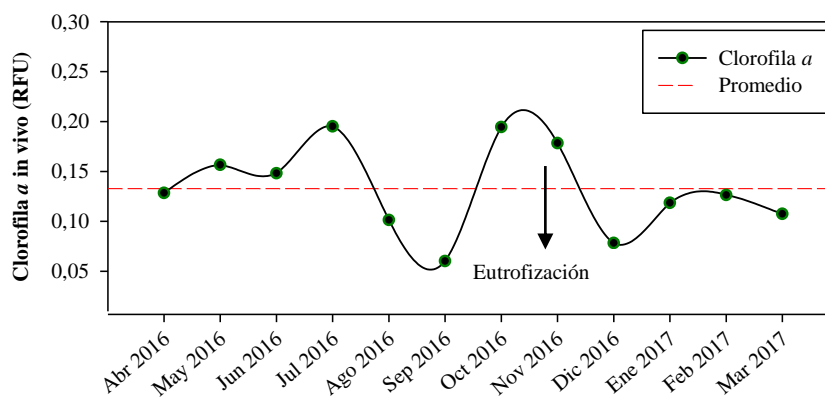


Figura 12. Clorofila *a* in vivo del Lago Yahuarcocha desde el periodo 2014 a 2017

En el año 2014 el promedio de clorofila *a* es 0.202 RFU, según los estudios de Saelens (2014) y Caicedo (2015), mismo año que en el mes de julio presenta un leve aumento de productividad a 0.33 RFU. En años 2015 el promedio para este parámetro fue de 0.135 RFU, sin embargo en el periodo de investigación la producción de clorofila *a* mantiene un promedio de 0.133 RFU (Figura 13).

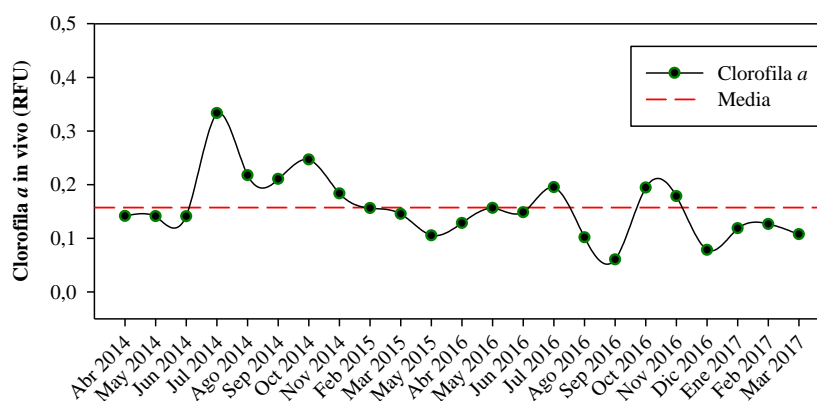


Figura 13. Clorofila *a* in vivo del Lago Yahuarcocha del periodo de estudio.

Los niveles de productividad que se obtuvieron en el lago reflejan características de eutrofización como lo menciona Portilla (2015), Caicedo (2015) y Ochoa (2017), debido a que la diversidad en especies de fitoplancton es alta y se justifica por la carga de nutrientes, actividades antrópicas, procesos naturales ecológicos del lago, y altas tasas de reproducción de cianobacterias (Wetzel, 2001).

4.2. Pastoreo de mesozooplancton

A continuación, se presenta los resultados de la colecta y cuantificación de zooplancton y de la implementación de los bioensayos.

4.2.1. Comunidad zooplanctónica

El lago Yahuarcocha está compuesto por tres clases taxonómicas que representan la comunidad zooplanctónica (Tabla 9), las cuales son Rotatoria o Monogononta, Copepoda y Brachiopoda, de los que se segregan 6 órdenes que son Ploimida,

Gnesiotrocha o Flosculariacea, Collothecacea, Cyclopoida, Anomopoda y Cladóceras, las 10 familias identificadas fueron Brachionidae, Gastropodidae Synchaetidae, Asplanchnidae, Filinidae, Collothecidae, Cyclopoida, Chydorinae, Bosminidae y Daphniidae. Los 11 géneros encontrados fueron Keratella, Brachionus, Ascomorpha, Poliartha, Asplanchna, Filinia, Colotheca, Acanthocyclops, Chydorus, Bosmina y Daphnia de las cuales se identificó 5 especies, *Brachionus angularis*, *Brachionus calyciflorus*, *Brachionus bidentata*, *Ascomorpha ecaudis*, *Ascomorpha saltans*, las clases taxonómicas y en general la comunidad de microorganismos identificadas corresponden en su mayoría con los datos identificados por Blomme (2014) y Cabrera (2015).

Tabla 9. Taxonomía de los organismos de la comunidad zooplanctónica del lago

Clase	Orden	Familia	Género	Especie
Rotatoria o Monogononta	Ploimida	Brachionidae	Keratella	spp.
	Ploimida	Brachionidae	Brachionus	angularis
	Ploimida	Brachionidae	Brachionus	calyciflorus
	Ploimida	Brachionidae	Brachionus	bidentata
	Ploimida	Gastropodidae	Ascomorpha	ecaudis
	Ploimida	Gastropodidae	Ascomorpha	saltans
	Ploimida	Synchaetidae	Poliartha	spp.
	Ploimida	Asplanchnidae	Asplanchna	spp.
	Gnesiotrocha o Flosculariacea	Filinidae	Filinia	spp.
	Collothecacea	Collothecidae	Colotheca	Spp.
Copepoda	Cyclopoida	Cyclopoida	Acanthocyclops	spp.
Branchiopoda	Anomopoda	Chydorinae	Chydorus	spp.
	Anomopoda	Bosminidae	Bosmina	spp.
	Cladóceras	Daphniidae	Daphnia	spp.

4.2.2. Características de la comunidad zooplanctónica del Lago Yahuarcocha

La clase Rotatoria o Monogononta según Lewis (1987), es un grupo muy frecuente de encontrar en lagos tropicales, estos son organismos microscópicos tienen un cuerpo cubierto de una cutícula elástica, con movilidad lenta, ciertos géneros

poseen un sistema vibrátil, pueden medir entre 50 y 200 μm . Por ejemplo, el género *Keratella* es el más común de encontrar en lagos con alta productividad primaria, la existencia de especies de distinto género es habitual en este tipo de sistemas lacustres, todos los organismos identificados y cuantificados se muestran en la figura 14.

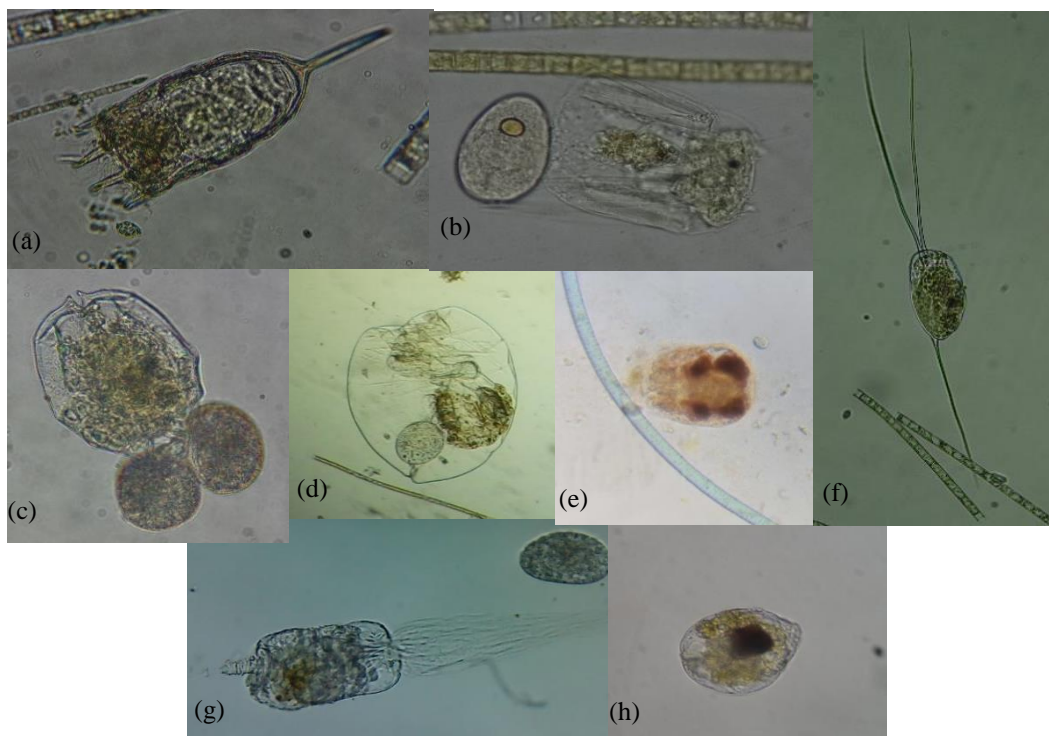


Figura 14. Especies de la clase taxonómica Rotatoria: *Keratella* spp. ^(a), *Poliartha* spp. ^(b), *Brachionus angularis* ^(c), *Asplanchna* spp. ^(d), *Ascomorpha ecaudis* ^(e), *Filinia* spp. ^(f), *Colotheca* spp. ^(g) y *Ascomorpha saltans* ^(h).

La clase Copépoda es caracterizada por Williamson (1991), como un conjunto de organismos que se reproducen sexualmente, tienen hasta 12 distintos estados de desarrollo, entre los que se encuentran nauplii y copepodito, mismos que son muy pequeños y en estado adulto se los diferencia como machos o hembras según el tamaño de las antenas principales, regiones conocidas como “Metasome” y “Urosome”, setas natatorias y otros aspectos morfológicos, dichos organismos encontrados en el lago Yahuarcocha se muestran en la figura 15.



Figura 15. Especies de la clase taxonómica Copépoda: *Acanthocyclops* spp. ^(a), *Nauplii cyclopoide*. ^(b)

Pennak (1989), menciona que la clase Brachiopoda es un grupo caracterizado por su reproducción partenogenética, así los especímenes machos son extremadamente raros. El grupo de los cladóceros son individuos que poseen una estructura similar a una valva traslúcida que consta de una región ventral abierta, torácica y abdominal; en la mayoría de las especies tienen un ojo compuesto, anténulas, ocelos, apéndices natatorios, postabdomen y otras estructuras que depende del género al que pertenezcan, en la figura 17 se observa las especies encontradas en el lago.

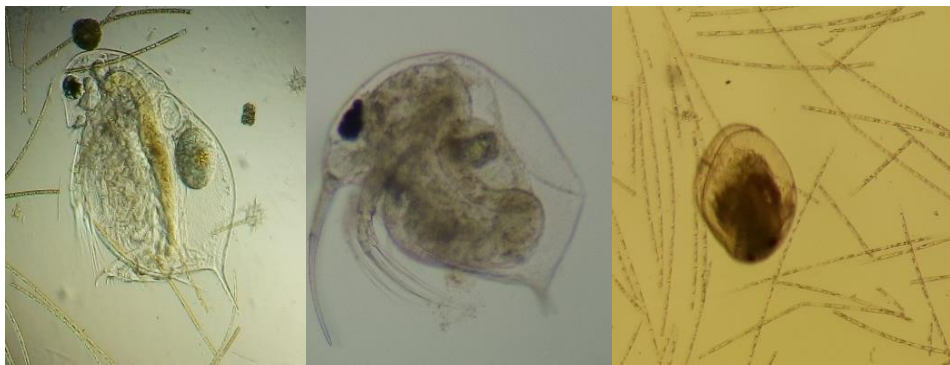


Figura 16. Especies de la clase taxonómica Brachiopoda: *Daphnia* spp. ^(a), *Bosmina* spp. ^(b), *Chydorus* spp. ^(c)

4.2.3. Abundancia de la comunidad zooplanctónica

Las fluctuaciones de las comunidades se expresan según la clase taxonómica en la Figura 17, en la que se evidencia la cantidad de individuos en cada mes. Los datos

representados muestran que la clase más abundante en el lago es Monogononta o Rotatoria, con un promedio de individuos de 141 ind L⁻¹ y se registró valores altos de 531 y 471 en los meses de agosto y junio de 2016 respectivamente, por el contrario, los meses con menos individuos fueron enero y febrero de 2016 en los que se cuantificó 0,3 y 2 ind L⁻¹, lo cual puede ser a consecuencia de cambios en los factores biológicos, climáticos y antrópicos (Horne y Goldman, 1994; Barros y Carrasco, 2006). Un ejemplo de esto se debe a cambios de temperatura y carga de nutrientes en la cubeta lacustre, ya que los cambios coincidieron con las variaciones de temperatura del lago, en los meses de agosto y junio 2016, los que mostraron valores de 20.3 a 20.1°C respectivamente, mientras que, los meses enero y febrero 2017 con valores que van de 21 a 22 °C coinciden con las fluctuación densidad de individuos de los meses de noviembre a marzo 2017.

