



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

### CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

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

#### AUTOR

JUANA ELIZABETH ASTUDILLO SANCHEZ

#### DIRECTORA

MSc. Elizabeth Velarde

#### ASESORES

MSc. Paul Arias

MSc. Tania Oña

MSc. Sania Ortega

Ibarra – Ecuador

2018

**Lugar de investigación:** Lago de Yahuarcocha-Ecuador

HOJA DE VIDA



**APELLIDOS:** ASTUDILLO SANCHEZ

**NOMBRES:** JUANA ELIZABETH

**C. CIUDADANÍA:** 172258276-2

**TELÉFONO CELULAR:** 099375290

**CORREO ELECTRÓNICO:** elijeas@gmail.com

**DIRECCIÓN:** San Roque/ Sagrado Corazón de Jesús- Bolívar y primavera

**FECHA DE DEFENSA DE TRABAJO DE GRADO:** 21 de mayo de 2018

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

Elizabeth Astudillo<sup>1</sup>, Elizabeth Velarde<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica del Norte

Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales Av. 17 de julio 5-21 y José Córdova,

Ibarra-Ecuador Teléfono: 00593-6-2997800

\*Autor correspondiente: e-mail: elijeas@gmail.com

### 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 mesozooplancton sobre el fitoplancton del lago. Se caracterizó la composición del zooplancton 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 mesozooplancton 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 zooplancton. 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.

**Palabras clave:** Fitoplancton, Mesozooplancton, Pastoreo, biomasa algal, clorofila *a*.

### SUMMARY

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 mesozooplancton 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 mesozooplancton 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.

**Keywords:** Algal biomass, Phytoplankton, Mesozooplancton, Grazing, chlorophyll

## INTRODUCCIÓN

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. 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).

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 Steinizt (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 lénticos 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.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El lago Yahuarcocha se localiza en la provincia de Imbabura, dentro de los valles secos al Norte de la ciudad. El sistema lacustre se encuentra en una depresión volcánica rodeada por zonas agrícolas, urbanas y obras de infraestructura (Santander, Muñoz y Lara, 2005). 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 y restaurantes.

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).

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.

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 (AcuaFluor).

Para establecer los bioensayos fue necesario conocer la media de individuos mensual, se tomó muestras de zooplancton 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.

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 4), luego se procedió a preservar inmediatamente con formaldehido al 4% como lo establece Samanez. *et al* (2014), Sullivan y Reynolds (2004) y Rice *et al.* (2012). El análisis cuantitativo mensual de las muestras colectadas de zooplancton se realizó a través de un estéreomicroscopio a una amplificación de 40 X, los conteos mensuales se efectuaron colocando alícuotas de 5ml en una caja Petri.

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. 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  $\mu$ m, el agua con los individuos fue colocada cuidadosamente en botellas plásticas de 1000 ml e inmediatamente se trasladaron al laboratorio LABINAM.

La captura y separación de las especies de mesozooplancton 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 (Tabla 1 y 2).

Tabla 1. Tratamientos aplicados en los bioensayos uno y dos en la época ecológicamente lluviosa.

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

Tabla 2. Tratamientos aplicados en los bioensayos 3 y 4 en la época ecológicamente seca.

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

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).

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, los tratamientos aplicados se describen en la tabla 3, el cual consta de dos tratamientos, en el primero y segundo se colocó el promedio de individuos por cada 1000 ml de agua del lago, en el T1 la cantidad colocada fue de 5 *Daphnia spp.* y el T2 con 100 individuos de *Acanthocyclops spp.* sin adición de nutrientes, para conocer el nivel de pastoreo que está ejerciendo en el estado puntual de eutrofización que se encuentra el lago. El tercer y cuarto bioensayo se colocó en los últimos días del mes de septiembre y octubre en la época ecológicamente seca, en el cual se realizó variaciones en las cantidades de individuos por cada 1000 ml de agua del lago. En estos se aplicó lo descrito en la tabla 4, en los tratamientos T1 y T2 se añadió el promedio de individuos de 10 *Daphnia spp.* y 100 *Acanthocyclops spp.*, que se encuentra en 1000 ml del 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  $\mu\text{m}$  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, 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 tres 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.

