



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

Facultad de Estudios Superiores Iztacala

## DINÁMICA TEMPORAL COMPARADA DE LOS CILIADOS EN LOS CUERPOS DE AGUA DE LA CANTERA ORIENTE, CDMX (REPSA).

**T E S I S**

que para obtener el título de  
**BIÓLOGA**

**P R E S E N T A**

**KARLA VIANNEY SAADI GONZÁLEZ**

Directora de Tesis:

**Dra. María del Rosario Sánchez Rodríguez**

Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Edo. de  
México, octubre 2018.





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# AGRADECIMIENTOS

Principalmente quiero agradecer a mi madre por las enseñanzas que me dejó, a mis hermanos, a mi esposo e hijo por ser una motivación grande para cumplir mis metas y siempre creer en mí. También quiero agradecer a todas las personas que me apoyaron a lo largo de estos años para que pudiese concluir con esta etapa de mi vida, de verdad muchas gracias.

A la Universidad Nacional Autónoma de México a la Facultad de Estudios Superiores Iztacala por la formación y el conocimiento brindado a lo largo de mi carrera.

A mi directora de tesis la Dra. María del Rosario Sánchez Rodríguez, por la paciencia, el apoyo, la confianza, el conocimiento y tiempo brindado para poder realizar este trabajo.

También quiero agradecer al Dr. Alfonso Lugo Vázquez por apoyarme y guiarme en gran parte de este proyecto.

A mis sinodales la Dra. Patricia Bonilla Lemus, Biol. José Luis Tello Musi y al Biol. Felipe de Jesús Cruz López por los comentarios y sugerencias a este trabajo.

También quiero dar gracias a Yazmín y Jessica quienes me acompañaron a lo largo de la carrera con son unas grandes amigas y a mis demás compañeros por los momentos compartidos.

Esta tesis fue realizada en el Laboratorio de Limnología Tropical en la UIICSE de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la UNAM y apoyada por el Programa de apoyo a proyectos de investigación e innovación tecnológica PAPIIT 2015, UNAM. DGAPA. “Estudio limnológico comparado de los cuerpos de agua de la cantera oriente, reserva ecológica del pedregal de San Ángel con vistas a su mejoramiento ambiental” IN 221115.

Agradecemos también al Biol. Francisco Martínez Pérez, responsable de la Cantera Oriente por su valioso apoyo.

# Índice

<b>RESUMEN</b> .....	<b>4</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>7</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>10</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>11</b>
<b>MATERIAL Y METODOS</b> .....	<b>12</b>
Trabajo de Campo.....	12
Trabajo de Laboratorio.....	13
Análisis Estadísticos.....	14
Experimento de consumo.....	15
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>17</b>
Riqueza de Especies.....	17
Composición de Ciliados.....	18
Índice de Jaccard.....	20
Índice de Diversidad.....	21
Dominancia de especies.....	21
Contribución Taxonómica.....	25
Análisis de similitud Bray–Curtis.....	26
Variación Temporal.....	27
Variables Ambientales.....	29
Variables Asociadas al Estado Trófico.....	33
Estado Trófico.....	36
Análisis de Correspondencias canónicas CCA.....	38
Experimento de Consumo.....	39
<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>40</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>58</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>59</b>

## RESUMEN

Los lagos de la Cantera Oriente cuentan con características físicas y químicas diferentes, convirtiéndolo en un sitio ideal para el estudio de las relaciones organismo-ambiente. Los ciliados como componente del plancton forman parte del circuito microbiano canalizando materia y energía a niveles tróficos superiores. En este trabajo, se realizó un estudio comparativo de la composición y abundancia de los protozoos ciliados en los cinco cuerpos de agua: lagos Norte, Centro, Sur, Vaso regulador y Manantial, así como experimentos de consumo de *Coleps hirtus* y sus depredadores un cladóceros y un copépodo ciclopoideo. Se llevó a cabo un muestreo mensual durante un periodo anual que abarcó de junio de 2015 a mayo de 2016, considerando la colecta de los organismos y el registro de los parámetros ambientales de la zona limnética. Se identificaron un total de 32 especies de ciliados pertenecientes a 11 grupos, encontrando a los Oligotrica y Protostomatea en todos los lagos. Las especies más comunes en los cinco cuerpos de agua fueron *Coleps hirtus*, *Aspidisca cicada*, *Halteria grandinella*, *Limnostrombidium* y *Pelagohalteria cirrifera*. El lago con mayor número de especies de ciliados fue el Sur con 25. Los Peritrichia fue el grupo más numeroso en cuanto a la composición de especies. Se encontró una relación entre la abundancia de los ciliados y el estado trófico de los lagos, resultados que fueron comparables con el índice de Carlson que señala que los lagos de la Cantera Oriente van desde oligotróficas a eutróficas y en ciertas ocasiones hipertróficas. El análisis de Correspondencias Canónicas llevado a cabo indica una relación importante de los organismos con la conductividad, la clorofila *a* y en menor medida con la temperatura; El P-total se relacionó con especies bacterívoras y alguívoras como *P. mayeri* (Peritrichia), *Askenasia* sp. (Gymnostomatea) y *V. campanula* (Peritrichia). Para los experimentos de consumo, se realizaron cultivos tanto de *C. hirtus* como de cladóceros (*Daphnea pulex*) y copépodos (*Acantocyclops eduardoi*). Los cladóceros resultaron ser más eficientes que los copépodos ciclopoideos para depredar al ciliado *C. hirtus*, y más las hembras que los machos. De acuerdo con su composición y abundancia, los lagos Centro y Sur son más parecidos, seguidos del lago Norte; el Vaso y el Manantial fueron los menos similares con respecto a los demás. La abundancia de ciliados en los lagos fue en general, mayor durante la época cálida-lluviosa.

Palabras clave: ciliados, eutrofización, lagos urbanos, zooplancton.

## INTRODUCCIÓN

Los lagos urbanos tienen importancia como fuentes de abastecimiento de agua para el uso humano, son usados para el riego de zonas verdes, cuentan con un alto valor estético y de esparcimiento; en general son someros, artificiales, de tamaño pequeño (Schueler y Simpson, 2003) y con algún grado de eutrofización. Actualmente los lagos urbanos son de los cuerpos de agua más problemáticos en cuanto a su manejo ambiental (Quirós, 2007), ya que debido a su cercanía con el hombre se han convertido en sistemas especialmente vulnerables y desequilibrados (Birch y McCaskie, 1999).

El principal problema que presentan estos lagos es que en ellos se depositan desechos de aguas residuales como detergentes, residuos de alimento, fertilizantes y materia orgánica (Ryding *et al.*, 1992), generando una carga elevada de nutrientes inorgánicos, principalmente fósforo y nitrógeno incrementando la generación y descomposición de materia orgánica. Este aporte de nutrientes ocasiona que muchos lagos se encuentren en condiciones de eutrofización (Solís, 2012), generando cambios espaciales y temporales en las comunidades biológicas que ahí habitan (Figueredo y Gianni, 2001), de modo que los organismos que participan en la descomposición y regeneración de nutrientes son de gran importancia en el funcionamiento de estos ecosistemas (Sommaruga, 1995).

En los últimos años la forma de ver la estructura y función de estas comunidades biológicas cambió, dándole importancia al estudio de las comunidades planctónicas microscópicas de ambientes dulceacuícolas; su estudio ha permitido conocer el papel esencial que tienen en el flujo de energía (Fernández *et al.*, 2014). Anteriormente se manejaba el modelo clásico de las cadenas alimentarias planctónicas, que iba desde el fitoplancton al zooplancton y finalmente a los peces: Se pensaba que los principales productores primarios eran las algas fitoplanctónicas de mayor tamaño; las cuales, eran consumidas directamente por los metazoos que constituyen parte del zooplancton (González, 1995) y que los protozoos no tenían una función relevante; sin embargo; Pace y Orcutt (1981) los incluyeron como organismos importantes del plancton de las aguas continentales (Fenchel, 1987) e indicadores de procesos complejos.

Los protozoos, a pesar de su distribución cosmopolita, no están distribuidos de manera uniforme, especialmente los de vida libre asociados a cuerpos de agua, ya que forman parte de la microfauna y son indicadores del estado físico y químico de la zona en que habitan (Sleigh, 1979). Algunos estudios han mostrado que las densidades de ciliados se incrementan al aumentar el estado trófico de los cuerpos de agua (Beaver y Crisman, 1982; Foissner *et al.*, 1999), también parece haber una relación inversa entre el tamaño de las especies dominantes de ciliados y el estado trófico (Beaver y Crisman, 1982). El papel que desempeñan los ciliados en el funcionamiento de los ecosistemas es fundamental, pues participan en la circulación de la energía y dentro del ciclo de nutrientes (Aladro-Lubel *et al.*, 2009).

Es así como los protozoos son un componente común e importante del plancton en los cuerpos de agua continentales pues contribuyen al reempaquetado trófico, al alimentarse de algas muy pequeñas y cianobacterias (principales productores), que por su menor tamaño dificulta que sean consumidas por el zooplancton, pero no por los protozoos alguívoros (Gifford, 1991; Fenchel, 1987). También se ha visto que los protozoos participan en la regeneración de nutrientes ya que al consumir bacterias (principales descomponedores), regulan sus poblaciones y estimulan su crecimiento, incrementando la velocidad de la descomposición de materia orgánica y la liberación de nutrientes (Finlay, 1978), de esta forma los protozoos ciliados aumentan la transferencia de energía en los sistemas acuáticos ya que su alimentación consiste en presas difícilmente pastoreadas por muchos metazoos (Gifford, 1991). Es así como los protozoos proporcionan un enlace trófico entre los productores primarios, las bacterias y el zooplancton esta trama trófica se conoce como "circuito microbiano" o microbial loop (Azam *et al.*, 1983), la cual supone la existencia de un mayor número de niveles tróficos que se pensaba existían.

De acuerdo con la función de re-empacado trófico que realizan los protozoos en ambientes de agua dulce, se sabe que los protozoos y metazoos planctónicos también pueden llegar a competir por el mismo tipo de alimento (las bacterias). Frente a este caso las ventajas que presenta el protozooplancton son: una tasa de crecimiento rápido por lo que tiene una alta adaptación a la variación de los recursos alimenticios, una habilidad para sobrevivir a una alta depredación de peces planctívoros y la presencia de especies resistentes o adaptadas a condiciones ambientales adversas (Straskrabová y Simek, 1993).