Para la clase Copépoda se registró un promedio de 125 ind L⁻¹, con incrementos en el mes septiembre y junio del 2016 de 249 y 239 ind L⁻¹ respectivamente y una disminución en enero 2017 y febrero 2016 de 71 y 82 ind L⁻¹. Los brachiopodos fueron la clase que menor abundancia presentaron con un promedio de individuos de 6,61 ind L⁻¹. El mes con mayor abundancia fue septiembre de 2016 con 14 ind L⁻¹ y el mes con menos brachiopodos fue junio de 2016 en el que se estimó apenas un valor de 0.5 ind L⁻¹.

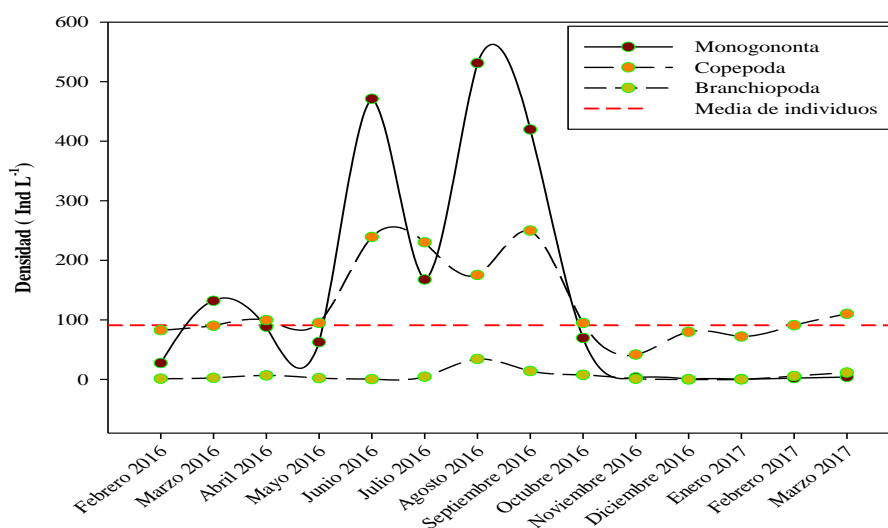


Figura 17. Densidad de la comunidad zooplanctónica del lago.

Portilla (2015) menciona que debido a la productividad de fitoplancton en el lago Yahuarcocha se encuentra en estado de eutrofización, considerando los estudios previos de O'Sullivan (2005) en el uso de valores generales de la clasificación del estado trófico del TSI Carlson (1977) y la OECD (1982), mismos que establecen un rango de niveles de clorofila *a* de 3 a 78 $\mu\text{g/L}^{-1}$ para clasificarlos como lagos eutróficos. Al comparar las densidades mencionadas con los trabajos realizados por Maridueña (2013), Blomme (2014) y Cabrera (2015), se evidencia diferencias y esto se debe a que las metodologías aplicadas en cada estudio son distintas así como rango de error. Sin embargo, es importante mencionar que así como los estudios mencionados son las clase rotatoria y copépoda las más abundantes y caracterizan el estado eutrófico de un lago.

La abundancia relativa de la comunidad zooplanctónica se visualiza en la figura 18, en el que se observa en mayor porcentaje la presencia de la clase Copépoda, representada por el género *Acanthocyclops*, con un valor promedio de 57%, seguido de la clase Rotatoria en la que el género *Keratella* que presenta un 19,56 %, la especie *Brachionus angularis* 5,90% y el género *Daphnia* se presenta en 2,57%, para los demás géneros *Poliartha*, *Asplanchna*, *Filinia* y *Colotheca* y especies, *Brachionus calyciflorus*, *Brachionus bidentata*, *Ascomorpha ecaudis*, *Ascomorpha saltans* se cuantificó porcentajes entre 0,01 a 2 %.

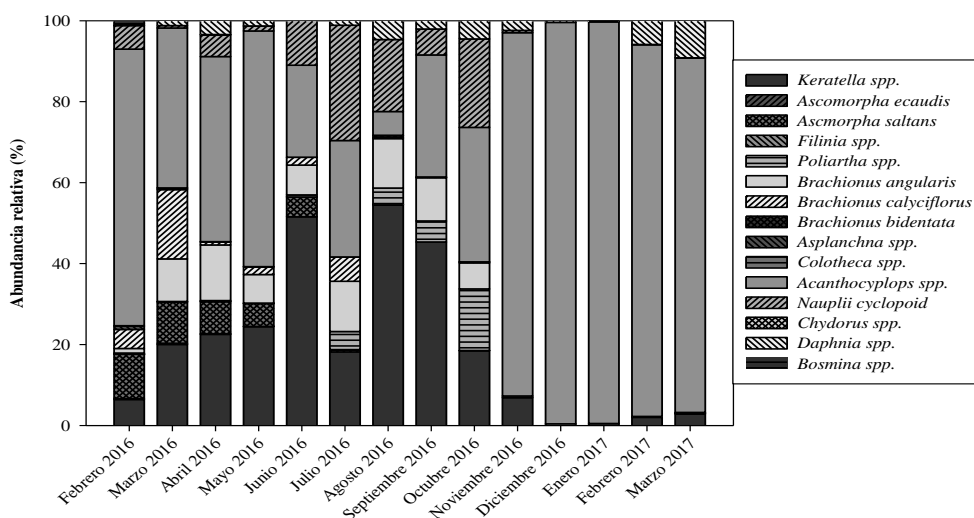


Figura 18. Abundancia relativa de zooplancton del lago Yahuarcocha.

4.2.4. Densidad de la comunidad de zooplancton

La densidad por cada litro de agua del lago Yahuarcocha de la clase Rotatoria se expresa en la figura 19, en la que se observa con mayor presencia al género *Keratella*. Los valores más altos fueron en los meses de agosto y junio 2016, cuantificándose entre 403 y 366 ind L⁻¹. Los meses de menor densidad fueron octubre 2016 y febrero 2017 con 2 y 3 ind L⁻¹, seguido de la especie *Brachionus angularis*. Estos resultados son representativos para lago tropicales de productividad alta y polimícticos como los sugiere Havens (2001), debido a que la mezcla provoca condiciones óptimas para ciertas especies, como variaciones en la temperatura.

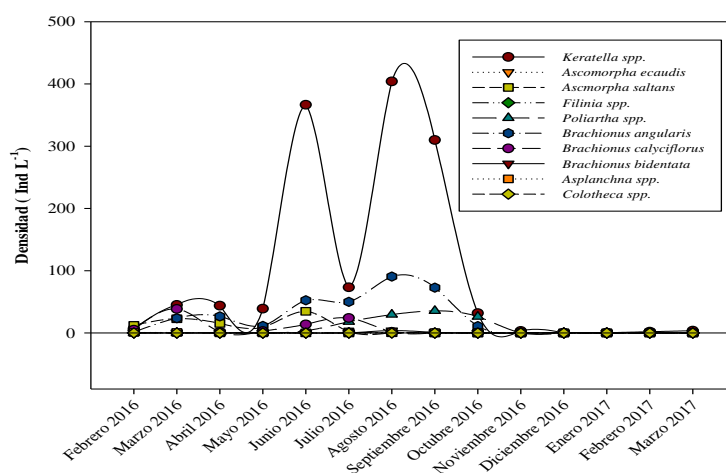


Figura 19. Densidad de individuos de la clase Rotatoria del lago.

La densidad la clase Copépoda se muestra en la figura 20. El género *Acanthocyclops* se estableció con un promedio de individuos de 93 ind L⁻¹, los meses con menor abundancia fue noviembre 2016 y enero 2017, con 41 y 71 ind L⁻¹ mientras que los meses septiembre y junio 2016 presentan 249 y 239 ind L⁻¹. Se puede observar la cuantificación de un estado de desarrollo de copépodos, nombrado como *nauplii cyclopoide*, con una densidad promedio de 32 ind L⁻¹, los meses con mayor presencia fueron julio y agosto 2016 con 114 y 131 ind L⁻¹ y los meses con menor densidad fueron desde noviembre 2016 a marzo 2017 con valores que van desde 0,03 a 0,33 ind L⁻¹.

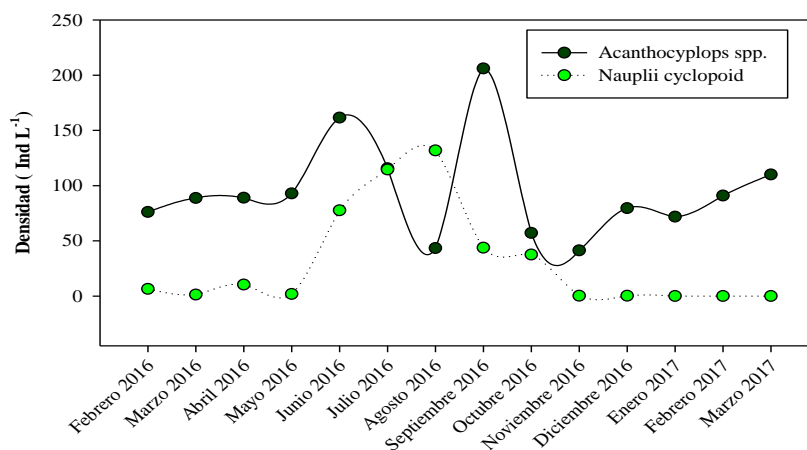


Figura 20. Densidad de individuos de la clase Copépoda del lago.

La densidad de la clase Brachiopoda se muestra en la figura 22, en la que se observa la fluctuaciones de los tres géneros identificados, el primero Chydorus fue el que presento menor densidad, ya que apenas se lo cuantifico en los primeros meses de febrero a junio 2016, para el cual se calculó una densidad de 0,03 ind L⁻¹, en similar valor se observó el género de Bosmina que de igual manera se lo cuantificó en 0,09 ind L⁻¹ de febrero a junio 2016. Por último, el género Daphnia presenta un promedio de individuos de 6 ind L⁻¹ y se registró dos meses con valores bajos, diciembre 2016 y enero 2017 con 0,06 y 0,13 ind L⁻¹, los meses con mayor densidad fueron agosto y octubre 2016 en los que se estimó 34 y 7 ind L⁻¹.

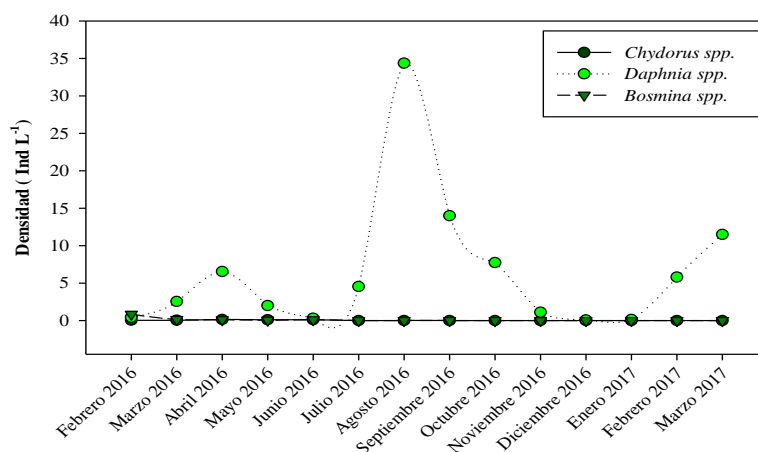


Figura 21. Densidad de individuos de la clase Brachiopoda del lago.

4.2.5. Selección de individuos para tratamientos

Para la realización de los bioensayos se seleccionaron a los especímenes con mayor tamaño y abundancia, el orden cyclopoida con la especie *Acanthocyclops spp.*, y la especie *Daphnia spp.* del orden cladóceras, a continuación se presentan los resultados de densidad de zooplancton en un litro de agua por mes durante un año, los valores se muestran en la tabla 10. El orden Copépoda fue el más abundante ya que el género *Acanthocyclops* y su estado de desarrollo de *nauplius cyclopoidea* son los que predominan con un valor de 94 y 30 ind L⁻¹ respectivamente. Mientras que el orden Cladóceras se encuentra en menor cantidad con una densidad de 7 ind L⁻¹.

Tabla 10. Densidad de individuos de mesozooplancton del lago Yahuarcocha

Mes	<i>Acanthocyclops spp.</i> [Ind L ⁻¹]	<i>Cyclopoid nauplius</i> [Ind L ⁻¹]	<i>Daphnia spp.</i> [Ind L ⁻¹]
feb-16	76,10	6,50	0,43
mar-16	88,80	1,33	2,53
abr-16	89,07	10,47	6,53
may-16	93,00	1,90	2,00
jun-16	161,53	77,67	0,30
jul-16	115,70	114,60	4,53
ago-16	43,50	131,80	34,37
sep-16	206,13	43,80	14,00
oct-16	57,17	37,60	7,73
nov-16	41,40	0,27	1,10
dic-16	79,63	0,33	0,07
ene-17	71,87	0,03	0,13
feb-17	90,97	0,07	5,80
mar-17	110,10	0,07	11,50
Densidad	94,64	30,46	7,00

En la figura 23, se muestra los dos géneros de zooplancton que fueron seleccionados para implementarlos en los bioensayos del presente trabajo, estos organismos fueron considerados según la importancia ecológica que cumplen en el lago tomando en consideración lo que indica en su trabajo Cabrera (2015), el literal a

corresponde a la especie *Daphnia spp.* y el b corresponde a la especie de *Acanthocyclops spp.*, siendo los géneros más abundantes del de mesozooplankton del lago Yahuaracocha.