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.

En base a los resultados obtenidos, se establecieron estrategias de control y manejo de la relación del zooplancton y clorofila *a*, para dar alternativas que mejoren la calidad de agua de la cubeta lacustre.

Para lo cual se realizaron bioensayos, siguiendo el mismo procedimiento de preparación y colocación descrito anteriormente, en los que se desarrolló pruebas con la comunidad de mesozooplancton, los cambios fueron en la cantidad que se colocaron en cada botella, lo que se describe en la tabla 3, el tratamiento T1 y T2 se colocaron en la época ecológicamente lluviosa en los meses de marzo y abril, en los que se añadió el mismo número de individuos, 10 *Acanthocyclops spp.*, y 10 *Daphnia spp.*, sin adición de nutrientes, en los que se propone comparar individualmente cada clase taxonómica con igual número de individuos, para conocer el impacto que ejerce cada uno.

Los tratamientos T1 y T2 se los colocó en la época ecológicamente seca, los que tuvieron el doble de individuos de la densidad establecida para los tratamientos T1 y T2, la cantidad fue de 200 *Acanthocyclops spp.* y 20 *Daphnia spp.* sin adición de nutrientes.

Tabla 3. Tratamientos aplicados en el bioensayo 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

Tabla 4. Tratamientos aplicados en el bioensayo 7 y 8 en la época ecológicamente seca.

Tratamientos	Replicas	Descripción
T1	3	20 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

El tratamiento T2 se describe en la tabla 3, corresponde a la época ecológicamente lluviosa. En el que se realizó un cambio de especie, en el que se adicionó 10 individuos de la especie *Daphnia pulicaria*, la que posee características similares a las anteriores colocadas, pero el tamaño de estas varía y es importante conocer el pastoreo que poseen, además se incluyó el tratamiento TC al que se le añadió 10 individuos de *Daphnia spp.*, sin adición de nutrientes.

Tabla 3. Tratamientos aplicados 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

## RESULTADOS

### Determinación de niveles de clorofila a de fitoplancton

La productividad del lago se reflejó con la medición de la clorofila a in situ, misma 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 caso del 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 1).

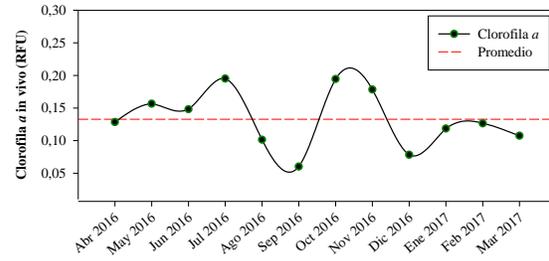


Figura 1. Clorofila in vivo del Lago Yahuarcocha desde el periodo 2014 a 2017

Los trabajos realizados por Saelens (2014) y Caicedo (2015) también expresan la biomasa algal en periodos anteriores, los datos que se encuentran evidenciados en la Figura 14, en la que se expresa un promedio de 0.202 RFU en el año 2014, mismo año que presenta un leve aumento de productividad en el mes de julio de 0.33 RFU. En la siguiente fase de estudio realizada en el 2015 se observa un promedio de 0.135 RFU de clorofila a y en contraste al periodo del presente trabajo de abril de 2016 a marzo de 2017 la producción de clorofila a se ha mantenido en un promedio de 0.133 RFU.

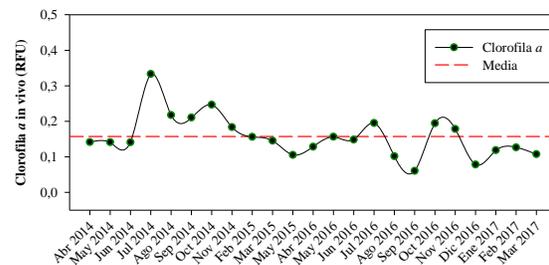


Figura 1. Clorofila a in vivo del Lago Yahuarcocha del periodo de estudio.