Diversos estudios señalan que los protozoos son consumidos de manera significativa por los copépodos en ambiente marinos (Gismervik, 2006), mientras que, en los ambientes de agua dulce, tanto los copépodos como los cladóceros pueden ser importantes depredadores de los ciliados (Burns y Schallenberg, 2001; Burns y Gilbet, 1993); en este aspecto resulta relevante conocer si estos grupos de organismos al ingerir a los ciliados pueden influir en su dinámica y composición. A nivel mundial existen pocos estudios del consumo de los metazoos sobre ciliados, ya que los protozoos tienen cuerpos muy blandos, que se deshacen fácilmente, por lo que es difícil detectarlos en los contenidos estomacales del zooplancton (Chávez, 2008). En este trabajo se aislaron tanto protozoos como depredadores separando géneros y grupos, se realizaron experimentos de consumo para determinar cuántos ciliados eran consumidos tanto por copépodos como por cladóceros.

La Cantera Oriente tiene cuatro cuerpos de agua someros que están alimentados por manantiales y conectados por canales, lo interesante es que, a pesar de ser llenados por la misma fuente de agua, sus características físicas y químicas son diferentes, así como su estado trófico (Lugo *et al.*, 2017). Existen estudios efectuados en este sitio donde se destaca una gran diversidad de fauna acuática, convirtiéndolo en un sitio ideal para observar, conocer la composición y abundancia de los ciliados en la columna de agua; estos lagos pueden usarse como modelos óptimos para el estudio de la riqueza específica en relación a los gradientes ambientales y tróficos; es así como la Cantera Oriente es un área que se convierte en un laboratorio natural para que los estudiantes realicen sus investigaciones como parte de su formación.

## ANTECEDENTES

Entre los autores que han contribuido a enriquecer el conocimiento de **lagos urbanos y protozoos** se encuentran:

López-Ochoterena (1965) realizó el primer estudio sistemático, taxonómico y ecológico sobre los protistas ciliados que habitaban en varios cuerpos de agua del Bosque de Chapultepec, en la Ciudad de México.



López–Ochoterena y Roure–Cane (1970) realizaron un listado taxonómico de protozoos de vida libre de México, incluyendo flagelados, sarcodarios y ciliados, este catálogo consideró especies reportadas desde 1921 a 1970.

Sommaruga (1995) investigó un lago de características hipertróficas, donde la comunidad de zooplancton estaba dominada por rotíferos y ciliados, señaló una menor eficiencia en la transferencia de energía en este tipo de lagos debido a muchas interacciones tróficas.

González (1995) estudió la fluctuación temporal de ciliados planctónicos en los 3 lagos del bosque de Chapultepec, encontrando un total de 30 especies con una composición similar, observando una correlación significativa entre la temperatura y el número de ciliados, señala su importancia en la transferencia de energía a niveles superiores.

Cabral (2006) analizó la variación espaciotemporal de "Phylum Ciliophora" del lago Tezozómoc, determinando 27 especies de ciliados, *Halteria grandinella* y *Phascolodon vorticella* fueron los organismos predominantes, señalando que las variables ambientales no influyeron sobre los organismos pues se encontraban dentro de los intervalos de tolerancia.

Aladro *et al.* (2007 en Lot, 2007), presentan un capítulo especial con un listado sobre ciliados, flagelados, amebas desnudas y testadas y heliozoos recolectados, así como un catálogo de fotografías de la zona litoral, sedimentos y canales de los cuerpos de agua de la Cantera Oriente.

Aladro-Lubel *et al.* (2009) presentan otro estudio sobre la diversidad de ciliados de los diferentes cuerpos de agua de la Cantera Oriente, llevado a cabo en varios meses del 2006-2007, en el cual obtuvieron un registro de 75 especies de ciliados

Sánchez *et al.* (2011), hicieron un estudio sobre las funciones ecológicas y la importancia de los ciliados del plancton en cuerpos de agua hipertróficos como el Tezozómoc; en el mismo sitio, Alvarado (2012) estudió el efecto de *Poecilia reticulata* y el sedimento sobre los protozoos ciliados en mesocosmos, determinando 13 especies de ciliados y destacando cambios temporales en las especies atribuidos al aporte de nutrientes externos.

Ávila (2013), estudio el efecto de la relación nitrógeno/fósforo sobre los ciliados y bacterias en el lago hipertrófico Tezozómoc, determinando 21 especies de ciliados, de los cuales *Pleuronema jaculans*, *Coleps hirtus*, *Halteria grandinella* y *Cyclidium glaucoma* fueron los dominantes, encontrando una correlación positiva entre los ciliados la clorofila *a* y el OD.

Lugo *et al.* (2014) hicieron un análisis de la calidad de agua en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente, y obtuvieron que los lagos van de eutróficos hasta hipertróficos a pesar de ser contiguos. Uno de los manantiales tuvo el estado trófico menor (mesotrófico).

Mayén-Estrada *et al.* (2014), en su artículo de Biodiversidad de Ciliophora en México, registran que el número de especies asciende a 959 que corresponde a un 12% del total de especies descritas a nivel mundial. En esta publicación están incluidas las de la Cantera Oriente.

Lugo *et al.* (2017) presentan la dinámica de los ciliados planctónicos en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente durante el año 2014.

Entre los pocos estudios que existen sobre el **consumo de ciliados** se encuentran los trabajos de:

Stoecker *et al.* (1990), señalan que la depredación de los protozoos es nutricionalmente importante para el zooplancton, y de acuerdo con su abundancia los protozoos son de gran importancia en las redes alimentarias planctónicas.

Wickham y Gilbert (1991), encuentran que *Daphnia* obtiene un beneficio nutricional por consumir ciliados, también que la comunidad de ciliados disminuye en presencia de este cladóceros.

Wiackowski *et al.* (1994) mostraron que las abundancias de ciliados descendieron por una depredación directa por el zooplancton y sugiere que esta depredación puede ser determinante en la composición de ciliados.

Burns y Schallenberg (2001) dicen que la ingestión de ciliados es más alta por los copépodos (*Boeckella spp.*) que, con los cladóceros, particularmente en condiciones eutróficas.

Balseiro *et al.* (2001) evaluaron la depredación del copépodo *Boeckella gracilipes* sobre ciliados en condiciones de campo y laboratorio, encontrando que el depredador consumía a *Ophrydium naumanni* cuando se ofrece como un único alimento en los experimentos, y en condiciones naturales preferían consumir a *Strombidium viride*, esto se atribuyó al patrón de natación de los ciliados y al mecanismo de detección del copépodo.

Chávez (2008) realizó un estudio de depredación del copépodo ciclopoideo *Mesocyclops longisetus* sobre los ciliados mixotróficos *Stentor araucanus* y *Stentor amethystinus* en los lagos Nord Patagónicos, obteniendo una tasa de ingestión de 15-17 ciliados/copépodo/día y de 15 ciliados/copépodo/día, respectivamente.

Bermúdez en el (2010), estudió la diversidad de la orden cladócera Crustacea: Branchiopoda: Phyllopoda) en la Cantera Oriente (REPSA).

## JUSTIFICACIÓN

Durante muchas décadas la comunidad del protozooplancton ha sido poco estudiada debido a que son un grupo difícil con respecto a su identificación taxonómica y colecta, por lo que existen pocos estudios sobre su diversidad, distribución y abundancia, así como su relación con el estado trófico de un cuerpo de agua. Este grupo destaca por su gran prevalencia en sistemas lacustres al contar con un ciclo de vida corto, una tasa alta de reproducción, son cosmopolitas y generan respuestas a los cambios ambientales lo que permite la detección de impactos ambientales en un corto espacio de tiempo. Este estudio comparativo permitió observar la variación de la diversidad y abundancia de ciliados en cuerpos de agua del mismo origen y que comparten las mismas condiciones climáticas, pero con características físicas y químicas diferentes. Los experimentos de consumo nos dan información de cómo se vinculan los protozoos a las cadenas alimentarias clásicas a través de experimento de depredación de cladóceros y copépodos. La información obtenida en el presente trabajo servirá para ampliar el conocimiento de este grupo en futuros estudios.

## OBJETIVOS

### General:

- Analizar la composición taxonómica y abundancia de los ciliados en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente durante un año (junio 2015 – mayo 2016).

### Particulares:

- Analizar las variables ambientales asociadas al estado trófico para cada uno de los lagos.
- Relacionar la influencia de algunas variables ambientales sobre la comunidad de los ciliados.
- Comparar las tasas de consumo de cladóceros y copépodos sobre los ciliados.

## ÁREA DE ESTUDIO

La Cantera Oriente, forma parte del derrame lávico del volcán Xitle cuya fase eruptiva se desprendió de la sierra del Chichinautzin al originarse hace unos 2000 años. Corresponde a la Zona de Amortiguamiento A 3 de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de C.U. (REPSA), que es una reserva natural de carácter urbano y está sujeta a uso restringido para protección ambiental, lo que permite disminuir los efectos antropogénicos, ocupando una superficie de 273 hectáreas dentro de la Ciudad Universitaria de la UNAM. La REPSA resguarda un ecosistema único que es el matorral xerófilo de “palo loco” ([www.repsa.unam.mx](http://www.repsa.unam.mx)).

Esta reserva se desarrolló sobre el conjunto de formaciones basálticas que se originaron por la solidificación de los flujos de lava que derramó la erupción del volcán Xitle hace unos 2000 años. Los cuerpos de agua de la Cantera Oriente se originaron cuando la explotación de la roca basáltica alcanzó el nivel de manto freático; esto origino una laguna que posteriormente fue subdividida en tres cuerpos de agua por la construcción de bordos, y el cuarto lago fue construido para regular el flujo de agua. También se conoce la presencia de cuatro manantiales (Lot *et al.*, 2009). Estos lagos se ubican en las porciones más bajas, principalmente hacia el

Sur y la porción del Este, son 5 cuerpos de agua que en total cubren una superficie de 11,906.45 m<sup>2</sup> que representan el 14.36% del área total de la reserva (Lot, 2007).



Figura 1. Fotografía satelital de la Cantera Oriente, señalando los puntos de muestreo. Google maps 2015.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Trabajo en Campo

Se realizaron muestreos mensuales durante el período de junio 2015 a mayo 2016, en los 5 cuerpos de agua de la Cantera Oriente: Lago Norte (LN), Lago centro (LC), Lago Sur (LS), Vaso Regulador (VR), así como un manantial (M) (Fig.1).