Figura 22. Género *Acanthocyclops* ^(a), Género *Daphnia* ^(b)

4.2.6. Crecimiento del fitoplancton en bioensayos

- **Bioensayo 1**

Se lo realizó en la época ecológicamente lluviosa se representa en la figura 23, en la cual se observa el crecimiento del fitoplancton en cada uno de los tratamientos aplicados en el mes de marzo. El T1 y T2 se obtuvo un crecimiento de $9.45E^{-4}$ y $9.65E^{-4}$ RFU respectivamente y al compararlos con el valor del control de $8.57E^{-4}$, se puede evidenciar una disminución de biomasa algal en el que contenía *Ancanthocyclops spp.*, es decir que las dos clases taxonómicas presentan diferente pastoreo sobre el fitoplancton como lo estableció Sommer *et al.* (2001), quien determinó que la mayoría de las especies de fitoplancton son negativamente afectadas por *Daphnia* y al contrario los copépodos afectan positivamente.

Sommer y Sommer (2006), en su trabajo mencionan que en el pastoreo se debe considerar el tamaño del fitoplancton, ya que en los bioensayos que se realizaron en este estudio se observó que aquellos tratamientos que contenían cladóceros con

fitoplancton pequeño, el pastoreo era negativo y uniforme; y en el caso de los bioensayos con fitoplancton grande, los copépodos no causaban mayor impacto.

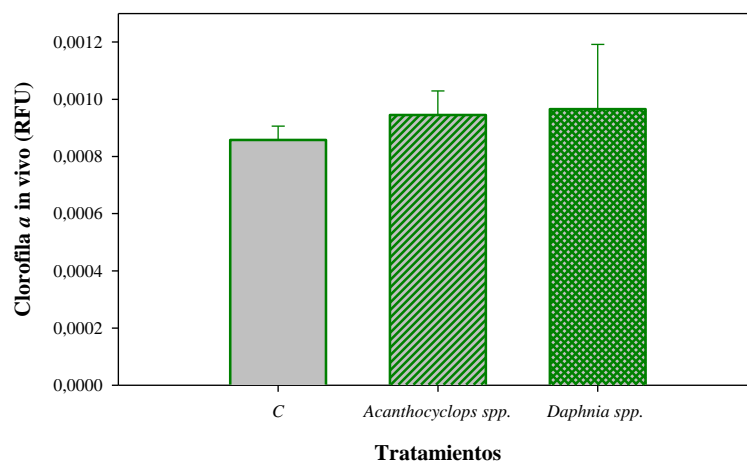


Figura 23. Resultados del bioensayo uno, con los tratamientos T1 y T2 aplicados en marzo.

- **Bioensayo 2**

Se realizó en la época ecológicamente lluviosa en el que se aplicó dos tratamientos en el mes de abril, la réplica del T1 y T2 se obtuvo $5.71E^{-4}$ y $2.91E^{-3}$ RFU de crecimiento en biomasa algal, en contraste con el valor del control de $7.15E^{-3}$ RFU, se puede mencionar que existió un leve control en el crecimiento del fitoplancton en el tratamiento con *Acanthocyclops spp.* y *Daphnia spp.*, respectivamente. (Figura 24).

En el tratamiento T1 se repite la ligera disminución de niveles de clorofila *a* que se muestran en la figura 23 del bioensayo 1. Manzumder (1994), atribuye que esta disminución se debe a la efectividad que caracteriza a la familia Daphnidae como consumidores de fitoplancton por su proceso de filtrado como mecanismo de alimentación, esto se respalda en el trabajo realizado por Tessier y Bozina (2001), los que obtienen valores positivos de impacto sobre la biomasa algal. De igual manera Mauchline (1998), considera a los copépodos organismos planctónicos con mayor impacto alimentario, a pesar de no solo alimentarse de fitoplancton.

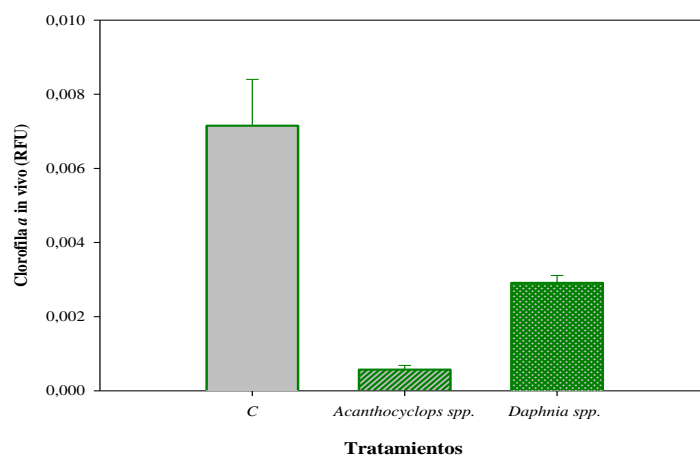


Figura 24. Resultados del bioensayo dos, con los tratamientos T1 y T2 aplicados en abril.

- **Bioensayo 3**

El tercer bioensayo realizado en la época ecológicamente seca en el mes de agosto (Figura 25), se evidencia en los resultados de los tratamientos T1 y T2, con un valor de $2.73E^{-3}$ y $3.15E^{-3}$ RFU de clorofila *a* y al compararlo con el valor de $3.27E^{-3}$ RFU del control, se concluye que existió pastoreo sobre la biomasa algal. Los valores obtenidos en este bioensayo evidencian cambios de pastoreo en la época lluviosa, y esto puede deberse a la composición de fitoplancton que según Caicedo (2015) y Ochoa (2017), fluctúa de mes a mes y también debido a que el zooplancton no solo se alimenta de fitoplancton, sino también de bacterias, protozoos, ciliados etc, (Mauchline, 1998).

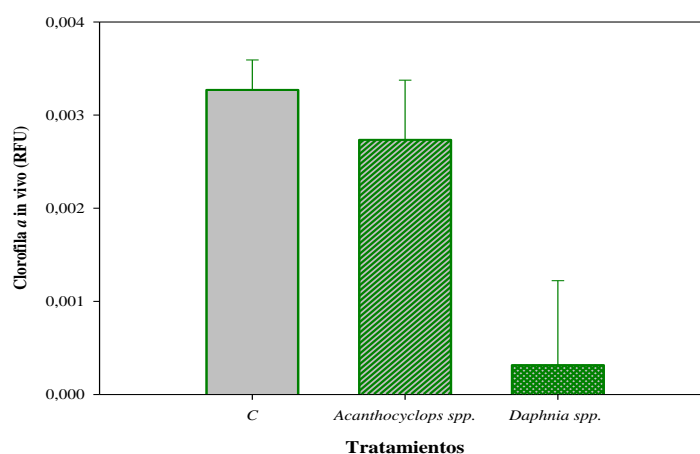


Figura 25. Resultados del bioensayo tres, con los tratamientos T1 y T1 en agosto.

- **Bioensayo 4**

Los resultados del cuarto bioensayo realizado en la época ecológicamente seca (Figura 26), en la que se observa los valores de clorofila *a* de $-1.14E^{-3}$ y $2,24E^{-4}$ RFU en el tratamiento del T1 y T2, al compararlos con el valor del control de $1.29E^{-3}$ RFU, muestra que los niveles de clorofila *a* disminuyeron en el tratamiento que contiene *Acanthocyclops spp.* mostrando que el crecimiento fue totalmente disminuido. El tratamiento que contenía *Daphnia spp.* presentó una leve variación en los valores de clorofila *a* , concluyendo que existió pastoreo. Los resultados obtenidos en este bioensayo fueron similares a aquellos del segundo y tercer bioensayo. Iguales resultados obtuvieron Hernández *et al.* (2007) y Giraldo *et al.* (2014), justificándolo por los cambios en la población de fitoplancton que depende de la estadía de vida, el tamaño, concentración y composición de los organismos.

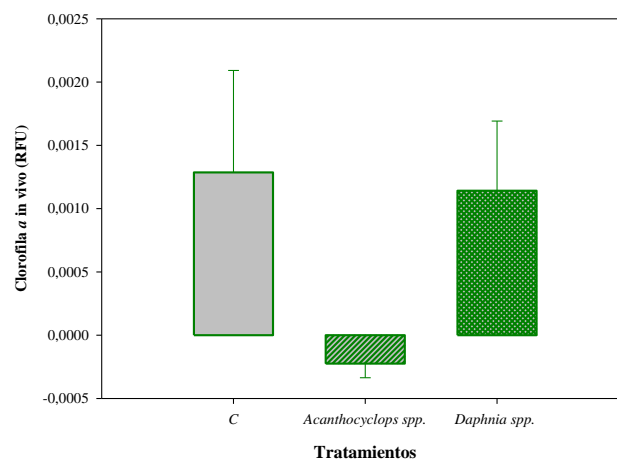


Figura 26. Resultados del bioensayo cuatro, con los tratamientos T1 y T2 en septiembre.

4.2.7. Análisis de datos de pastoreo según la densidad de mesozooplancton

En el anexo 3, se muestra las gráficas de homogeneidad y normalidad de los datos de cada bioensayo, a continuación se detallan los resultados obtenidos, en el primer y segundo bioensayo colocados en la época ecológicamente lluviosa, se obtuvo el valor de R de 0.99 y 0.98 respectivamente, en los se observa que la normalidad es

mayor a 0,94 por lo tanto todos los datos se encuentran en una distribución normal y son aceptables. El tercero y cuarto presentaron un valor de R de 0.941 y 0.948, concluyendo así que los valores de los dos bioensayos colocados en la época ecológicamente seca tienen una distribución normal. En el caso de la homogeneidad de varianzas permite indicar que ninguno de los bioensayos supera el rango de aceptación, por lo cual los valores tienen un rango de error menor al 30%.

En la tabla 11 se observa el bosquejo del análisis de ordenación simple (One Way) representado en un bosquejo de ANOVA, en el que se muestra los resultados por cada bioensayo, considerando el valor de la prueba de Fisher en todos los bioensayos en comparación a una significancia de 5%. De los bioensayos aplicados en la época ecológicamente lluviosa, en el caso del primer bioensayo se obtuvo como p-value 0.7294 que es mayor a 0.05, el cual muestra que los tratamientos no son significativos estadísticamente por ende se acepta la hipótesis nula. Para el segundo bioensayo se obtuvo un p-value <0.0001, el que indica un 99% de cambios que ejercieron los tratamientos aplicados, lo que permite aceptar la hipótesis alternativa para este caso.

En el tercer y cuarto bioensayo colocados en la época ecológicamente seca se obtuvieron los siguientes valores: <0.0003 y <0.0001, mismos que son menores que el p-value (0.05) y así permiten concluir que los tratamientos aplicados si generaron cambios, ya que son considerados altamente significantes estadísticamente por lo que no se rechaza la hipótesis alternativa.

Tabla 11. Bosquejo de análisis de ANOVA del bioensayo uno, dos, tres y cuatro

Factor de Varianza (FV)	Suma de cuadrados (Sc)	Grados de libertad (gl)	Cuadrados medios (CM)	Factor calculado (F. cal)	p-valor 5%
Bioensayo 1					
Modelo.	3.1E-07	2	1.6E-07	0.33	0.7294
Zoo	3.1E-07	2	1.6E-07	0.33	0.7294
Error	2.8E-06	6	4.7E-07		
Total	3.1E-06	8			
Bioensayo 2					
Modelo.	8.3E-04	2	4.1E-04	580.83	<0.0001
Zoo	8.3E-04	2	4.1E-04	580.83	<0.0001

Error	4.3E-06	6	7.1E-07		
Total	8.3E-04	8			
Bioensayo 3					
Modelo.	9.7E-05	2	4.8E-05	43.92	<0.0003
Zoo	9.7E-05	2	4.8E-05	43.92	<0.0003
Error	6.6E-06	6	1.1E-06		
Total	1.0E-04	8			
Bioensayo 4					
Modelo.	5.4E-05	2	2.7E-05	272.63	<0.0001
Zoo	5.4E-05	2	2.7E-05	272.63	<0.0001
Error	5.9E-07	6	9.9E-08		
Total	5.4E-05	8			

4.2.8. Pastoreo de mesozooplancton

La tasa de pastoreo que se obtuvo en cada uno de los bioensayos se describe en la tabla 12, en la que se evidencia que en la mayoría de los bioensayos el pastoreo es negativo, tanto en la tasa de pastoreo (g), tasa de filtración (F), tasa de ingesta (I) y porcentaje de fitoplancton consumido, con excepción en el bioensayo 4 en el tratamiento que contenía *Acanthocyclops spp.*, estos datos son totalmente contrarios a los reportados por Hernández *et al.* (2007), donde explica la razón de los datos de pastoreo que obtuvieron. La tasa de crecimiento de fitoplancton (K) en todos los bioensayos fue positiva ya que como lo menciona Wetzel (2001) los lagos eutróficos tienen altos valores de crecimiento de fitoplancton.