Resultando el trabajo realizado por Portilla (2015), se corrobora los niveles de productividad que se pueden encontrar en lagos en estado de eutrofización y según O'Sullivan (2005), quien menciona el uso de valores generales de la clasificación del estado trófico del TSI Carlson (1977) y la OECD (1982), establece un rango de 3 a 78  $\mu\text{g/L-1}$  para lagos eutróficos. 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 cantidad de fitoplancton es alta y se justifica por las actividades antrópicas que se desarrollan alrededor del lago (Wetzel, 2001).

### Pastoreo de mesozooplancton

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

### Comunidad zooplanctónica

El lago Yahuarcocha está compuesto por tres clases taxonómicas que representan la comunidad zooplanctónica (Tabla 7), 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 género 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); Cabrera (2015).

La abundancia relativa de la comunidad zooplanctónica se visualiza en la figura 3, 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 se presenta con 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 %.

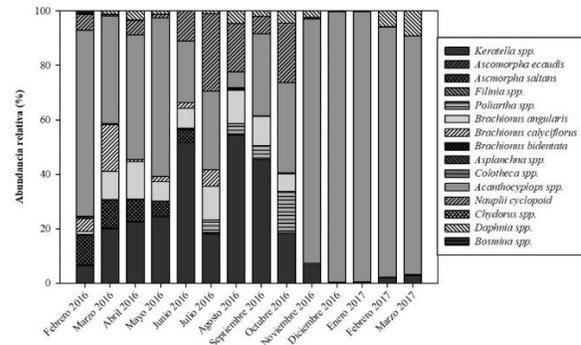


Figura 3. Abundancia relativa de zooplancton del lago Yahuarcocha.

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 4, 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<sup>-1</sup> respectivamente. Mientras que el orden Cladóceras se encuentra en menor cantidad con una densidad de 7 ind L<sup>-1</sup>.

Tabla 4. Densidad de individuos de mesozooplancton del lago Yahuarcocha

Mes	<i>Acanthocyclops spp.</i> [Ind L <sup>-1</sup> ]	<i>Cyclopoid nauplius</i> [Ind L <sup>-1</sup> ]	<i>Daphnia spp.</i> [Ind L <sup>-1</sup> ]
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
<b>Densidad</b>	<b>94,64</b>	<b>30,46</b>	<b>7,00</b>

**Crecimiento del fitoplancton en bioensayos**

El bioensayo uno, realizado en la época ecológicamente seca se representa en la figura 4, en la cual se observa el crecimiento del fitoplancton en cada uno de los tratamientos aplicados en el mes de marzo, 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), el que determinó que la mayoría de las especies de fitoplancton son negativamente afectadas por *Daphnia* y al contrario los copépodos afectan positivamente, conjuntamente Sommer y Sommer (2006), en su trabajo mencionan que el pastoreo depende del tamaño del fitoplancton, ya que en los bioensayos observó que los que contenía cladóceros con fitoplancton pequeño tenían pastoreo negativo y uniforme y en el caso de los bioensayos con fitoplancton grande, los copépodos no causaban impacto.

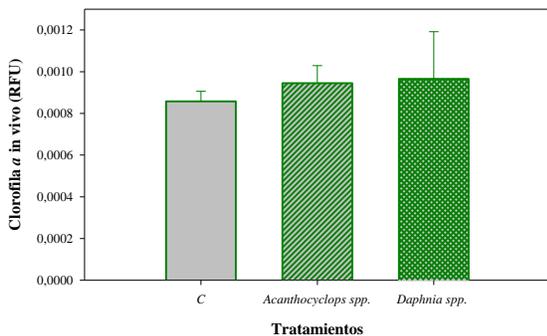


Figura 2. Resultados del bioensayo uno, con los tratamientos T1 y T2 aplicados en marzo.