En cada uno de los lagos se midieron *in situ* los parámetros ambientales de temperatura (°C), OD (mg l<sup>-1</sup>), conductividad específica a 25 °C (K<sub>25</sub>, μS/cm) con un multisensor marca YSI Modelo 85, pH (unidades de pH) potenciómetro de campo marca Conductronic Digisense modelo pH10 previamente calibrado y profundidad de visibilidad del disco de Secchi (cm) de 0.2 m de diámetro.

Las variables asociadas al estado trófico fueron: clorofila “a” (Cla) y Fósforo total (P-T) (además de utilizar las medidas de la transparencia medida con el disco de Secchi).

Para la medida de la concentración de clorofila *a* (Arar y Collis, 1997), se tomaron 125 ml de muestra y se colocaron en botellas de plástico previamente lavadas con detergente libre de fosfatos al 2% y enjuagadas con agua desionizada. En campo se filtraron volúmenes de entre 2 y 40 ml a través de filtros de vidrio Whatman GF/F por triplicado para cada muestra; los filtros secos y en refrigeración se llevaron al laboratorio para la determinación de la concentración de clorofila “a” por el método de extracción en frío (4°C) con acetona al 90% y mediante el uso de un fluorómetro marca Turner Designs modelo 10-AU.

Para la determinación de fósforo, se realizó una digestión química de la materia orgánica presente con persulfato de potasio en condiciones básicas (Valderrama, 1981). Las muestras fueron digeridas en autoclave durante 30 minutos a 115 °C. Una vez que las muestras alcanzaron la temperatura ambiente se procedió al análisis de fósforo total en forma de P-PO<sub>4</sub>, con el método espectrofotométricos del ácido ascórbico (Phosver 3) utilizando un laboratorio portátil de calidad de agua marca HACH modelo DREL/2000.

Para la recolecta de organismos se tomó una muestra de la columna de agua de la zona limnética en cada lago, con un tubo muestreador de acrílico con un diámetro de 26 mm, se obtuvo una muestra integrada de 50 mL la cual se fijó en Lugol ácido al 1% (Finlay y Guhl, 1992) Se reservó una parte de la muestra *in vivo* para su observación y para llevar a cabo cultivos de protozoos y zooplancton para los experimentos de consumo.

## **Trabajo de laboratorio**

### Observación *in vivo*

Se analizaron las muestras *in vivo*, para la determinación taxonómica de los organismos, utilizando microscopía de campo claro, contraste de fases y campo oscuro, así como técnicas de tinción vital para diferentes estructuras de los organismos (Kudo 1982, Lee *et al.* 1985-2000). Como inmovilizadores se usaron

Sulfato de níquel (Jahn *et al.*, 1979) albúmina, y saliva (Cortes, 2010); se aplicaron las técnicas de coloración e impregnación argéntica para confirmar la identidad de las especies (Lynn, 1992) y su observación microscópica con un Fotomicroscopio III Zeiss a 40X y/o 100X.

Para la identificación de los organismos se observaron las estructuras de importancia taxonómica como los núcleos (macro y micro) presencia o ausencia de cilios, cirros y membranelas también se consideró su forma y tamaño, las claves taxonómicas que se usaron fueron: Foissner y Berger 1996; Finlay *et al.* 1988; Lynn 1992, Lynn y Small 2000 y Foissner *et al.* 1999.

#### Densidad poblacional

Para la cuantificación de individuos por mL, se usó una cámara de Sedgwick-Rafter (1.0 mL) (A.P.H.A., 1995), se homogenizó la muestra fijada con acetato de Lugol ácido al 1% (Finlay y Guhl, 1992) contando un mínimo de 100 organismos de las especies más abundantes, con un intervalo de confianza de  $\pm 20\%$  (Wetzel y Likens, 2001). La cuantificación se realizó en un Fotomicroscopio III de Zeiss a 16X.

### **Análisis Estadísticos**

Se utilizó el Índice de similitud de Jaccard para expresar el grado de semejanza entre los lagos por especies presentes en cada uno de ellos, mediante el paquete estadístico PAST (ver 3.6. 2015) (Hammer *et al.*, 2001).

Para obtener la diversidad de especies se utilizó el índice de diversidad de Shannon-Weaver (1949) utilizando el programa PAST (ver 3.6. 2015) (Hammer *et al.*, 2001).

Para determinar la importancia de cada una de las especies de los cuerpos de agua, se aplicaron diagramas de Olmstead-Tunkey (Sokal y Rohlf, 1981).

La composición de la comunidad de ciliados en los estanques se comparó utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis (1957) y se agrupó por el método de enlace simple con el paquete estadístico PAST (ver 3.6. 2015) (Hammer *et al.*, 2001).

Para comparar las densidades totales de ciliados en las dos épocas climáticas, se aplicaron pruebas independientes no paramétricas U de Mann-Whitney (Sokal y Rohlf, 1981).

Para definir el estado trófico de los lagos, se tomó en cuenta el índice propuesto por Carlson (1977), el cual se obtuvo de acuerdo con el promedio de los datos de la visibilidad del disco de Secchi, los niveles de clorofila *a* y concentraciones de fósforo total.

Y se hizo una correlación entre los parámetros ambientales y el protozooplancton, utilizando un análisis de correspondencias canónicas, para observar la influencia de éstas sobre los protozoos mediante el programa CANOCO versión 4.56.

## **Experimentos de consumo**

Fase experimental

Cultivo de organismos *Coleps hirtus*

Se empleó agua de cada lago como medio inicial de cultivo, de manera que se favoreció el crecimiento y reproducción de ciliados, se colocaron en cajas Petri de 7mm, ventilados y frescos (temperatura ambiente), llenados a  $\frac{3}{4}$  partes de su capacidad para permitir su respiración y se agregó un grano de trigo y Quick de fresa (saborizante de leche Nestlé®) (Cortes, 2010).

Posteriormente, con las primeras muestras se realizaron unos subcultivos para aislar a los organismos, se colocaron en condiciones de luz moderadas, con pH de neutro a ligeramente básico (semejante a su entorno natural), temperaturas de 20° a 22°. Se les agregó medio Chalkey con trigo (Kudo, 1982), se siguió el procedimiento anteriormente descrito para su reproducción (Cortes, 2010).

El zooplancton colectado se mantuvo en botes de plástico a  $\frac{3}{4}$  de llenado en condiciones de luz, pH de neutros a ligeramente básicos y temperatura de 20° a 22°C para su posterior uso en los experimentos. Se aisló el copépodo ciclopoideo *Acanthocyclops eduardoi* (Salas y Álvarez, 2013) especie considerada hasta ahora endémica de la Cantera Oriente y también al cladóceros *Daphnia* del complejo *pulex*.



Una vez obtenido el número suficiente de ciliados, se tomó 1 mL de muestra de los cultivos homogenizada, se fijó con Lugol ácido al 1% (Finlay y Guhl, 1992) para saber cuántos organismos había por mL, contabilizando con una cámara Sedgwick-Rafter (1.0 ml) (A.P.H.A., 1995), la observación y cuantificación se realizó en un microscopio Fotomicroscópico III Zeiss a 16X, con lo que se estimó la cantidad de ciliados presentes por tratamiento.

Para los experimentos de consumo se utilizó a *Coleps hirtus* el cual creció bien y presentó las abundancias necesarias para los tratamientos y fue una de las especies dominantes en los lagos. Las densidades utilizadas en los experimentos fueron similares a los valores más elevados encontrados en el campo. Estos valores se igualaron a los números más altos (*Coleps hirtus*) encontrado en el estudio de 200 org.  $\pm$  20 para cada tratamiento, se colocaron con sus principales depredadores en estos lagos (copépodos y cladóceros) colectados igualmente en los lagos de la Cantera Oriente.

Fueron 3 tratamientos, con tres réplicas cada uno y un control, al primer tratamiento se le agregó un copépodo macho, al segundo un copépodo hembra y al tercero un cladóceros, los cuales se dejaron interactuar 60 min., trascurrido el tiempo se fijó nuevamente con Lugol al 1% (Finlay y Guhl, 1992) se realizó el conteo con la cámara de Sedgwick-Rafter (1.0 ml) (A.P.H.A., 1995) al conocer la sobrevivencia de ciliados se estimó la tasa de consumo.

#### Determinación de tasas de consumo

Adicionalmente, se midió ancho y largo (medidas promedio *in vivo* de al menos 20 individuos de *Coleps hirtus*), se aproximó la forma de la especie para el cálculo del biovolumen a través de fórmulas geométricas propuestas por Sun y Liu (2003), posteriormente se obtuvieron los biovolúmenes de la tasa de consumo por muestra, se multiplicó el número de individuos consumidos en cada experimento, para transformar a contenido de carbono, expresando el consumo en unidades de peso de carbono (Özen *et al.*, 2013).

# RESULTADOS

## RIQUEZA DE ESPECIES

Se determinó un total de 32 especies de protozoos ciliados de la zona limnética en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente, once grupos del segundo rango Ciliophora de acuerdo a la propuesta de clasificación de Adl *et al.*, 2005. Los grupos con mayor riqueza de especies fueron Peritrichia con cinco especies, Hymenostomatida y Gymnostomatea con cuatro especies cada uno; los siguientes grupos que cuentan con tres: Hypotrichia, Cyrtophoria, Heterotrichea, Oligotrichea; dos: Protostomatea, Litostomatea, Peniculia; y Scuticociliatida con un solo representante.