Tabla 12. Tasa de pastoreo del bioensayo uno, dos, tres y cuatro

Tratamientos	Tasa de pastoreo (g)	Tasa de filtración (F)	Tasa de ingesta (I)	Tasa de crecimiento de fitoplancton (K)	Porcentaje de fitoplancton consumido P (%)
Bioensayo 1					
<i>Daphnia spp.</i>	-8,82E-04	-8,82E-02	-7,33E-03	8,26E-04	-93,67
<i>Acanthocyclops spp.</i>	-7,70E-04	-3,85E-03	-3,18E-04	8,26E-04	-107,26
Bioensayo 2					
<i>Daphnia spp.</i>	-2,91E-03	-1,47E+00	-1,02E-01	7,17E-03	-246,40
<i>Acanthocyclops spp.</i>	-5,71E-04	-2,85E-03	-1,76E-04	7,17E-03	-1256,90

Bioensayo 3					
<i>Daphnia spp.</i>	-3,28E-04	-1,64E-02	-8,17E-04	3,27E-03	-997,32
<i>Acanthocyclops spp.</i>	-2,74E-03	-1,37E-02	-7,66E-04	3,27E-03	-119,40
Bioensayo 4					
<i>Daphnia spp.</i>	-1,15E-03	-5,73E-02	-4,40E-03	1,24E-03	-107,87
<i>Acanthocyclops spp.</i>	2,24E-04	1,12E-03	8,06E-05	1,24E-03	551,66

La tabla 13, expresa la tasa de pastoreo de los cuatro bioensayos, en los que se obtuvo valores negativos, con excepción en el bioensayo 4. En el primero se obtuvo $-8.82E^{-4}$ y $-7.70E^{-4}$ en cada tratamiento de *Daphnia spp.* y *Acanthocyclops spp.* respectivamente, de igual forma se expresan los valores $-2.91E^{-3}$ y $-5.71E^{-4}$ del segundo bioensayo, el tercero presento $-3.28E^{-4}$ y $-2.74E^{-3}$ y el cuarto con $-1.15E^{-3}$ y $2.24E^{-4}$. La excepción del valor positivo en el pastoreo se debe a que corresponde al tratamiento que contiene 100 individuos de copépodos y como se observa en la figura 26 del bioensayo 4, muestra que existe una disminución en la cantidad de clorofila *a*. Así se concluye el pastoreo efectivo y como lo expresa Giraldo *et al* (2014), estos organismos son buenos predadores debido a su abundancia, tamaño y dependiendo de las condiciones del ecosistema el impacto puede variar. Por el contrario para los otros casos se justifican los valores negativos debido a que la disminución clorofila *a* fue muy leve.

Tabla 13. Tasa de pastoreo de mesozooplancton del lago

Tratamientos	Tasa de pastoreo (g)
Bioensayo 1	
<i>Daphnia spp.</i>	-8,82E-04
<i>Acanthocyclops spp.</i>	-7,70E-04
Bioensayo 2	
<i>Daphnia spp.</i>	-2,91E-03
<i>Acanthocyclops spp.</i>	-5,71E-04
Bioensayo 3	
<i>Daphnia spp.</i>	-3,28E-04
<i>Acanthocyclops spp.</i>	-2,74E-03
Bioensayo 4	
<i>Daphnia spp.</i>	-1,15E-03
<i>Acanthocyclops spp.</i>	2,24E-04

Tasa de filtración (Tabla 14), se evidencia que en tres de los bioensayos se obtuvo valores negativos, a excepción de un tratamiento 1 del bioensayo 4. El primero de los bioensayos presento los siguientes valores $-8.82E^{-2}$ y $-3.85E^{-3}$ en cada tratamiento aplicado, en el segundo se obtuvo $-1.47E^{+00}$ y $-2.85E^{-3}$, $-1.64E^{-2}$ y $-1.37E^{-2}$ para el tercero y en el cuarto $-5.73E^{-2}$ y $1.12E^{-3}$. El ultimo valor positivo corresponde al tratamiento que contenía 100 individuos de *Acanthocyclops spp.*, mismos que debido a la cantidad colocada muestran mayor filtración. Se concluye que los individuos del bioensayo uno, dos y tres no presentan una tasa de filtración suficientemente representativa como para disminuir la clorofila *a*.

Tabla 14. Tasa de filtración de mesozooplancton del lago.

Tratamientos	Tasa de filtración (F)
Bioensayo 1	
<i>Daphnia spp.</i>	-8,82E-02
<i>Acanthocyclops spp.</i>	-3,85E-03
Bioensayo 2	
<i>Daphnia spp.</i>	-1,47E+00
<i>Acanthocyclops spp.</i>	-2,85E-03
Bioensayo 3	
<i>Daphnia spp.</i>	-1,64E-02
<i>Acanthocyclops spp.</i>	-1,37E-02
Bioensayo 4	
<i>Daphnia spp.</i>	-5,73E-02
<i>Acanthocyclops spp.</i>	1,12E-03

La tabla 15, expresa los valores obtenidos en la tasa de ingesta de cada bioensayo, los resultados fueron negativos con una excepción en el bioensayo 4. Para el primero se calculó $-7.33E^{-3}$ y $-3.18E^{-4}$, en el segundo $-1.02E^{-1}$ y $-1.76E^{-4}$, el tercero $-8.17E^{-4}$ y $-7.66E^{-4}$ y el cuarto presenta $-4.40E^{-3}$ y $8.06E^{-5}$. De igual manera con la tasa de pastoreo y filtración, la tasa de ingesta dependió de los valores de clorofila *a*, ya que determina la cantidad de fitoplancton consumido y se basa en la disminución de la biomasa. Esto solo se calculó que fue efectivo en el tratamiento T1 del bioensayo 4 y según Parsons y LeBrasseur (1970) este resultado se justifica porque los copépodos tienen una la tasa de ingesta que depende de la composición, abundancia, estadía de vida y diversidad del fitoplancton.

Tabla 15. Tasa de ingesta de mesozooplancton del lago.

Tratamientos	Tasa de ingesta (I)
Bioensayo 1	
<i>Daphnia spp.</i>	-7,33E-03
<i>Acanthocyclops spp.</i>	-3,18E-04
Bioensayo 2	
<i>Daphnia spp.</i>	-1,02E-01
<i>Acanthocyclops spp.</i>	-1,76E-04
Bioensayo 3	
<i>Daphnia spp.</i>	-8,17E-04
<i>Acanthocyclops spp.</i>	-7,66E-04
Bioensayo 4	
<i>Daphnia spp.</i>	-4,40E-03
<i>Acanthocyclops spp.</i>	8,06E-05

La tasa de crecimiento de fitoplancton (K) se muestra en la tabla 16, en la que se obtuvo en la totalidad de los bioensayos crecimiento positivo, en el primero se obtuvo $8.26E^{-4}$, en el segundo $7.17E^{-3}$, en el tercer bioensayo $3.27E^{-6}$ y el cuarto $1.24E^{-3}$, de tal manera que evidencia la alta productividad en el lago. Los resultados obtenidos en esta tasa evidencian características del estado ecológico de eutrofización del lago por los altos niveles de biomasa algal, corroborando los resultados mencionado por Blomme (2014); Caicedo (2015) y Portilla (2015).

Tabla 16. Tasa de crecimiento de fitoplancton de mesozooplancton del lago.

Tratamientos	Tasa de crecimiento de fitoplancton (K)
Bioensayo 1	
<i>Daphnia spp.</i>	8,26E-04
<i>Acanthocyclops spp.</i>	8,26E-04
Bioensayo 2	
<i>Daphnia spp.</i>	7,17E-03
<i>Acanthocyclops spp.</i>	7,17E-03
Bioensayo 3	
<i>Daphnia spp.</i>	3,27E-03
<i>Acanthocyclops spp.</i>	3,27E-03
Bioensayo 4	
<i>Daphnia spp.</i>	1,24E-03
<i>Acanthocyclops spp.</i>	1,24E-03

La tabla 17, muestra el porcentaje de fitoplancton consumido en cada bioensayo, los datos obtenidos fueron negativos con excepción del cuarto bioensayo. En el

primero con *Daphnia spp.* y *Acanthocyclops spp.* se calculó -93.63% y -107,26% respectivamente. El segundo presento un porcentaje de fitoplancton consumido de -246.40% y -1256.89%, -997.32 y -119.39 % del tercero y el cuarto con -107.87 y 551 %. Los valores obtenidos en el porcentaje de fitoplancton consumidos dependen de los cálculos de la tasa de ingesta, tasa de filtración y la tasa de crecimiento de fitoplancton descritos en la tabla 13, 14, 15 y 16. Concluyendo que la tasa de crecimiento de fitoplancton fue mayor a la tasa de ingesta y de pastoreo; y considerando el valor positivo del tratamiento uno del bioensayo 4 permite aceptar que existe pastoreo de zooplancton que está siendo superado por el crecimiento del fitoplancton debido a que el área de estudio es un lago con mezcla constante que permite la suspensión de nutrientes que originan el crecimiento de la biomasa algal (Roldan y Ramírez, 2008).

Tabla 17. Porcentaje de fitoplancton consumido de mesozooplancton del lago.

Tratamientos	Porcentaje de fitoplancton consumido P (%)
Bioensayo 1	
<i>Daphnia spp.</i>	-93,6745598
<i>Acanthocyclops spp.</i>	-107,262414
Bioensayo 2	
<i>Daphnia spp.</i>	-246,402855
<i>Acanthocyclops spp.</i>	-1256,89894
Bioensayo 3	
<i>Daphnia spp.</i>	-997,32239
<i>Acanthocyclops spp.</i>	-119,397574
Bioensayo 4	
<i>Daphnia spp.</i>	-107,871965
<i>Acanthocyclops spp.</i>	551,661508

4.3. Propuestas de manejo y control

En los bioensayos de biomanipulación el objetivo fue conocer que sucede si se compara igual o distinto número de individuos indistintamente de la clase taxonómica en época seca y lluviosa, sin tomar en cuenta la media de individuos mensuales.

4.3.1. Pruebas de prueba

- **Bioensayo 5**

En el mes de marzo que corresponde a la época lluviosa se obtuvo los siguientes resultados en la figura 27, donde presentan una ligera diferencia en los tratamientos T1, T2 y control. En el T1 que contenía 10 *Acanthocyclops spp.*, la medición de clorofila *a* fue de $1.16E^{-3}$ RFU, en el T2 con 10 *Daphnia spp.* fue de $1.10E^{-3}$ RFU. Estos valores al ser comparados con el control ($8.57E^{-4}$ RFU), permiten concluir que los tratamientos no provocaron disminución en la clorofila *a*. En los resultados del tratamiento 2 en el que se evidencia una leve disminución con respecto al T1 se debe considerar que un copépodo es de menor tamaño con distinto sistema de alimentación y al no solo alimentarse de fitoplancton consecuentemente presenta menor pastoreo en los niveles de clorofila *a* (Giraldo *et al.* 2014). Al contrario, los individuos de *Daphnia spp.* muestran cambios pequeños sobre la biomasa algal, considerando que los cladóceros son caracterizados como aclaradores de agua, por su estructura y mecanismo de filtración; y al ser herbívoros es decir seleccionadores de fitoplancton provocan mayor pastoreo (Maizaud, 2002) y (Frederiksen *et al.*, 2006).

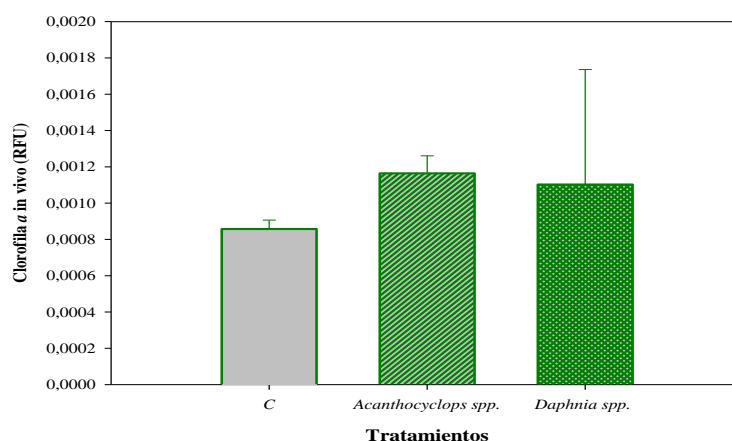


Figura 27. Resultados del bioensayo quinto, con los tratamientos T1 y T2 en marzo

- **Bioensayo 6**

Los resultados del tratamiento T1 y T2 en el mes de abril que corresponde a la época lluviosa (Figura 28), se obtuvo un crecimiento en el control de clorofila *a* de $7.15E^{-3}$ RFU y al compararlo con los tratamientos con *Acanthocyclops spp.* y *Daphnia spp.* con valores de $4.92E^{-4}$ y $7.56E^{-4}$ RFU, se observa disminución en el crecimiento de fitoplancton, existiendo un factor en común para la disminución de clorofila *a*, que según Parsons y LeBrasseur (1970) el pastoreo del mesozooplancton ejerce cambios sobre el crecimiento del fitoplancton dependiendo de la composición y densidad del alimento, es decir cuando los niveles de clorofila *a* varían depende de las especies, el tamaño y abundancia, siendo así importante considerar lo establecido por Ochoa (2017), sobre las comunidades de cianobacterias, que al encontrarse estructuradas como colonia , filamentos y cenobios individuales y agregadas, mismas que son difíciles de ser consumidas por el zooplancton.