Los resultados del bioensayo dos se visualizan en la figura 5, este se realizó en la época

ecológicamente seca 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, en cuestión al tratamiento T1 se repite la ligera disminución de niveles de clorofila a que se muestran en la figura 24. 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), menciona que los copépodos son considerados como los organismos planctónicos con mayor impacto alimentario, a pesar de no solo alimentarse de fitoplancton.

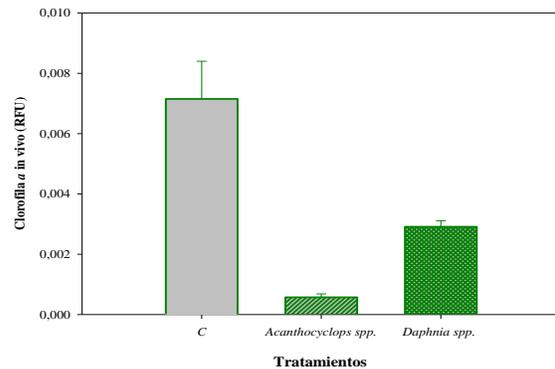


Figura 3. Resultados del bioensayo dos, con los tratamientos T1 y T2 aplicados en abril.

El tercer bioensayo realizado en la época ecológicamente lluviosa en el mes de agosto se refleja en la figura 6, en la que se evidencia los resultados de los tratamientos T1 y T2, se obtuvo un crecimiento 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 control en el crecimiento de 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).

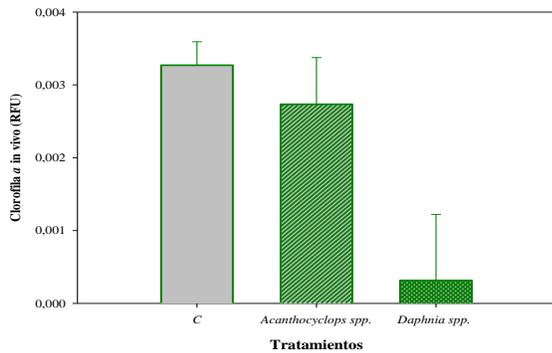


Figura 4. Resultados del bioensayo tres, con los tratamientos T1 y T2 en agosto.

Los resultados del cuarto bioensayo realizado en la época ecológicamente lluviosa se encuentran en el Figura 7, en el que se observa los valores de clorofila a de  $-2,24E^{-4}$  y  $1.14E^{-3}$  RFU en el tratamiento del T3 y T4 correspondientemente de la réplica del bioensayo tres, y en contraste con el valor del control  $1.29E^{-3}$  RFU y resaltando el que contiene *Acanthocyclops spp.*, el crecimiento fue totalmente disminuido, seguido del que contenía *Daphnia spp.*, corroborando los resultados obtenidos 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.

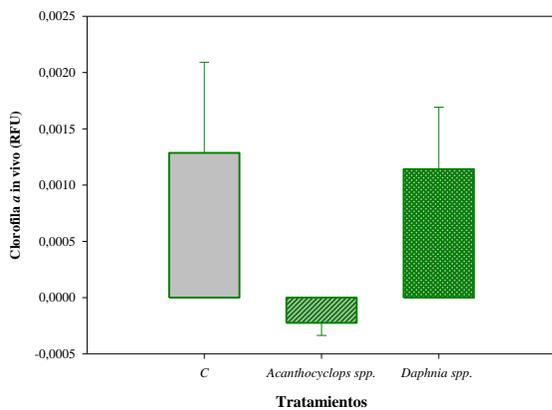


Figura 5. Resultados del bioensayo cuatro, con los tratamientos T3 y T4 en septiembre.

De los bioensayos aplicados en la época ecológicamente lluviosa, en el caso del primer bioensayo se obtuvo como p-value 0.7294 y 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.