## EUCARIOTA

Súper grupo CHROMALVEOLATA Adl *et al.*, 2005

Primer rango Alveolata Cavalier-Smith, 1991

Segundo rango Ciliophora Doflein, 1901 [Ciliata Perty, 1852; Infusoria Bütschli, 1887]

Protostomatea Schewiakoff, 1896

*Coleps hirtus* (Muller)

*Bursellopsis* sp. Corliss

Hypotrichia Stein, 1859

*Aspidisca cicada* (Muller)

*Euplotes* sp. Ehrenberg

*Stylonychia mytilus* Complex

Peniculia Fauré-Fremiet in Corliss, 1956

*Paramecium bursaria* (Ehrenberg)

*Lembadion lucens* (Maskell)

Peritrichia Stein, 1859

*Cothurnia annulata* Stokes

*Epistylis pygmaeum* Ehrenberg

*Pelagovorticella mayery*

*Vorticella campanula* Ehrenberg

*Vorticella microstoma* Complex

Hymenostomatida Delage and Hérouard, 1896

*Cinetochilum margaritaceum* (Ehrenberg)

*Glaucoma scintillans* Ehrenberg

*Tetrahymena* (Muller)

*Urocentrum turbo* (Muller)

Cyrtophoria Fauré-Fremiet in Corliss, 1956

*Chilodonella uncinata* (Ehrenberg)

*Phascolodon vorticella* Stein

*Trithigmostoma cucullulus* (Muller)

Litostomatea Small and Lynn, 1981

*Monodinium* sp. Fabre-Domergue

*Paradileptus elephantinus* Kahl

Gymnostomatea Bütschli, 1887

*Actinobolina* sp. Kahl

*Askenasia volvox* Blochmann

*Litonotus lamella* (Muller)

*Trachelophyllum pusillum* Claparède y Lachman

Heterotrichea Stein, 1859

*Balantidium pellucidum* Eberhard

*Metopus es* (Muller)

*Spirostomum teres* Claparède & Lachmann

Oligotrichea Bütschli, 1887

*Halteria grandinella* (Muller)

*Pelagohalteria cirrifera* (Kahl)

*Limnostrombidium* sp. Krainer

Scuticociliatida Small, 1967

*Cyclidium glaucoma* (Muller)

## COMPOSICIÓN DE CILIADOS

El lago que obtuvo un mayor número de especies de ciliados fue el Sur con 25, Centro con 24, seguido del Norte con 22, Vaso con 12 y Manantial con 8 (Tabla 1), las especies comunes para todos los lagos fueron *Coleps hirtus*, *Aspidisca cicada*, *Halteria grandinella*, *Limnostrombidium* sp. y *Pelagohalteria cirrifera*, estas tres últimas pertenecientes al grupo Oligotrichea.

Especies observadas en un solo lago fueron *Chilodonella uncinata* para el lago Sur, *Cothurnia annulata* en el Centro y *Epistylis* sp. en el Norte; las dos últimas se encuentran dentro del grupo Peritrichia que fue el más numeroso en cuanto a la composición de especies.

**Tabla 1. Ciliados presentes en cada uno de los 5 lagos de la Cantera Oriente, así como su hábito alimenticio y tamaño promedio determinado para este estudio, basado en la descripción taxonómica y ecológica de acuerdo con Foissner *et al.* (1999).**

Especie	Habito alimenticio	Norte	Centro	Sur	Vas. Regulador	Manantial
<i>Halteria grandinella</i> (20-40 $\mu\text{m}$ )	Ba, Al	X	X	X	X	X
<i>Paramecium bursaria</i> (85-150 $\mu\text{m}$ )	Ba, Al y Ki			X		X
<i>Coleps hirtus</i> (40-65 $\mu\text{m}$ )	O	X	X	X	X	X
<i>Paradileptus elephantinus</i> (100-450 $\mu\text{m}$ )	O	X			X	
<i>Cyclidium glaucoma</i> (20-30 $\mu\text{m}$ )	Ba	X	X	X	X	
<i>Vorticella microstoma</i> (30-36 $\mu\text{m}$ )	Ba, Al		X	X		
<i>Vorticella campanula</i> (90-130 $\mu\text{m}$ )	Ba, Al	X	X	X		
<i>Limnostrombidium</i> sp. (30-60 $\mu\text{m}$ )	Al, Ba	X	X	X	X	X
<i>Pelagohalteria cirrifera</i> (25-50 $\mu\text{m}$ )	Al	X	X	X	X	X
<i>Trithigmostoma cucullulus</i> (80-160 $\mu\text{m}$ )	Ba, Al, Ki		X	X		

$\mu\text{m}$ )						
<i>Chilodonella uncinata</i> (20-45 $\mu\text{m}$ )	Ba			X		
<i>Trachelophyllum pusillum</i> (50 $\mu\text{m}$ )	O	X	X	X	X	
<i>Glaucoma scintillans</i> (35-75 $\mu\text{m}$ )	Ba		X	X	X	X
<i>Stylonychia mytilus</i> (90-350 $\mu\text{m}$ )	Ba, Al	X		X	X	
<i>Aspidisca cicada</i> (25-40 $\mu\text{m}$ )	Ba	X	X	X	X	X
<i>Bursellopsis sp</i> (130-800 $\mu\text{m}$ )	O	X		X		X
<i>Monodinium sp</i> (40-60 $\mu\text{m}$ )	R	X	X			
<i>Spirostomum teres</i> (200-400 $\mu\text{m}$ )	Ba, Al, Ki	X				
<i>Urocentrum turbo</i> (40-110 $\mu\text{m}$ )	Ba, Ki	X				
<i>Cinetochilum margaritaceum</i> (25-45 $\mu\text{m}$ )	Ba, Al	X	X			
<i>Phascolodon vorticella</i> (60-90 $\mu\text{m}$ )	Ba, Al y Ki		X	X		
<i>Balantidium pellucidum</i> (70-100 $\mu\text{m}$ )	Ba	X	X	X	X	
<i>Actinobolina sp.</i> (80-125 $\mu\text{m}$ )	R	X	X	X	X	
<i>Tetrahymena sp.</i> (40-60 $\mu\text{m}$ )	Ba	X	X	X		
<i>Cothurnia annulata</i> (40-70 $\mu\text{m}$ )	Ba		X			
<i>Lembadion lucens</i>	O		X	X		
<i>Metopus es</i> ( 128-145 $\mu\text{m}$ )	Ba		X	X		
<i>Euplotes eurystomus</i> (<70 $\mu\text{m}$ )	Ba, Al, Ki y FI		X	X		
<i>Pelagovorticella mayeri</i> (30-55 $\mu\text{m}$ )	Ba, Al	X	X	X		
<i>Litonotus lamella</i> (50-100 $\mu\text{m}$ )	R	X	X	X		
<i>Askenasia volvox</i> (30-50 $\mu\text{m}$ )	Al, Ki	X	X	X		

<i>Epistylis pygmaeum</i> (60-140 $\mu\text{m}$ )	Ba	X				
--	----	---	--	--	--	--

X, indica presencia. Habito alimenticio: Al, algas (excepto diatomeas, pero flagelados autotróficos inclusivos); Ba, bacteria; Fl, flagelados heterotróficos; Ki, diatomea; O, omnívoro (se alimenta de organismos autótrofos y protozoos, a veces incluso en pequeños metazoos); R, depredador (se alimenta de protozoos, principalmente ciliados, algunas especies incluso ingieren metazoos pequeños).

## INDICE DE JACCARD, similitud de los lagos

De acuerdo con la presencia-ausencia de las especies, la mayor semejanza se presentó entre los lagos Centro y Sur, seguidos del Norte y siendo estos tres los más parecidos entre sí: posteriormente se une, con una menor similitud el Vaso Regulador, y finalmente el Manantial resultó el más diferente de los cuerpos de agua (Fig. 2).

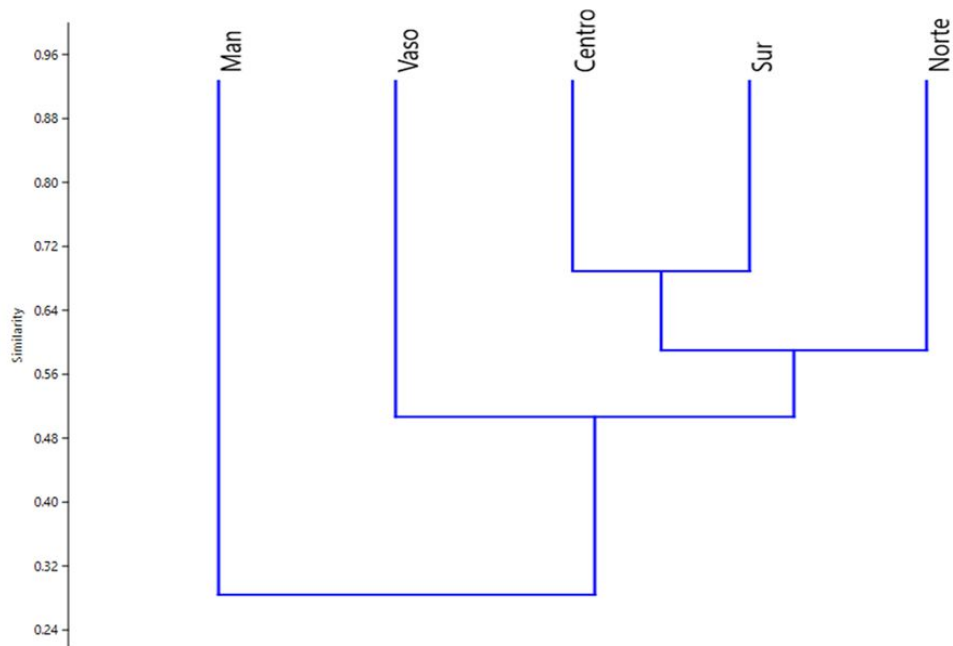


Figura 2. Dendrograma de similitud de JACCARD de los 5 cuerpos de agua de la Cantera Oriente.

## INDICE DE DIVERSIDAD

También se calculó el índice de diversidad de Shannon Weaver (1949) para cada lago y mes; con estos valores se realizó un diagrama de caja y bigote para observar la variación en la diversidad en cada cuerpo de agua, de acuerdo con la Fig.3, el lago Centro obtuvo el valor más alto de diversidad 2.4 bits/ind y el más bajo fue de 0.6 bits/ind; el lago Norte contó con intervalos de 2.2 a 0 bits/ind, el Sur con 2.1 a 0.5 bits/ind, el Vaso Reg. varió de 1.9-0 bits/ind y el Manantial de 1.3-0 bits/ind. Por otro lado, y tomando en cuenta sus promedios anuales, se observa que la mayor diversidad se registró en el lago Centro con 1.7 bits/ind, seguido del lago Sur con 1.6 bits/ind, el Norte con 1.4 bits/ind, Vaso Reg. con 1.1 bits/ind y el Manantial con 0.4 bits/ind cabe destacar que este último presentó numerosos valores de cero ya que en varios muestreos no se observaron ciliados (Fig.3).