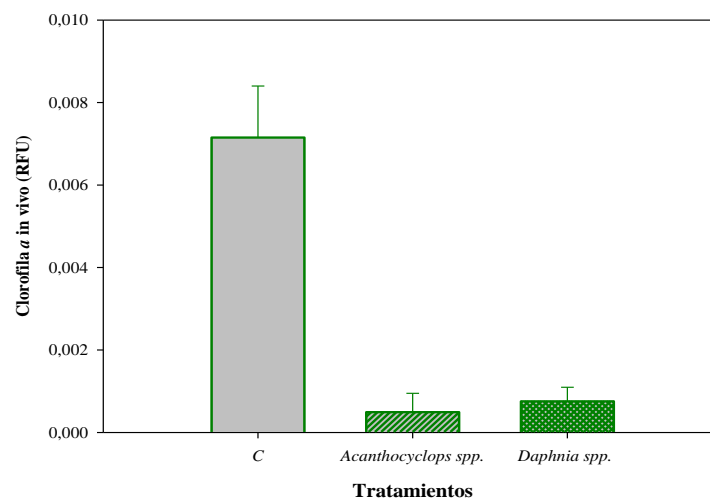


Figura 28. Resultados del bioensayo sexto, con los tratamientos T1 y T2 en abril.

- **Bioensayo 7**

La figura 29, muestra los resultados del bioensayo 7 correspondiente a la época lluviosa. Los tratamientos T1 y T2 colocados en el mes de agosto contienen *Acanthocyclops spp.* y *Daphnia spp.*, en los que se pudo determinar un aumento de

la biomasa algal de $3.72E^{-3}$ y $3.90E^{-3}$ RFU en cada uno. El crecimiento de $3.27E^{-3}$ RFU en el control muestra que a comparación con el T1 y T2 se observa el aumento de clorofila *a*.

Lo que puede ser explicado con datos similares en el trabajo de Blomme (2014), quien determinó que no existe pastoreo del zooplancton sobre el fitoplancton, debido a que en los bioensayos aplicados no identificó cambios en los niveles de clorofila *a*. Sommer y Sommer (2005) y Giraldo *et al.* (2014) consideran que es debido al tamaño del predador que ejercer una presión alimentaria sobre las comunidades de fitoplancton y depende de la composición de la misma.

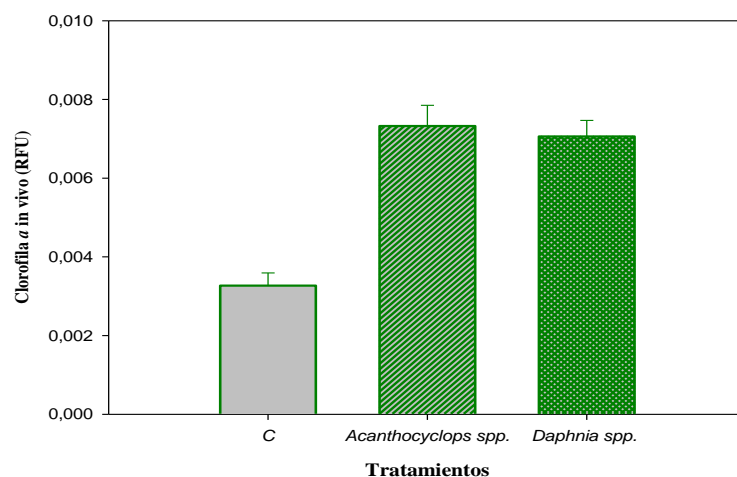


Figura 29. Resultados del bioensayo séptimo, con los tratamientos T1 y T2 en agosto

- **Bioensayo 8**

La figura 30, muestras los valores obtenidos en el mes de septiembre de la época ecológicamente seca, el bioensayo 7 contenía los tratamientos T1 y T2, en los que se calculó un crecimiento de la biomasa algal de $1.29E^{-3}$ RFU en el control y en comparación con los tratamientos T1 y T2 se calculó $8.42E^{-4}$ y $1,26E^{-3}$ RFU respectivamente.

Los resultados muestran un leve aumento en el valor de la clorofila *a*, concluyendo que el mismo número de individuos de distinta clase taxonómica tienen un efecto

distinto como lo describe Cooke (1986), los organismos más grandes como la *Daphnia spp.*, deberían ser los que más eficientes en la reducción de clorofila *a*, pero al contrario es el tratamiento con copépodos el que mostró una disminución ligeramente mayor.

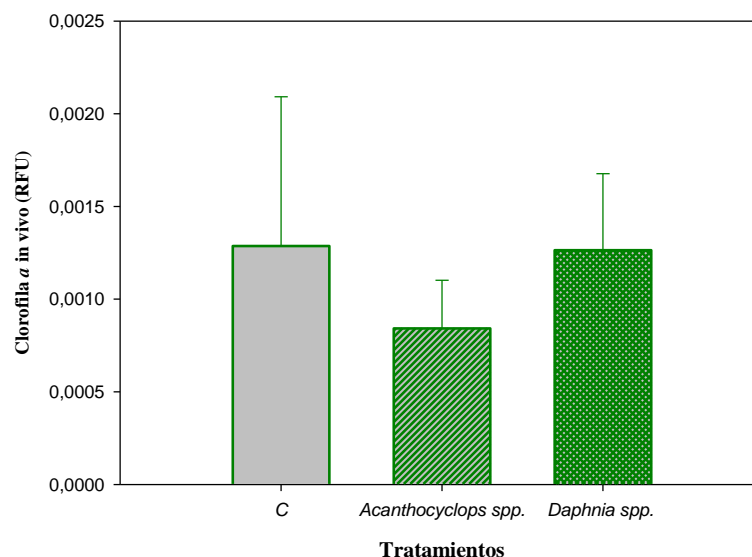


Figura 30. Resultados del bioensayo octavo, con los tratamientos T1 y T2 en septiembre.

- **Bioensayo 9**

El último bioensayo colocado en el mes de octubre, se muestra en la figura 31, en el que se calculó un crecimiento de fitoplancton de $1.29E^{-3}$ en el control, mismo que al compararlo con el tratamiento T1 y T2 se observa valores de $1.14E^{-5}$ y $-5.45E^{-5}$, los que evidencian disminución de clorofila *a*.

En este bioensayo también se demuestra que al someterlo a una especie con mayor tamaño como lo es la *Daphnia pulicaria* la clorofila *a* disminuye y así se puede sugerir estrategias como las realizadas en el trabajo de Gliwicz (1990), quien compara la presión que ejercen las especies en base a su tamaño. Es decir que los cladóceros de mayor tamaño son más efectivos por su mecanismo de alimentación, considerando que su tamaño es directamente proporcional a la cantidad de fitoplancton del que se alimenta.

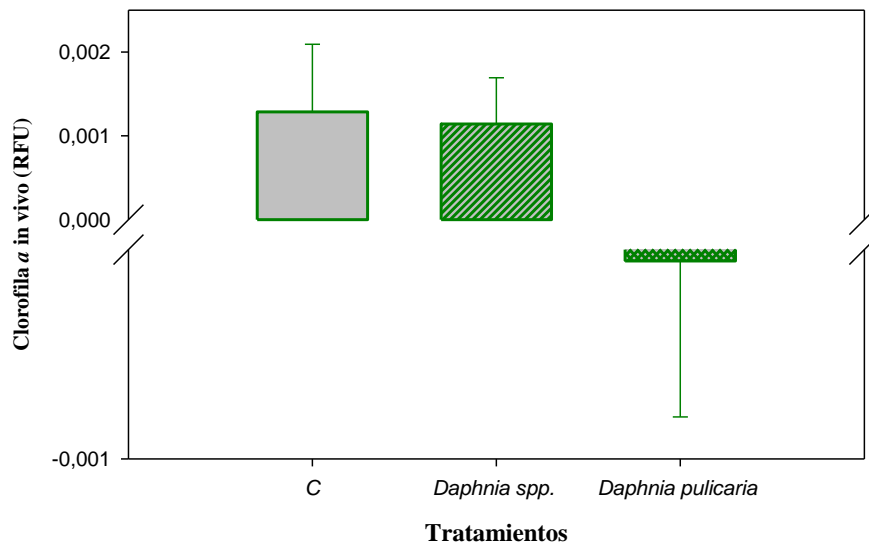


Figura 31. Resultados del bioensayo nueve, con los tratamientos T1 y T2 en octubre

4.3.2. Análisis de datos de los bioensayos de prueba

Las gráficas de normalidad y homogeneidad se muestran en el anexo 3, la normalidad calculada para los bioensayos 5 y 6 colocados en la época ecológicamente lluviosa, fue de 0.98 y 0.97 por lo cual se determina una distribución normal de los datos. Para los bioensayos 7,8 y 9 colocados en la época ecológicamente seca se obtuvieron los siguientes valores de R: 0.98, 0.932 y 0.94, lo que indica una distribución normal de los datos de cada bioensayo. En cuanto a la homogeneidad se determinó que en todos los bioensayos no superan el rango de aceptación del error.

En la tabla 18 se muestra el análisis de varianza realizada para los datos obtenidos en los bioensayos de prueba realizados en el lago. En el quinto y sexto bioensayo colocado en la época ecológicamente lluviosa, se calculó un p-value de 0.4122 y <0.0001 respectivamente, en el caso del quinto se acepta la hipótesis nula, debido a que el valor es mayor a 0.05, así se concluye que los tratamientos no son significativos, al contrario en el sexto en el que se acepta la hipótesis alternativa, ya que el p-value es menor, permitiendo asumir que los tratamientos aplicados si fueron significativos.

En el séptimo y octavo bioensayo colocados en la época ecológicamente seca se calculó los siguientes valores de p-value: 0.3096 y 0.0546, los que muestran ser mayores a 0.05, por lo cual se acepta la hipótesis nula y se concluye que no fueron significativos estadísticamente, el noveno bioensayo en el que aplicó individuos de mayor tamaño (*Daphnia pulicaria*) se calculó un p-value de <0.0001, concluyendo que los tratamiento aplicados fueron altamente significativos estadísticamente, por lo que se acepta la hipótesis alternativa.

Tabla 18. Bosquejo de análisis de ANOVA de los bioensayos 5, 6, 7, 8 y 9.

Factor de Varianza (FV)	Suma de cuadrados (Sc)	Grados de libertad (gl)	Cuadrados medios (CM)	Factor calculado (F. cal)	p-valor 5%
Bioensayo 5					
Modelo.	2.5E-06	2	1.3E-06	1.03	0.4122
Zoo	2.5E-06	2	1.3E-06	1.03	0.4122
Error	7.4E-06	6	1.2E-06		
Total	9.9E-06	8			
Bioensayo 6					
Modelo.	1.0E-03	2	5.2E-04	1320.84	<0.0001
Zoo	1.0E-03	2	5.2E-04	1320.84	<0.0001
Error	2.4E-06	6	4.0E-07		
Total	1.0E-03	8			
Bioensayo 7					
Modelo.	5.1E-06	2	2.6E-06	1.43	0.3096
Zoo	5.1E-06	2	2.6E-06	1.43	0.3096
Error	1.1E-05	6	1.8E-06		
Total	1.6E-05	8			
Bioensayo 8					
Modelo.	5.2E-06	2	2.6E-06	4.91	0.0546
Zoo	5.2E-06	2	2.6E-06	4.91	0.0546
Error	3.2E-06	6	5.3E-07		
Total	8.4E-06	8			
Bioensayo 9					
Modelo.	4.2E-05	2	2.1E-05	123.62	<0.0001
Zoo	4.2E-05	2	2.1E-05	123.62	<0.0001
Error	1.0E-06	6	1.7E-07		
Total	4.3E-05	8			

4.3.3. Propuesta de manejo y control

La propuesta de manejo y control de mesozooplankton sobre fitoplancton se detalla a continuación, en el que se describe los antecedentes y las especificaciones de propuesta.

- **Antecedentes de la propuesta**

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se determinó que el crecimiento del fitoplancton es mayor al que puede consumir el mesozooplankton, sin embargo, se consideró los resultados obtenidos en cada bioensayo de prueba, tomando como referencia el bioensayo 6 y 9. En los que acepta la hipótesis alternativa porque los tratamientos aplicados mostraron cambios en el crecimiento de la biomasa algal y son significativos estadísticamente. Para lograr un mejoramiento en el funcionamiento de la cadena trófica, como lo establece Dawidowicz y Gliwicz (1987), en su representación esquemática de biomanipulación (Figura 32).