#### Tasa de pastoreo

La tasa de pastoreo que se obtuvo en cada uno de los bioensayos se describe en la tabla 11, 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.

#### Bioensayo de prueba

El último bioensayo colocado en el mes de octubre, se muestra en la figura 8 en el que se calculó en el control un crecimiento de fitoplancton de  $1.29E^{-3}$ , mismo que al compararlo con el tratamiento TC y TC 1 se observa valores de  $1.14E^{-5}$  y  $-5.45E^{-5}$ , los que muestran disminución en los valores 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 cambios como los realizados en el trabajo de Gliwicz (1990), quien

compara la presión que ejercen las especies en base a su tamaño.

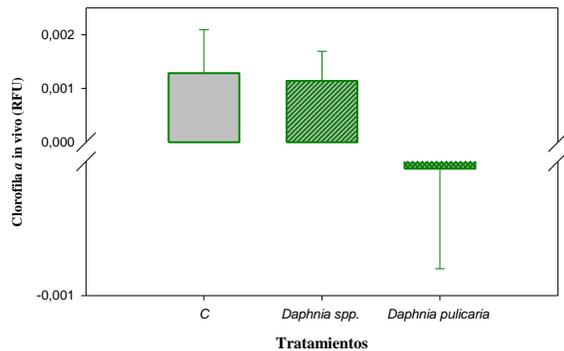


Figura 6. Resultados del bioensayo nueve, con los tratamientos TC 1 y TC en octubre

## Propuesta

Para el lago se propone aplicar la técnica base de biomanipulación en los lagos, la que consta de la reducción de la presencia de las especies plantívoras sobre las comunidades del lago, a través de la introducción de especies piscívoras que consecuentemente permitan al zooplancton aumentar sus poblaciones y controlar el crecimiento de la biomasa algal, efectuándose o implantándose mesocosmos *in situ* que contengan pruebas o 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).

## 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 significativos 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 significativos 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 reestablecer las poblaciones de zooplancton, para mejorar el pastoreo sobre el fitoplancton del lago.

## 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 fuertes 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.

## BIBLIOGRAFÍA

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*. 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*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra.

Cervantes, M. (1994). *Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México*. Escenarios Acuáticos, 37-67.

Dawidowicz, P. y Gliwicz, Z. (1987). *Bio-manipulation III, The role of direct and indirect relationship between phytoplankton and zooplankton*. *Wiadomosci Ekolog.* 33: 259-277.

Hernández, S., Zárate, A., Pacheco, R., Esqueda, G., Reyes, J. y Aceves, G. (2007). *Pastoreo de mesozooplancton en la Bahía de la Paz, B.C.S. México*. *Hidrobiológica.* 17: 225-231.

Gliwicz, Z. (1990). *Why do cladocerans fail to control algal blooms?*. University of Warsaw. *Hidrobiologia*, 200:83-97

Gophen, M. (1990). *Bio-manipulation: Retrospective and Future Development*. *Hydrobiologia* 200: 1-11.

Mandonx, T. (2014). *Trophic status and phytoplankton ecology of two lakes in northern Ecuador: Yahuarcocha & Mojanda*. K.U. Leuven Kulak, Ibarra.

Mauchline, J. (1988). *The biology of calanoid copepods*. *Advances in marine biology.* 33. Academic Press, San Diego. California. 710.

O'Sullivan, C. (2005). *The Lakes Handbook: Limnology and Limnetic Ecosystems*. Australia: Blackwell Publishing Ltd. 246.

Portilla, K. (2015). *Evaluación del comportamiento de los parámetros físicos del agua, para determinar el estado trófico del Lago Yahuarcocha, Provincia Imbabura*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra.

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.

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.

Sigee, 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 plancton*. *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.

Terneus, E. (2014). *Vegetación acuática y estado trófico de la Lagunas andinas de San Pablo y Yahuarcocha, Provincia de Imbabura, Ecuador*.

Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River ecosystems*. Gulf Professional Publishing.