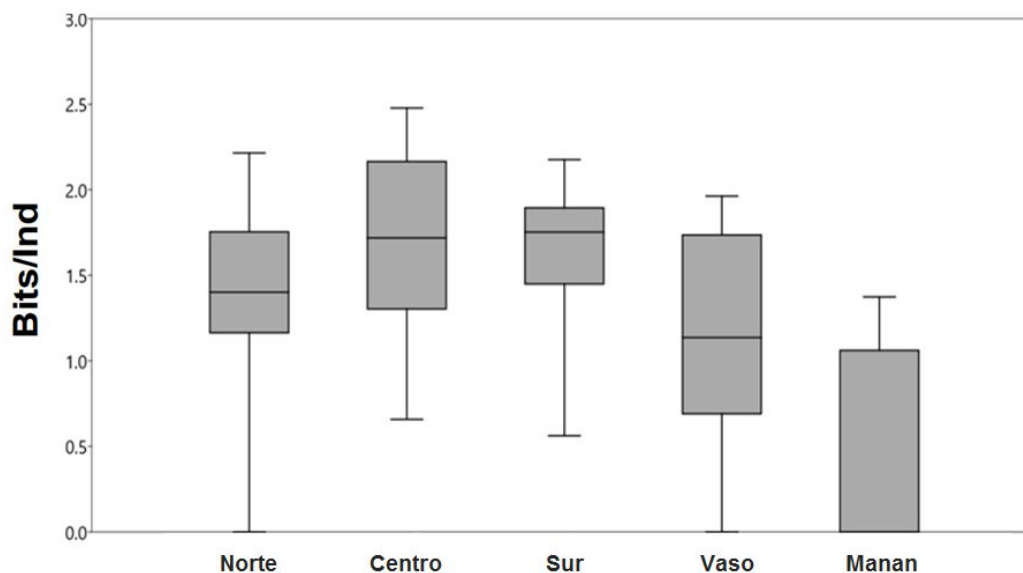


Figura 3. Diagrama de caja y bigote de la variación del índice de diversidad de Shannon Wiener, para los ciliados en los cuatro lagos y un manantial de la Cantera Oriente.

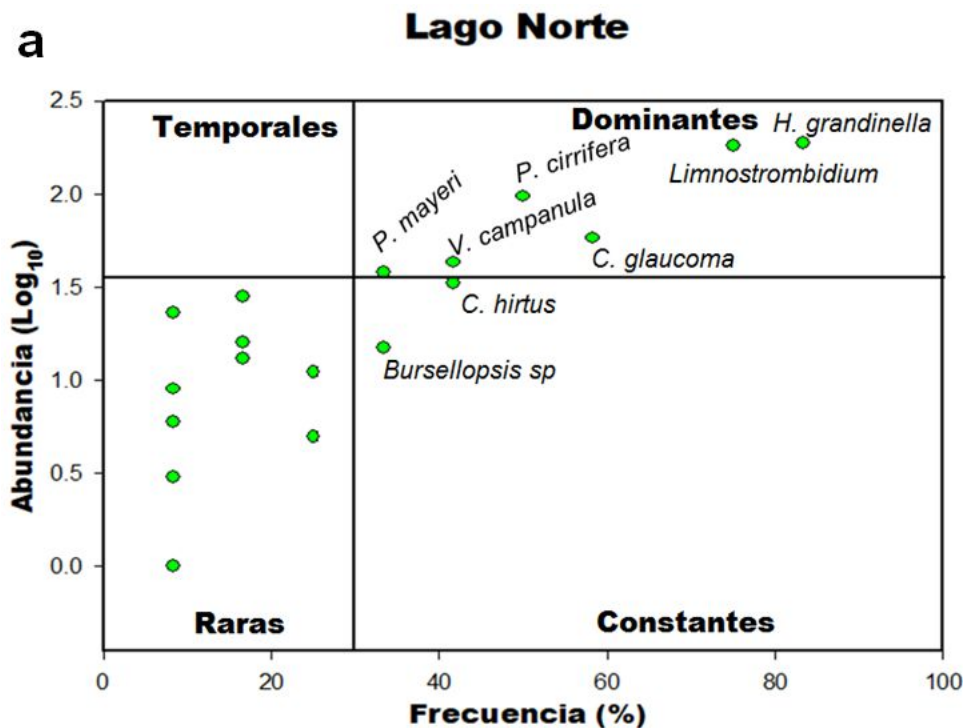
## DOMINANCIA DE ESPECIES

Para ubicar la dominancia y la relevancia de cada una de las especies encontradas en los lagos de la REPSA, se realizó un diagrama de Olmstead-Tukey (Sokal y Rohlf, 1981) se graficó la abundancia ( $\log n$ ) y la frecuencia (%) de cada uno de los

organismos, esto permitió conocer cuáles son las especies dominantes, constantes, temporales y raras a lo largo de este ciclo anual.

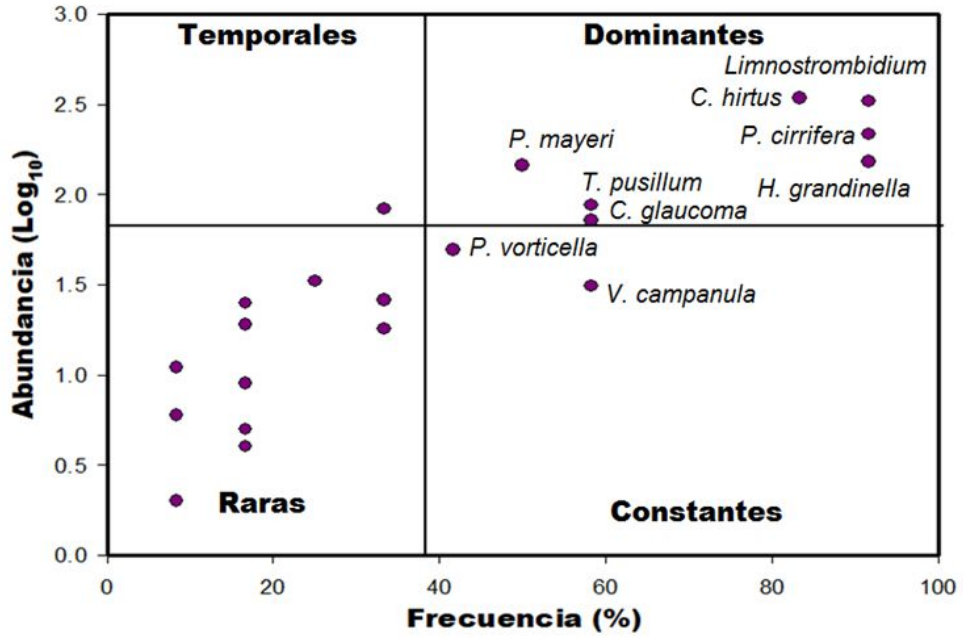
El análisis realizado arrojó los siguientes resultados: el lago Norte contó con 6 especies dominantes, 2 especies constantes, 10 raras y 0 temporales (Fig. 4a). El lago Centro presentó 7 especies dominantes, 2 constantes, 11 raras y una temporal (Fig. 4b). En el lago Sur se localizaron un total de 5 especies dominantes, 3 constantes, 10 especies raras y ninguna temporal (Fig. 4c). Con relación al Vaso Reg. el número de especies dominantes fue de 3, una constante, 8 raras y ninguna temporal (Fig. 4d). Para el Manantial las especies dominantes fueron 2, constantes 1, raras 4 y 0 temporales (Fig. 4e).

Las especies dominantes en común para todos los cuerpos de agua de la Cantera fueron *Halteria grandinella* y *Limnostrombidium*; *P. cirrifera* dominó en todos los lagos a excepción del Manantial; *P. mayeri* y *C. glaucoma* fueron dominantes en el lago Norte y Centro; *T. pusillum* y *C. hirtus* en los lagos Centro y Sur; *V. campanula* sólo fue dominante en el lago Norte.