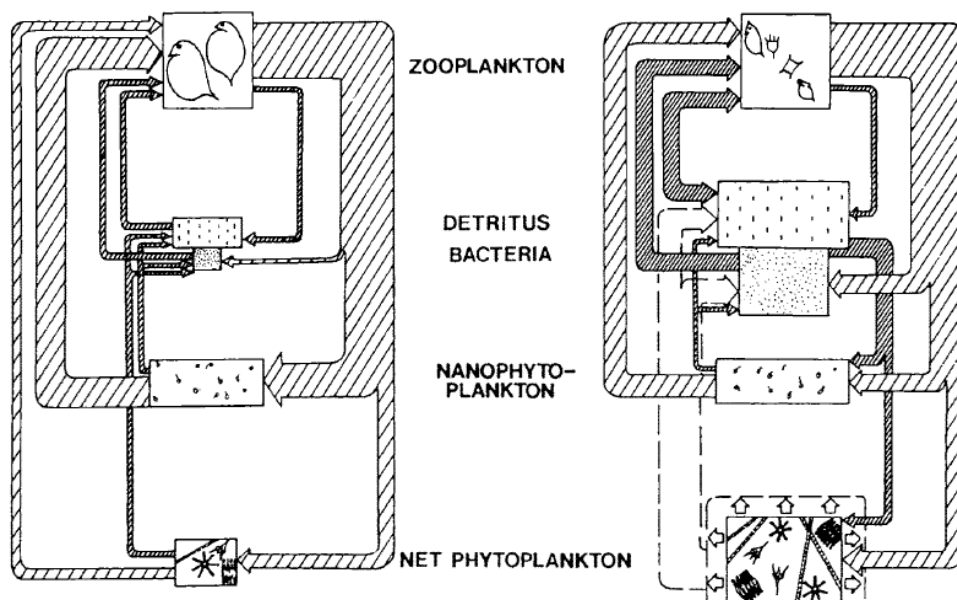


Figura 32. Representación esquemática de la habilidad de zooplankton para controlar el fitoplancton.

Fuente: (Dawidowicz y Gliwicz, 1987)

El potencial de manejo que posee un ecosistema acuático como lo menciona Gophen (1990) depende de las características morfológicas. Los ecosistemas someros en estado de eutrofización tienen grandes oportunidades de restauración a través de estrategias de biomanipulación. Este tipo de cuerpos lacustres se caracterizan por ser polimícticos y tener una composición homogénea de organismos en su columna de agua. En el Lago Yahuarcocha se puede interferir en el segundo eslabón de la cadena trófica, considerando que los resultados de los tratamientos colocados en el bioensayo 6 y 7 muestran que al hacer cambio en las cantidades de organismos zooplanctónicos existe una variación en la biomasa algal.

Las poblaciones de fitoplancton de lago Yahuarcocha están representadas en mayor abundancia por cianobacterias y como lo menciona Saelens (2015), no son consumidas por el mesozooplancton porque no se encuentran en el rango de ingesta de los organismos zooplanctónicos; y a que la densidad de las clases taxonómicas de zooplancton es predominada por clase Copépoda y Rotatoria.

Según la metodología del F.O.D.A establecida por Flores *et al.* (2008), como un método para establecer proyectos y propuestas, se determinó la fortaleza, oportunidad, debilidad y amenaza (Tabla 19), que se elaboró acorde a los resultados obtenidos.

Tabla 19. Análisis F. O. D. A

Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Existencia de pastoreo de mesozooplancton sobre el fitoplancton. Potencial para aplicación de biomanipulación	Apertura de autoridades para la ejecución.	Ingreso de carga de nutrientes al lago	Alteración de la cadena trófica

Se propone aplicar la técnica base de biomanipulación, la que consta de la reducción de la presencia de las especies plantívoras sobre las comunidades del lago. Y a

través de la introducción de especies piscívoras que permitan al zooplancton aumentar sus poblaciones y controlar el crecimiento de la biomasa algal, efectuándose o implantándose mesocosmos *in situ* que contengan tratamientos para determinar el número de especies que podrán controlar el fitoplancton. Siendo necesario realizar un muestreo del componente ictiológico para determinar la composición y densidad de especies (Gulati *et al.*, 1990). Y en complementación se propone iniciar con la siguiente propuesta:

- **Propuesta de protocolo de implementación de biomanipulación en el lago Yahuarcocha**

a) Objetivo general de propuesta

- Proponer un protocolo de implementación de biomanipulación en el lago Yahuarcocha.

b) Objetivos específicos de propuesta

- Determinar la densidad mensual de individuos de las clases taxonómicas de zooplancton predominantes del lago.
- Conocer el pastoreo mensual del zooplancton sobre el fitoplancton del lago.
- Analizar el control temporal de las comunidades de zooplancton.

c) Metodología de propuesta

La metodología propuesta se presenta en tres fases, determinación de la densidad de individuos, pastoreo y análisis del control que ejercen el zooplancton en el lago.

a. Determinación de la densidad de las comunidades zooplanctónicas

- **Fase de campo**

Monitorear cada mes el lago, tomando en cuenta las consideraciones de Caicedo (2015) y Portilla (2015) para la colecta de muestras de parámetros físico-químicos y biológicos. Específicamente para zooplancton se debe colectar las muestras con la ayuda de la Trampa Schidler Patalas con capacidad de 30 litros como lo sugiere Rice *et al.* (2012), se recomienda tomar las muestras del punto más profundo a nivel superficial, mismas que deben ser fijadas con formaldehído al 4%, para su cuantificación (Figura 33).



Figura 33. Colecta de muestra de zooplancton.

- **Fase de laboratorio**

La cuantificación consta de colocar alícuotas de las muestras en una caja petrí con cuadrícula y proceder a observar en un microscopio invertido, los valores y las especies contadas se deben registrar en una hoja de conteo. Se debe calcular la densidad por cada litro ya que la muestra contiene la densidad de 30 litros.

- b. Pastoreo de zooplancton**

Para determinar el control que seguirá ejerciendo el zooplancton se recomienda continuar aplicando bioensayos mensuales que contengan tratamientos con el promedio de individuos por cada 1000 ml, se sugiere que se deben colocar en el punto más profundo, tomando en cuenta la zona fótica del lago. Se recomienda

seguir el proceso de preparación, colocación y análisis realizado en el presente estudio (Figura 35).



Figura 34. Estructura con bioensayos listo para colocar en el lago.

Los tratamientos a aplicar deben basarse en los ya realizados en el presente estudio, según el análisis estadístico el más apropiado debido al impacto significativo es el bioensayo 9 en la época ecológicamente seca y el bioensayo 6 en la época ecológicamente lluviosa. Mismos que están compuestos de dos tratamientos, con el promedio de individuos de *Acanthocyclops spp.* y *Daphnia spp.* por litro de agua del lago, cada uno con al menos tres replicas, pero para obtener mayor representatividad del pastoreo se recomienda hacer más de 5 réplicas.

La selección y separación del número de individuos debe realizarse con muestras vivas colectadas directamente del lago un día antes a la colocación. Para obtener especies sometidas a las características reales del lago, la captura se puede realizar con red de arrastre de 64m o con una trampa de captura (Schidler patalas). El transporte de las muestras debe realizarse en frascos de color oscuro de 1000 ml, evitando movimientos bruscos para evitar la muerte de las especies. Para mantener las muestras vivas se debe colocar en agua del lago en un recipiente de 10 veces la cantidad de la muestra, añadir la muestra y un oxigenador en mínimo nivel y dejar reposar en un sitio donde no exista gran cantidad de luz.

Para la colocación de la estructura en el lago, se debe considerar la zona fótica, en el caso de Yahuarcocha la estructura y mesocosmos o botellas deben estar expuestos a la superficie, recordando que no va a existir inconvenientes con los rayos UV por la malla de color oscuro que disminuye el 10% de la radiación, caso contrario se podría obtener crecimiento negativo o muerte de las especies fitoplanctónicas o zooplanctónicas. Luego de los días de incubación (2 días), la medición de los cambios en la clorofila *a* se debe realizar con un fluorímetro y según las especificaciones de equipo elegir el canal de medición apropiado para clorofila *a in situ*. También se recomienda hacer mediciones de niveles de ficocianina para determinar los cambios en especies de cianobacterias, que según Caicedo (2015) y Ochoa (2017), estas predominan en el lago.

Además, se sugiere colocar bioensayos con peces plantívoros y piscívoros y microzooplancton, ya que en el presente trabajo se obtuvo un importante pastoreo en el bioensayo 9, en el que se añadió individuos más grandes de cladóceros, por ende al disminuir la presión alimenticia sobre el zooplancton, este podría aumentar de tamaño, y como lo esquematiza Dawidowicz y Gliwicz (1987), cuando el ecosistema puede tener predadores más grandes (zooplancton) la población se regula y existe un aclaramiento en el agua, esto también se respalda en el trabajo realizado por Gliwicz (1990), quien probó que las especie de mayor tamaño consumen más fitoplancton.

c. Análisis de control de zooplancton

Para el análisis se debe calcular el pastoreo con las fórmulas indicadas en el 3.4.8 de la metodología aplicada en esta investigación, a través de la cual se obtendrá el impacto alimentario que está ejerciendo el zooplancton en el lago. Además de aplicar un análisis se sugiere estructurar el diseño experimental (Diseño Irrestricto al Azar), para conocer si los resultados obtenidos varían o se asemejan unos a otros, en el que se puede aplicar un Anova One Way con la prueba estadística de Fisher para conocer si existe significancia en el pastoreo de cada bioensayo.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los niveles de clorofila *a* en el lago, presentaron fluctuaciones mensuales las que se relacionaron con las variaciones de temperatura, evidenciando alta productividad de la biomasa algal, la que se justifica en el lago por la eutrofización.
- La comunidad de zooplancton fluctuó de mes a mes y estuvo representada en gran abundancia y diversidad por la clase Rotatoria y en el caso de la clase Brachiopoda y Copépoda presentaron menor cantidad debido a las condiciones de eutrofización del lago.
- El pastoreo de mesozooplancton en el bioensayo uno fue negativo (-107% y -93%), ya que el valor de la clorofila *a* fue mayor, en el que se rechaza la hipótesis alternativa ya que los tratamientos no fueron estadísticamente significantes con un valor de 0.72.
- En el bioensayo dos se determinó disminución en los niveles de clorofila *a* y se acepta la hipótesis alternativa porque los tratamientos fueron estadísticamente significativos con un valor <0.001 , debido a los cambios determinados en el pastoreo de mesozooplancton.

- El bioensayo tres muestra una leve disminución de la clorofila a, así se pudo determinar que los tratamientos aplicados son significantes con un valor de <0.003 por lo que se acepta la hipótesis alternativa.
- En el bioensayo cuatro se acepta la hipótesis alternativa con un valor <0.001 , ya que los tratamientos aplicados provocaron cambios en los niveles de clorofila a, en especial en el tratamiento que contenía *Acanthocyclops spp*, en el que se observa una alta disminución de la productividad.
- En ninguno de los bioensayos se pudo determinar un patrón de pastoreo, ya que las poblaciones de fitoplancton y zooplancton varían en cada bioensayo.
- La biomanipulación es la estrategia que se propone en el estudio ya que permitirá restablecer las poblaciones de zooplancton, para mejorar el pastoreo sobre el fitoplancton del lago.

5.2. Recomendaciones

- Se sugiere continuar monitoreando el componente biótico del lago, específicamente de zooplancton y biomasa alga, para determinar las variaciones de productividad del lago.
- En la aplicación de los bioensayos se debe tener cuidado en la manipulación de los organismos, para evitar la muerte de las especies por estrés en el proceso de incubación, para lo cual se sugiere mantenerlos a oscuridad y al transportarlos evitar fuerte movimientos.
- Considerar los modelos de los equipos a utilizar, debido que depende de la versión para la medición de los parámetros, como por ejemplo la medición de clorofila *a* se realiza en el canal A o B según en equipo.
- En el trabajo de campo se sugiere cumplir con los estándares de cadena de custodia, seguridad y protección para la colecta y toma de muestras en campo.

REFERENCIAS

- Aguirre, C. y Vizcaíno, M. (2009). Aplicación de estimadores estadísticos y diseños experimentales en investigaciones forestales. Universidad Técnica del Norte.
- Aubriot, L., y Bonilla, S. (2013). *Protocolo para la extracción y el análisis de Clorofila-a por espectrofotometría*. Sección Limnología, Facultad de Ciencias, UdelaR.
- Aranguren, J. (2002). Metodos para el estudio de zooplancton de sistemas epicotinentales. pp. 29.
- Bellinger, E., y Sigeo, D. (2010). *Freshwater Algae* (Firt edition). España
- Blomme, J. (2014). *General limnology and zooplankton ecology of two tropical high-altitude lakes in Northern Ecuador: Mojanda & Yahuarcocha*. Laboratory Aquatic Biology, Department Biology, KU Leuven (campus Kortrijk), Ibarra.
- Cabrera, S. (2015). *Análisis temporal y espacial de comunidades zooplanctónicas en los lagos andinos: Yahuarcocha y Mojanda, Ecuador*. Tesis de grado. Universidad Técnica del Norte, Ibarra.

- Caicedo, F. (2015). *Evaluación de la dinámica poblacional del fitoplancton con relación a las características físico-químicas del lago altoandino Yahuarcocha*. Tesis de grado. Universidad Técnica del Norte, Ibarra.
- Caziani, M y Derlindati E. 1999. *Humedales altoandinos del Noroeste de Argentina: su contribución a la biodiversidad regional*. Pp. 1-13
- Cervantes, M. (1994). Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México. *Escenarios Acuáticos*, 37-67.
- Conde, J., Ramos, E., y Morales, R. (2004). *El zooplancton 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*. ESPOCH.
- Cooke, G. (1986), *Advanced Treatment and Diversion of wastewater and Stormwater in lake and reservoir restoration*. Boston. 55-74.
- Dawidowicz, P. y Gliwicz, Z. (1987). *Biomanipulation III, The role of direct and indirect relationship between phytoplankton and zooplankton*. *Wiadomosci Ekolog.* 33: 259-277.
- De Infante, A. (1988). *El plancton de las aguas continentales*. Secretariado General de la Organización de Estados Americanos – Programa de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington D.C.
- De la Fuente, S. (2000). *Análisis de la varianza*. Gestión Aeronáutica; Estadística Teórica Facultad Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad Autónoma de Madrid.