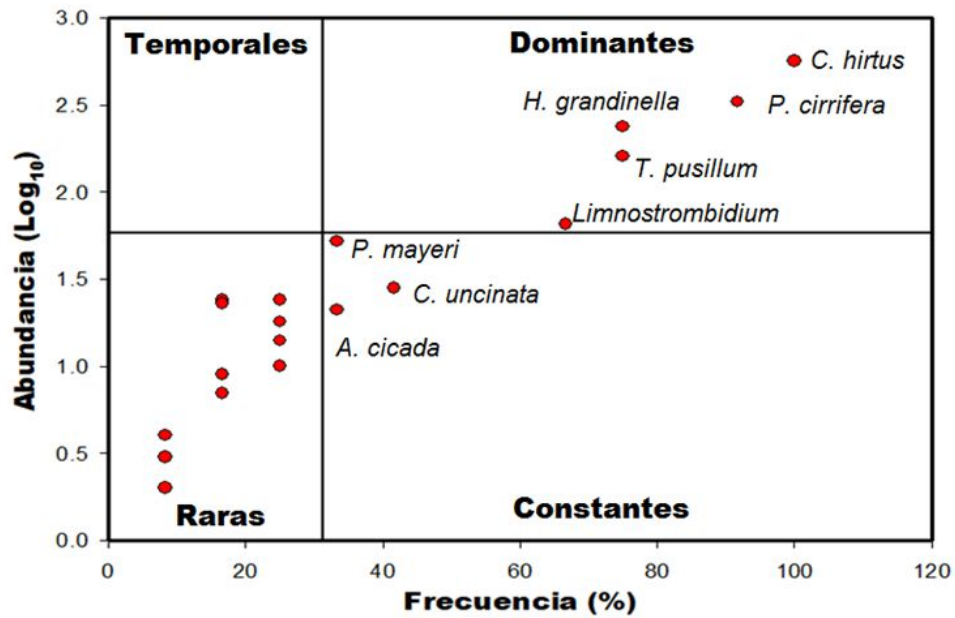
### Lago Centro

b



### Lago Sur

c





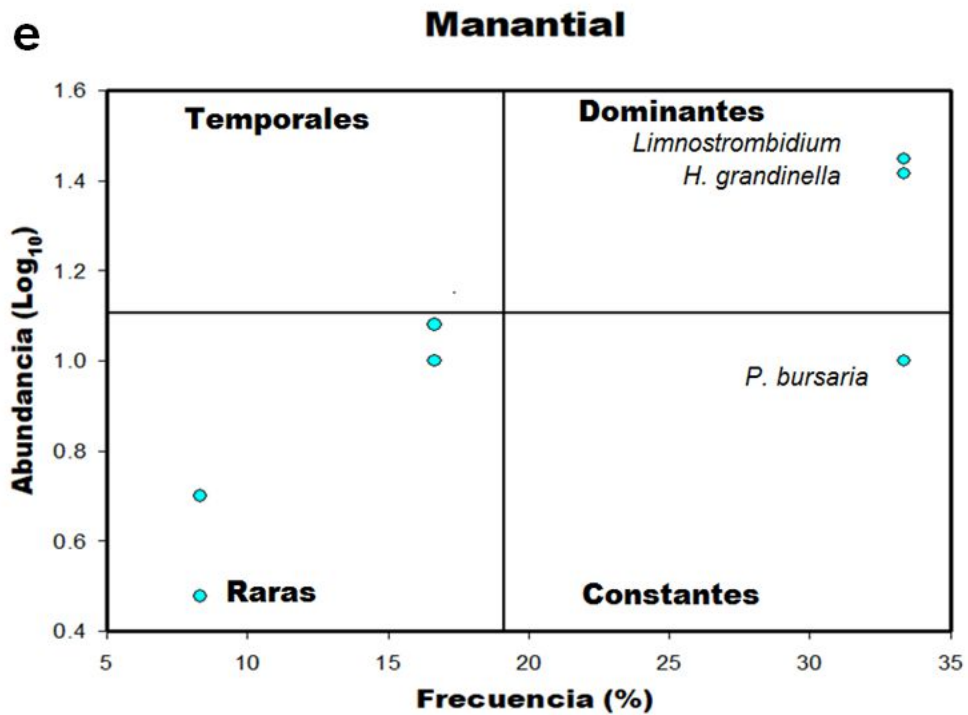
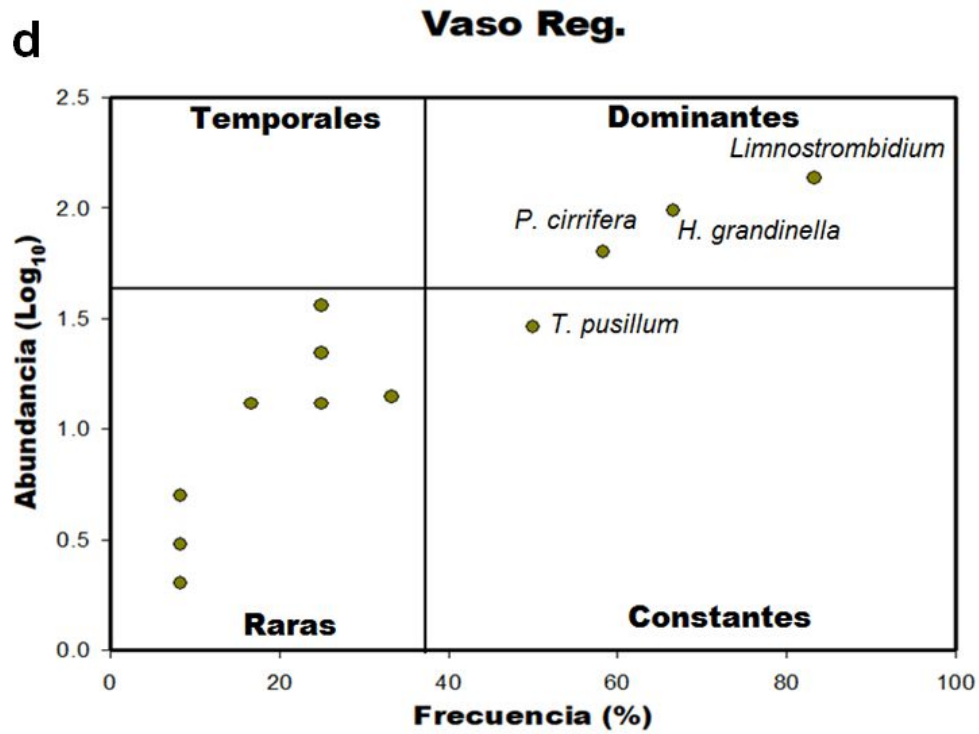


Figura 4. Diagramas de Olmstead-Tukey de ciliados de los lagos de la Cantera Oriente.

## CONTRIBUCIÓN TAXONÓMICA

Considerando la propuesta de clasificación de Eucariotas con énfasis en protistas de Adl *et al.* (2005), 11 grupos de los Alveolata: Ciliophora (ver listado de Riqueza de especies) estuvieron presentes en el lago Centro, seguido del Sur con 10, Norte 9, Vaso Reg. 8 y el Manantial 5. El grupo Oligotrichea estuvo presente en los cinco lagos y en todos ellos fue el que obtuvo los porcentajes más altos de abundancias, el grupo de Protostomatea también se encontró en los cinco lagos y fue el segundo con mayores abundancias en los lagos Centro con 20% y Sur 33%, el lago Norte el segundo grupo en obtener la abundancia más alta fue el Peritrichia con un 11%, en el caso del Vaso Reg. y Manantial fue el Hypotrichia 11% e Hymenostomatida 12% respectivamente. Los demás grupos del muestreo se encuentran cada uno en abundancias menores al 10% para la mayoría de los casos (Fig. 5).

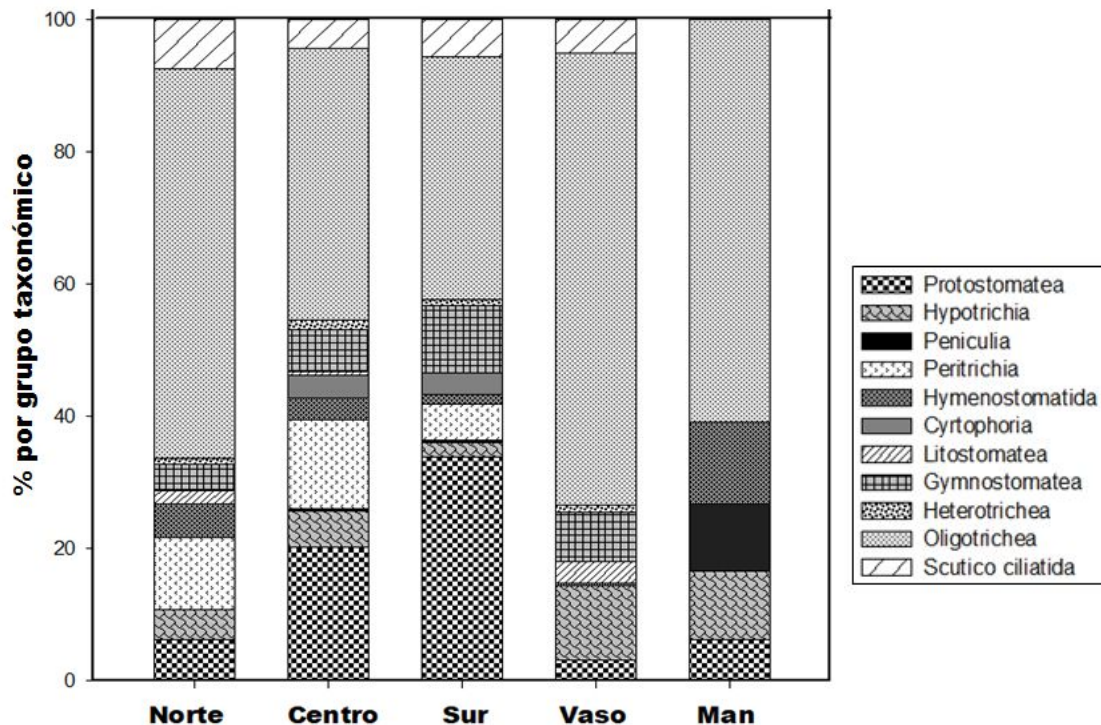


Figura 5. Porcentaje total por grupo taxonómico para cada lago de la Cantera Oriente.

## ANÁLISIS DE SIMILITUD

Para determinar qué tan parecidos fueron los lagos de acuerdo con la composición taxonómica y abundancia de ciliados, se realizó un índice de similitud de Bray-Curtis (1957) el análisis indica una mayor similitud entre los lagos Centro y Sur, seguido del Norte, los lagos que tienen una semejanza menor son Vaso Regulador y el Manantial, este último presentando la mayor diferencia con respecto a los otros lagos (Fig. 6).

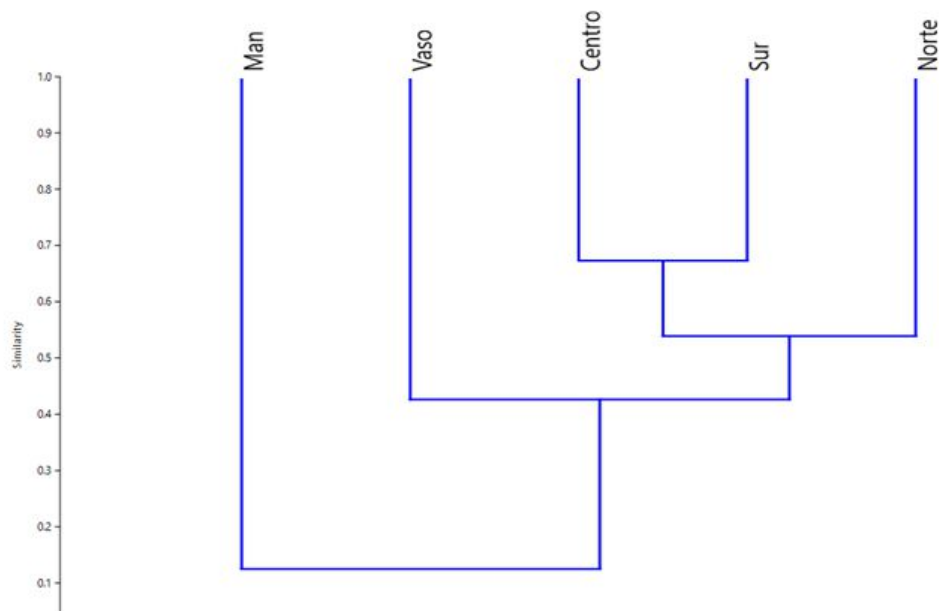


Figura 6. Dendrograma de similitud (Bray-Curtis, 1957) de los ensamblados de ciliados en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente.

## VARIACIÓN TEMPORAL

De acuerdo con las densidades totales de ciliados, los cuatro lagos y el manantial tuvieron valores muy diferentes para cada mes de muestreo, sin embargo, en la mayoría de los cuerpos de agua la densidad fue aumentando conforme se va acercando la **época cálida-lluviosa** (mayo-septiembre), reportándose las densidades más altas dentro de esta estación en el lago Sur en jul-390 org. ml<sup>-1</sup> (Fig. 7c), seguidas del Centro jul-335 org. ml<sup>-1</sup> (Fig. 7b) y Norte con menos en agos-121 org. ml<sup>-1</sup> (Fig. 7a).

En contraste a partir del mes de octubre que es cuando comienza la **época seca-fría** (octubre-abril) en todos los lagos existe un declive en la densidad de organismos, reportando los valores más bajos en el lago Centro mar-37 org. ml<sup>-1</sup> (Fig. 7b) Sur feb-12 org. ml<sup>-1</sup> (Fig. 7c), Norte ene-17 org. ml<sup>-1</sup> (Fig. 7a) con excepción del Vaso Reg., cuyo valor más alto fue de 62 org. ml<sup>-1</sup> (Fig. 7d) en marzo y el lago Norte que tuvo uno de sus picos más elevados en diciembre con 117 org. ml<sup>-1</sup> (Fig. 7a). En el caso del Vaso Reg. y el Manantial la diferencia en la temporalidad no fue tan notoria pues sus abundancias en general no fueron muy elevadas y tampoco hubo gran variación (Fig. 7d, e).

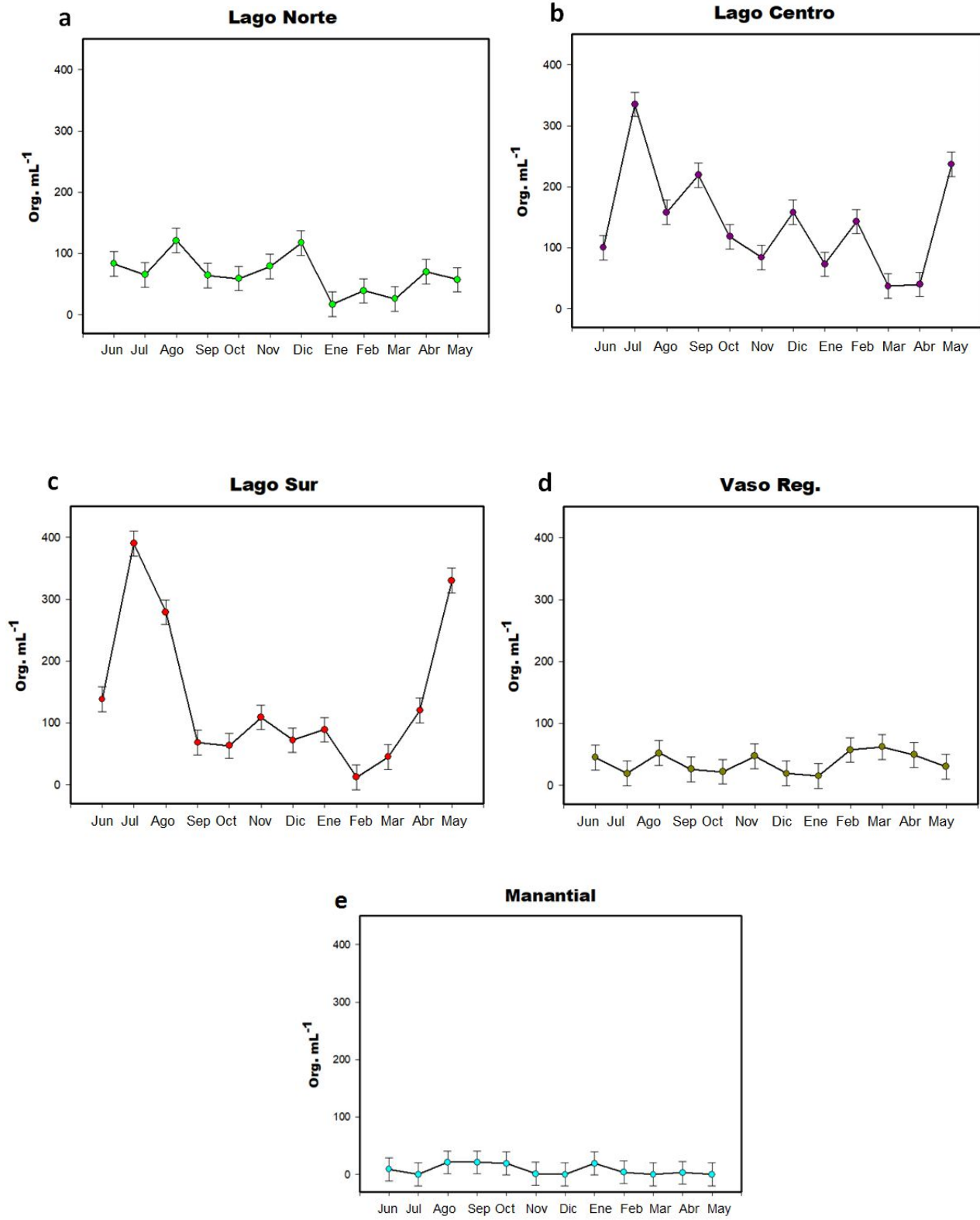


Figura 7. Variación de la densidad de ciliados totales para los cuatro lagos y el manantial durante un año, época seca-fría (octubre-abril), época cálida-lluviosa (mayo-septiembre). Promedios.

Para comparar las densidades totales de ciliados en las dos épocas climáticas, se aplicaron pruebas independientes no paramétricas U de Mann-Whitney (Sokal y Rohlf, 1981). Se encontraron diferencias significativas solamente para los lagos Centro (U= 3.5 p= 0.02) y Sur (U=4 p=0.03) con mayores densidades en la época cálida-lluviosa. Los lagos Norte (U=11 p=0.34) y Vaso Regulador (U=15 P=0.79) no tuvieron diferencias, lo mismo que el Manantial (U=14 p=0.58) (Fig. 8).

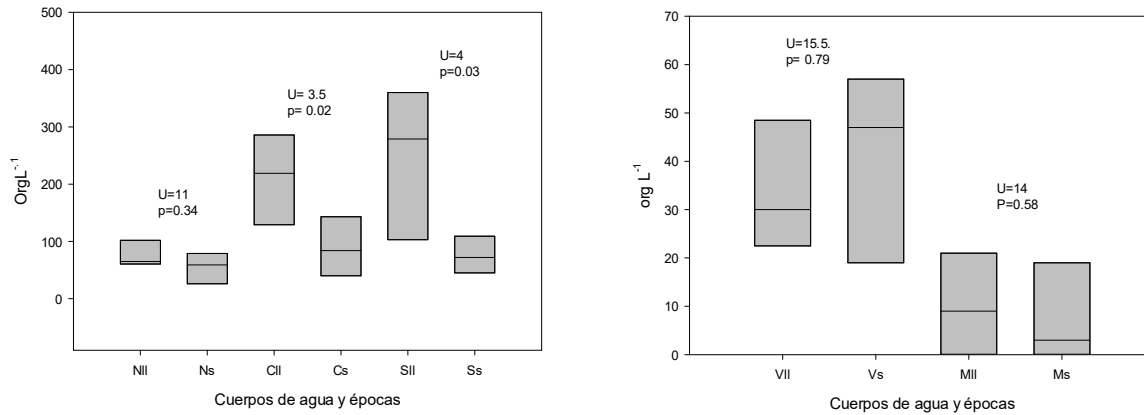


Figura 8. Gráficos de caja y bigote para la comparación de las densidades totales de ciliados por cuerpo de agua y época (I= lluvias s= secas). Nótese las escalas de Y diferentes.

## VARIABLES AMBIENTALES

Para la caracterización ambiental de los lagos de la Cantera Oriente se midieron los parámetros ambientales: temperatura, pH, conductividad específica (K<sub>25</sub>), oxígeno disuelto, clorofila *a*, transparencia del disco de Secchi y P-total (Tabla 2).

Parámetro	Norte	Centro	Sur	V. Regulador	Manantial
Temperatura (°C)	16.2 ± 1.8	17.4 ± 1.9	18.8 ± 2.0	17.5 ± 1.1	16.9 ± 0.7
pH	7.5 ± 0.4	9.0 ± 0.3	9.2 ± 0.5	7.7 ± 0.4	7.2 ± 0.4
Conductividad K <sub>25</sub> (μS cm <sup>-1</sup> )	406 ± 27	395 ± 21	392 ± 18	406 ± 19	417 ± 26
OD (mg L <sup>-1</sup> )	9.2 ± 3.3	15.0 ± 5.2	15.2 ± 3.8	11.8 ± 3.6	7.6 ± 2.5
Clorofila (μg l <sup>-1</sup> )	44.8 ± 29.3	171.1 ± 83.0	204.7 ± 135.3	19.0 ± 13.3	10.8 ± 11.8

<b>Secchi (cm)</b>	84 ± 16	39 ± 11	32 ± 13.5	118 ± 12	64 ± 12
<b>P-total (mg l<sup>-1</sup>)</b>	0.20 ± 0.07	0.18 ± 0.08	0.12 ± 0.04	0.12 ± 0.02	0.12 ± 0.02

Tabla.2 Variables físicas y químicas de la Cantera Oriente promedio y desviación estándar anual.

### Temperatura

De acuerdo con datos obtenidos a través de un año de muestreo en la Cantera Oriente el comportamiento de los lagos fue muy diferente, como se puede observar (Fig. 9) los valores fluctuaron de 12 a 20°C encontrándose los valores más bajos en el lago Norte y los más altos en el lago Sur, la temperatura fluctuó más a lo largo del muestreo en los lagos Norte, Centro y Sur y menos en los dos restantes, cabe destacar que los valores máximos para todos los lagos corresponden a la época cálida (mayo-sep) lo que indica una clara relación entre la temperatura de los lagos y la temporalidad. Debe tomarse en cuenta que la hora de muestreo pudo también influir en estos resultados, ya que el orden de toma de muestras y parámetros fue siempre primero el lago Norte, seguido del Centro, Sur, Vaso Regulador y Manantial sucesivamente.

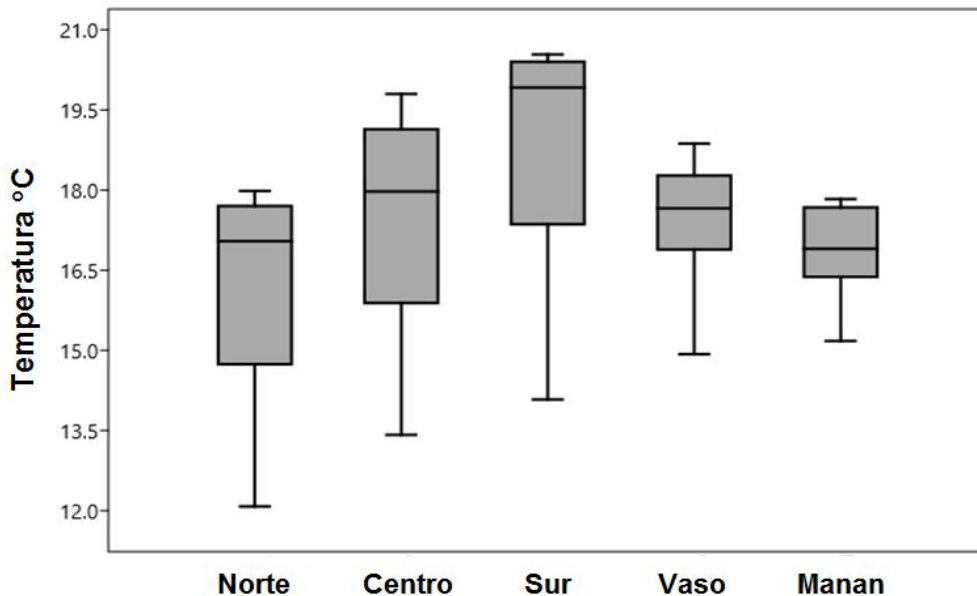


Figura 9. Diagrama de caja y bigote de la variación anual de la temperatura del agua para cada lago, de la Cantera Oriente.