- Elser, J., Carney, H. y Goldman, C. (1990). *The zooplankton-phytoplankton interface in lakes of contrasting trophic status: an experimental comparison. Hydrobiologia* 200/201: 69-82.
- FMCN, FMCEA, y FEP. (2010). *Libro verde, el patrimonio natural de México, amenazas y herramientas para resolverlas*. Estados Unidos.
- Frederiksen, M., Edwards, M., Richardson, A., Halliday, N. y Wanless, S. (2006). *From plankton to tops predators: bottom up control of a marine food web across four trophic levels. J. Anim. Ecol.*, 75: 1259-128.
- Hanson, M y Butler, M. (1994). *Responses of plankton, Turbidity and Macrophytes to Biomanipulation in a Shallow Prairie Lake. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 51: 1180-1188.
- Hernández, S., Zárate, A., Pacheco, R., Esqueda, G., Reyes, J. y Aceves, G. (2007). *Pastoreo de mesozooplankton en la Bahía de la Paz, B.C.S. México. Hidrobiológica*. 17: 225-231.
- García J., Lara L. y Gaxiola C. 1991. *Daily zooplankton filtration rates off Baja California. Estuarine, Coastal and Shelf Science* 32: 503-510
- Gómez, J. (2005). *Limnología. Capítulo 2. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil*.
- Gliwicz, Z. (1990). *Why do cladocerans fail to control algal blooms?. University of Warsaw. Hidrobiologia*, 200:83-97
- Gophen, M. (1990). *Biomanipulation: Retrospective and Future Development. Hydrobiologia* 200: 1-11.

- Lampert, W., & Sommer, U. (2007). *Limnoecology, The ecology of Lakes and Streams* (Second edition). United States.
- Lammens, E.H.R.R., Gulati, R.D., Meijer, M.L. y Van Donk, E. 1990. *The first biomanipulation conference: a synthesis*. *Hydrobiología* 200/201: 619-627.
- Lehman, J. (1980). *Release and cycling of nutrients between planktonic algae and herbivores*. *Limnology. Oceanografic.* 25:620–632.
- Lewis, W. (1996). *Tropical lakes: how latitude makes a difference*. *Perspectives in Tropical Limnology*, 43-64.
- Leibold, M. (1989). *Resource edibility and the effects of predators and productivity on the outcome of trophic interactions*. 134: 922–949.
- Löffler, M. (1972) *Contribution to the Limnology of High-Mountain Lakes in Central America*. *Int. Revueges. Hydrobiol.*, 57, 3: 397-408 .
- Mandonx, T. (2014). *Trophic status and phytoplankton ecology of two lakes in northern ecuador: Yahuarcocha & Mojand*. K.U. Leuven Kulak, Ibarra.
- Mauchline, J. (1988). *The biology of calanoid copepods. Advances in marine biology*. 33. Academic Press, San Diego. California. 710.
- Mayzaud, P., Tirelli, V., Erhif, A., Labat, J., Razouls, S. y Perissimotto, R. (2002). *Carbon intake by zooplankton: importance and role of zooplankton grazing in the Indian sector of the Southern Ocean*. *Deep-Sea Research II*, 49:3169-3187
- Marcano, J. (2005). *Elementos de ecología*. *Limnología*.
- Margalef, R. (1983). *Limnología*. Ediciones Omega. Barcelona.

- Martínez, M y Madroñero, S. (2015). *Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: Caso laguna de La Cocha*. pp. 21-42.
- Mazumder, A. (1994). *Phosphorus-chlorophyll relationships under contrasting zooplankton community structure: Potential mechanisms*. 51: 401–407.
- Mendirubu, F. (2007). *Notas sobre el curso: Estadística aplicada a la forestaría II*. Universidad Nacional Agraria.
- Morales, R., Conde, J. y Cruz, L. (1994). *The zooplankton biomass and food availability in four reservoirs of contrasting trophic status*. *Archive für Hydrobiologie Beihefte Ergebnisse der Limnologie* 40: 161-173.
- Mühlhauser, H y Vila P. (1987) *Dynamic of High Mountain Lakes. Research Perspectives*. *Biol. Med. Exp.* 20: 95-103.
- O'Sullivan, C. (2005). *The Lakes Handbook: Limnology and Limnetic Ecosystems*. Australia: Blackwell Publishing Ltd. 246.
- Parsons, T y LeBrasseur, R. (1970). *The availability of food to different trophic levels in marine food chain*. *Marine food chains*. Oliver Boyd. Edinburgh. 325-343.
- Pennak, R. (1989). *Freshwater invertebrates of the United States*. John Wiley and Sons. New York.
- Portilla, K. (2015). *Evaluación del comportamiento de los parámetros físicos del agua, para determinar el estado trófico del Lago Yahuarcocha, Provincia Imbabura*. Tesis de grado. Universidad Técnica del Norte, Ibarra.

- RAPAL. (2010). *Contaminación y eutrofización del agua, Impactos del modelo de agricultura industrial*. Uruguay.
- Reynolds, C. S. (2006). *The ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press.
- Rice, E., Baird, R., Eaton, A. y Clesceri, L. (2012). *Standard Methods: For Examination of water and Wastewater*. 22ND Edition. American Public Health Association. Washington.
- Shapiro, J. y Wright, D. (1984). Lake restoration by biomanipulation: Round Lake. Minnesota. *Freshwater Biology*.14.
- Saelens, P. (2015). *Ecological functioning of a eutrophic, high-altitude shallow lake in Ecuador, Laguna Yahuarcocha*. K.U. Leuven, Kortrijk, Ibarra.
- Santander, T., Muñoz, I., y Lara, A. (2005). *Ecuador: Informe anual*. Censo Neotropical de Aves Acuáticas, 13.
- Sigeo, D. (2005). *Freshwater Microbiology: Biodiversity and Dynamic Interactions of Microorganisms in the Aquatic environment*. John Wiley & Sons.
- Sommer, U. y Sommer, F. (2005). *Cladocerans versus copepods: the cause of contrasting top-down controls on freshwater and marine plankton*. *Oecología* 147: 183-194.
- Sommer, U., Sommer, F., Santer B., Jamieson, C., Boersma, M., Becker, C. y Hansen, T. (2001). *Complementary impact of copepods and cladocerans on phytoplankton*. *Ecology Letters*, 4: 545-550.
- Sommer, U., Gliwicz, Z., Lampert, W. y Duncan, A. (1986). *The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters*. *Hydrobiology* 106:433–471.

- Teran, O. (2000). *Métodos para el análisis y evaluación de respuestas en el área pecuaria*. México.
- Terneus, E. (2014). *Vegetación acuática y estado trófico de la Lagunas andinas de San Pablo y Yahuarcocha, Provincia de Imbabura, Ecuador*.
- Vigantii, A y Echaniz, S. (2008). *El zooplancton del embalse casa de piedra (la pampa, argentina), Distribución horizontal de abundancia y biomasa*. BioScriba Vol. 1 (2)46-59.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River ecosystems*. Gulf Professional Publishing.
- Willamson, C. (1991). *Copeoda. Ecology and classification of North American freshwater invertebrates*. Academic Press. San Diego.

ANEXOS

Anexo 1

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA BIOENSAYOS

Fecha: -----

Lugar: Lago Yahuarcocha

Componente zooplancton

1. Colecta de individuos para cada tratamiento

Salida: 8 am

Materiales:

1. Red zooplancton
2. Botellas para muestras de zooplancton
3. Bote y estructura (remos)
4. Bomba

1.1. Colecta de individuos (Daphnia y copépodos) para experimentos (Laboratorio-estereomicroscopio)

2. Colocación de experimentos

Salida: 12 pm

Materiales:

1. Bote y estructura (remos)
2. Estructura de experimentos
3. 15 botellas
4. Boya
5. Pesa
6. Amarraderas
7. Ficha de campo
8. Fluorímetro
9. Micropipeta
10. Cubetas
11. Ficha de campo
12. Red de Zooplancton
13. Embudo
14. 12 tubos falcon con zooplancton
15. Marcador
16. Etiquetas
17. Jarra

TRATAMIENTOS	REPLICAS (total 15)	BIOENSAYOS
T2 (+10 D)	3	PRUEBA
T3 (+10 C)	3	
T 1 (+ 5 D)	3	ACTUAL
T 2 (+100 C)	3	
Control	3	CONTROL

PROCEDIMIENTO:

1. Colecta de daphnias y copépodos
2. Filtrado de agua
3. Medición de clorofila *a in situ* con fluorímetro
4. Llenado de botellas de agua previamente filtrada a través red de 64 micras para extraer el zooplancton.
5. Adición de individuos de zooplancton según cada tratamiento
6. Colocar las botellas aleatoriamente en la estructura

Bioensayos de pastoreo						
Fecha			INICIAL Chl <i>a</i>			
Tipo	Zooplancton	REPLICA	FINAL Chl <i>a</i>			
	TRATAMIENTO	NAME	1	2	3	AVERAGE
ACTUAL	Cladóceras (T1)	A1 (+100 C)				
		A2 (+100 C)				
		A3 (+100 C)				
	Copépodo (T2)	B1(+5 D)				
		B2 (+5 D)				
		B3 (+5 D)				
PRUEBA	Cladóceras (TA 1)	C1 (+10 C)				
		C2 (+10 C)				
		C3 (+10 C)				
	Copépodo (TA 2)	D1 (+10 D)				
		D2 (+10 D)				
		D3 (+10 D)				
CONTROL	Control	E 1 (-ZOO)				
		E 2 (-ZOO)				
		E 3 (-ZOO)				

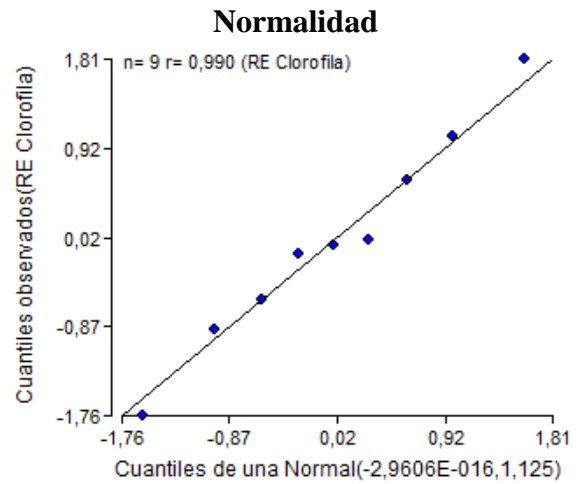
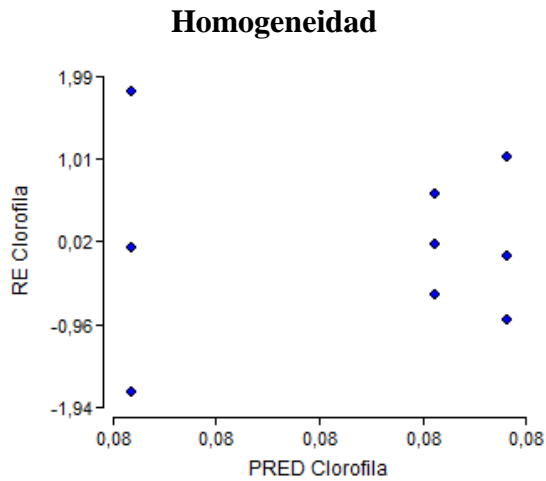
Anexo 2.

Resumen de conteo de zooplancton de 30 litros de agua del Lago Yahuarcocha.															
Profundidad	Mes	Meses													
0m		feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16	ene-17	feb-17	mar-17
Especies	<i>Keratella spp.</i>	215	1350	1316	1170	10997	2197	12118	9299	955	95	2	11	60	109
	<i>Ascomorpha ecaudis</i>	8	22	9	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Ascomorpha saltans</i>	365	687	462	272	1042	52	10	1	0	0	0	0	1	1
	<i>Filinia spp.</i>	6	2	7	1	6	14	25	2	1	0	0	0	0	0
	<i>Poliartha spp.</i>	4	4	10	3	105	541	886	1064	786	0	0	0	0	0
	<i>Brachionus angularis</i>	38	710	802	338	1572	1500	2717	2185	331	6	8	0	4	8
	<i>Brachionus calyciflorus</i>	157	1155	44	90	412	722	48	3	12	0	0	0	0	0
	<i>Brachionus bidentata</i>	0	0	0	0	0	3	115	31	0	0	0	0	2	4
	<i>Asplanchna spp.</i>	27	26	4	3	3	1	15	8	1	0	0	0	0	0
	<i>Colotheca spp.</i>	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Acanthocyclops spp.</i>	2283	2664	2672	2790	4846	3471	1305	6184	1715	1242	2389	2156	2729	3303
	<i>Nauplii cyclopoid</i>	195	40	314	57	2330	3438	3954	1314	1128	8	10	1	2	2
	<i>Chydorus spp.</i>	1	1	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Daphnia spp.</i>	13	76	196	60	9	136	1031	420	232	33	2	4	174	345
<i>Bosmina spp.</i>	25	4	3	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL		3341	6743	5843	4791	21329	12075	22225	20511	5161	1384	2411	2172	2972	3772

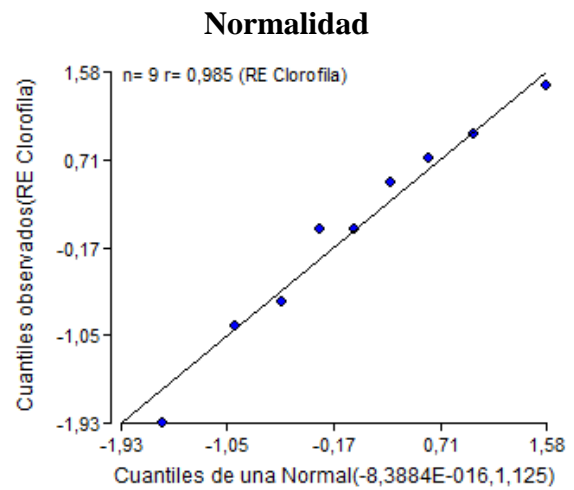
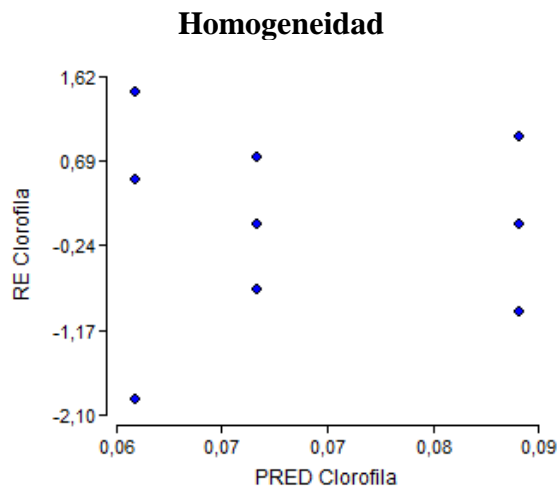
Anexo 3

Gráficas de Homogeneidad y Normalidad de los datos de crecimiento de fitoplancton en cada bioensayo

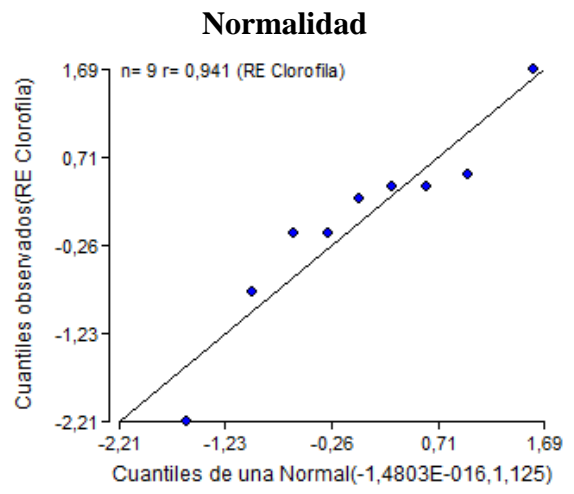
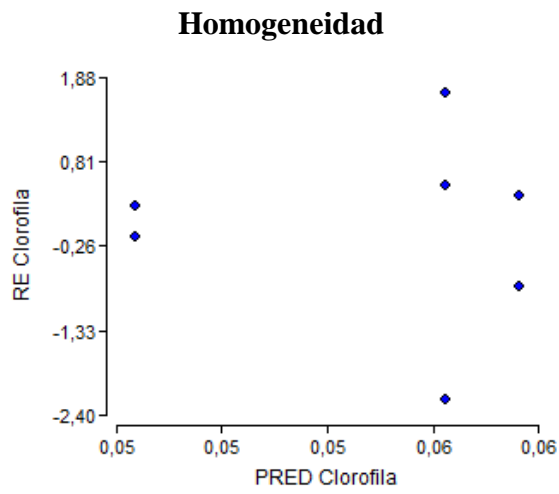
Bioensayo 1



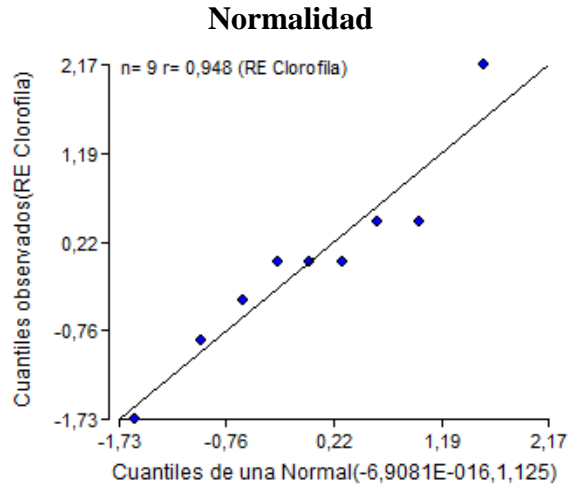
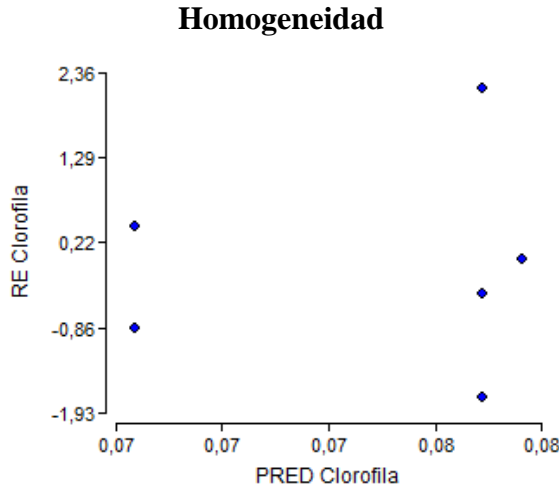
Bioensayo 2



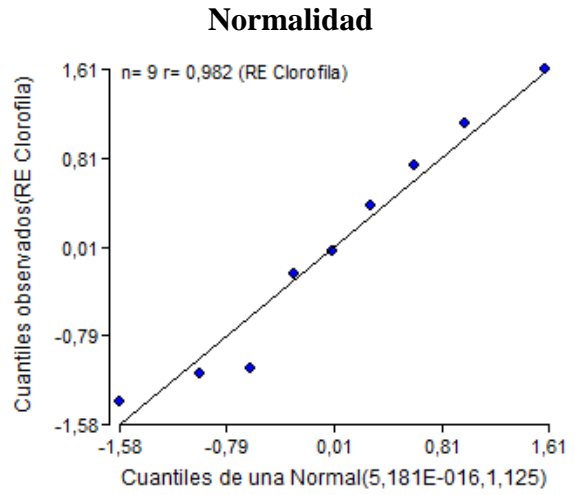
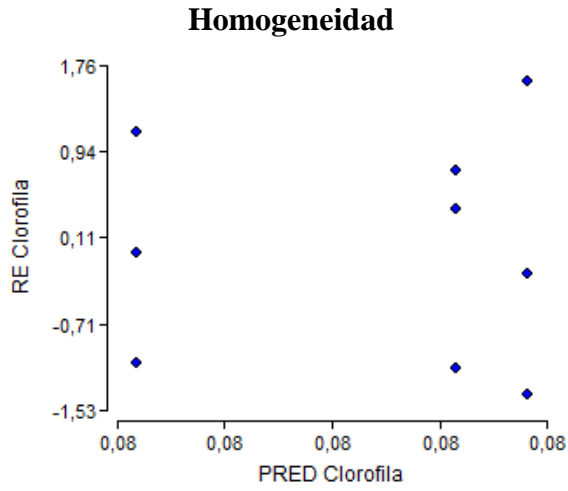
Bioensayo 3



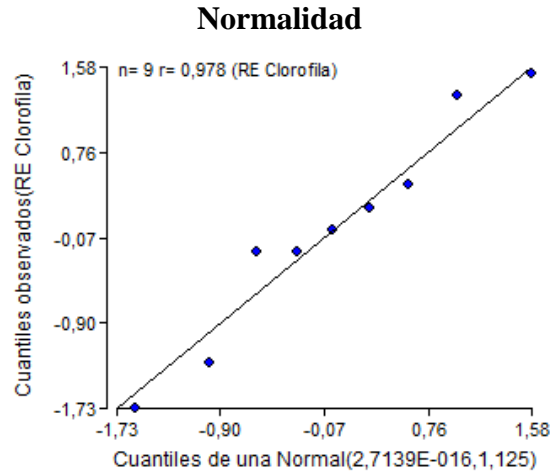
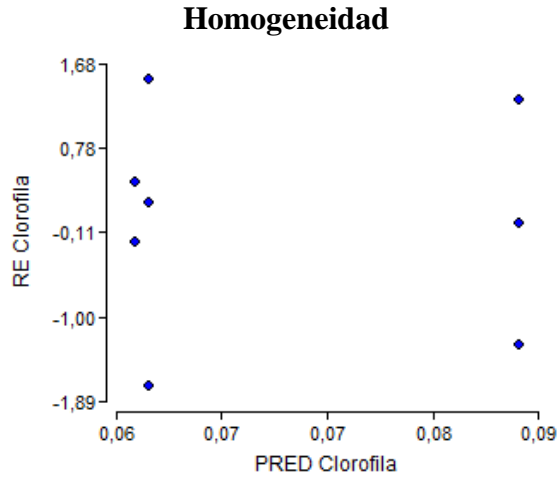
Bioensayo 4



Bioensayo 5

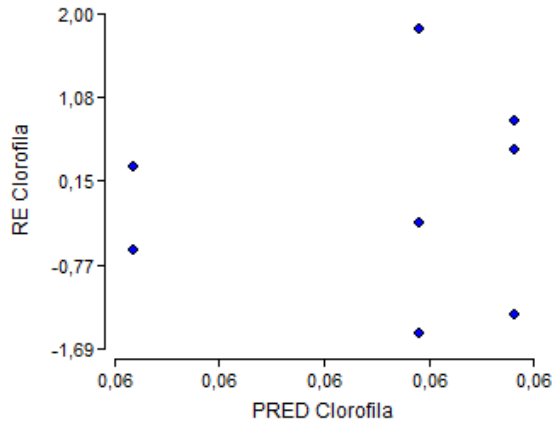


Bioensayo 6

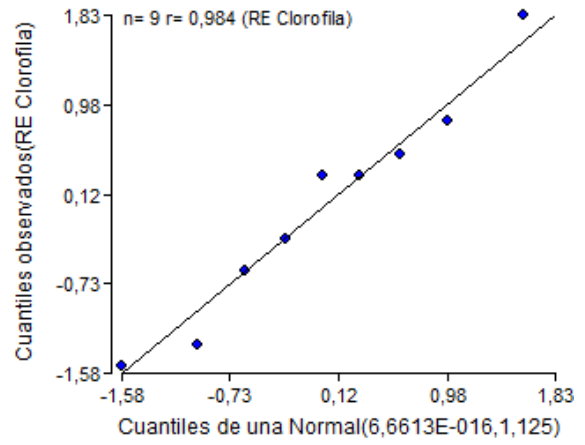


Bioensayo 7

Homogeneidad

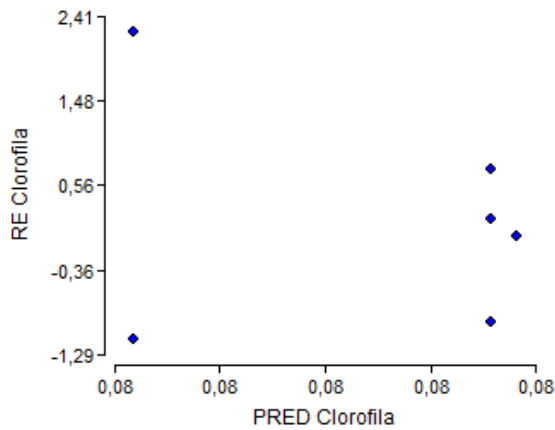


Normalidad

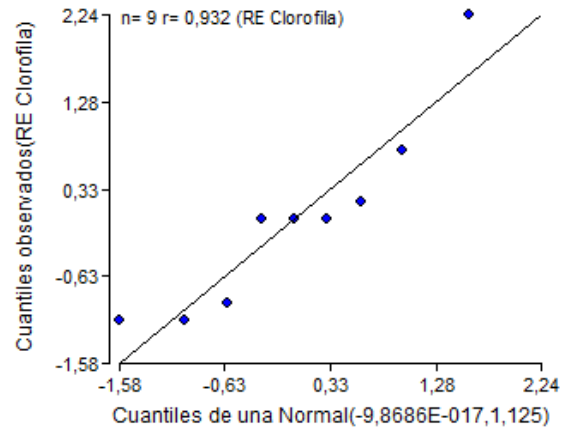


Bioensayo 8

Homogeneidad



Normalidad



Bioensayo 9