### Conductividad ( $K_{25}$ )

Los valores de conductividad para los cinco cuerpos de agua no variaron mucho, el mínimo de  $363 \mu\text{S cm}^{-1}$  y el valor máximo fue de  $486 \mu\text{S cm}^{-1}$  (Fig. 10). Todos los lagos alcanzaron su valor máximo en el mes de junio que corresponde al inicio de la época cálida lluviosa.

La fluctuación de este parámetro tiene semejanzas entre el lago Norte y el Manantial reportándose los valores más elevados a lo largo del estudio con  $470 \mu\text{S cm}^{-1}$  y  $486 \mu\text{S cm}^{-1}$  respectivamente. Para el lago Centro, Sur y Vaso esta variable no fluctuó mucho, lo valores más bajos a lo largo de estudio se reportaron en el lago Centro y Sur con promedios de  $395 \mu\text{S cm}^{-1}$  y  $392 \mu\text{S cm}^{-1}$  respectivamente.

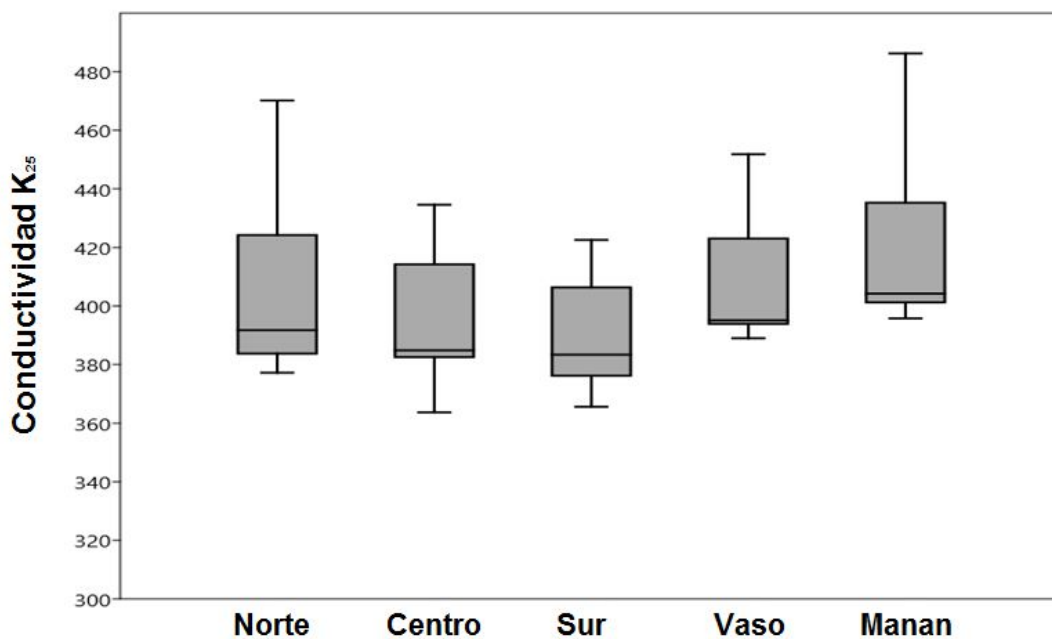


Figura 10. Diagrama de caja y bigote de la variación anual de la conductividad ( $K_{25}$ ), en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente.



### Oxígeno Disuelto (OD)

El OD vario a lo largo del año de 4.7 a 22.1 mgL<sup>-1</sup>, encontrado algunas similitudes entre el lago Norte y el Manantial, hubo menos fluctuaciones y fueron los lagos con los valores más bajos (Norte con 5.3 mgL<sup>-1</sup> y el Manantial con 4.7mgL<sup>-1</sup>). Los valores más altos se encontraron en el lago Centro, Sur y el Vaso Reg. arriba de 20 mgL<sup>-1</sup>; a pesar que el lago Centro contó con valores mayores a 20 mgL<sup>-1</sup> en algunos muestreos y el promedio anual del lago Sur fue mayor, con 15.2 mgL<sup>-1</sup> (Fig. 11).

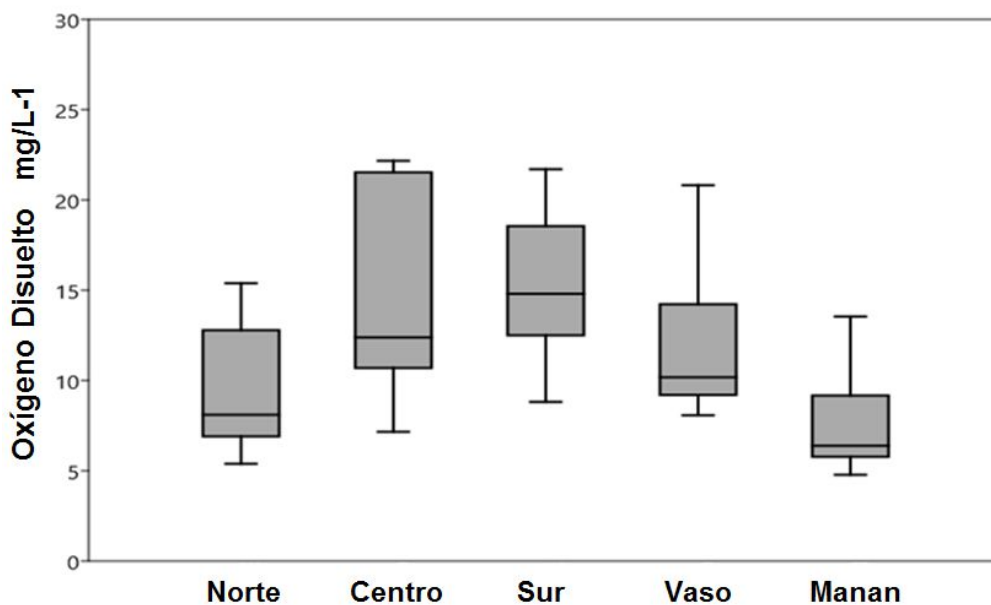


Figura 11. Diagrama de caja y bigote de la variación anual de la concentración de oxígeno disuelto, en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente.

### pH

En general, los valores de pH en los cuerpos de la Cantera Oriente fueron básicos y los valores más altos corresponden a la época cálida, en algunas ocasiones en el mes de marzo, el cual corresponde al fin de la época seca-fría.

Los valores más bajos se midieron en el lago Norte, Vaso Reg. y en el Manantial llegando en ocasiones a una ligera acidez (6.6). Los valores máximos se registraron en los lagos Centro y Sur, en este último se presentó el mayor valor que fue de 10

unidades; estos dos lagos destacan entre los demás (Fig. 12) pues sus valores siempre estuvieron arriba de 8.

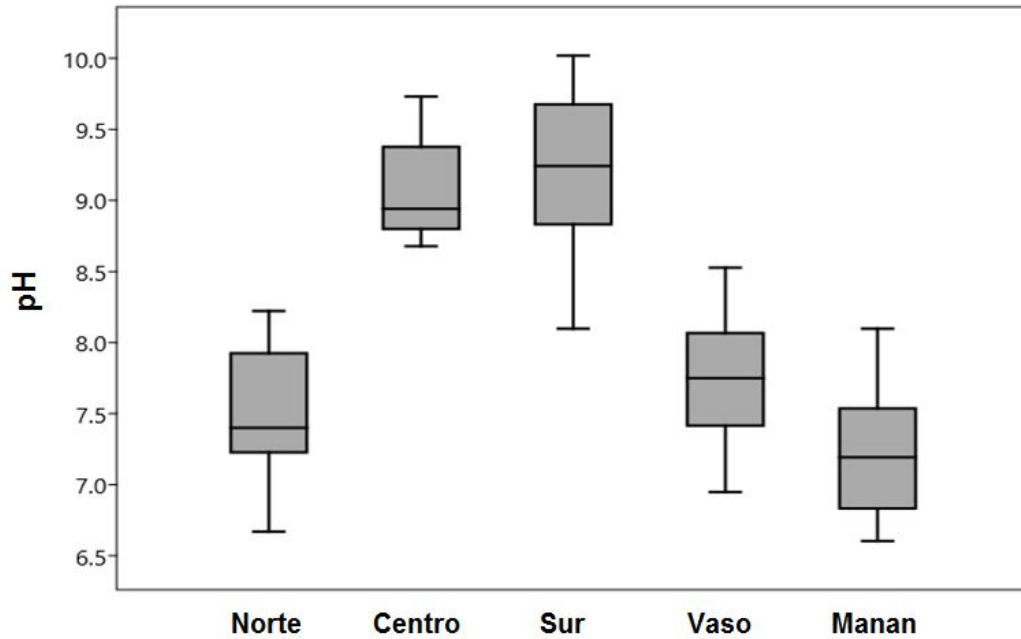


Figura 12. Gráfico de caja y bigote de la variación anual del pH en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente.

## VARIABLES ASOCIADAS AL ESTADO TRÓFICO

Para los cuatro lagos y el Manantial se midieron algunas variables indicadoras que están relacionadas con la biomasa algal para evaluar el estado trófico de los cuerpos de agua: clorofila *a*, transparencia del disco de Secchi y nutrientes P-total (Calazans *et al.*, 1997). Son indicadores matemáticos para evaluar la calidad del agua llamados índices de estado trófico (TSI). Se analizaron estas tres variables por separado y posteriormente se utilizó el Índice de Carlson (1977) para conocer el estado trófico de los lagos de la Cantera (figuras 16 a-e).

### Clorofila a

De acuerdo con los valores de clorofila *a* obtenidos a lo largo del muestreo existe una clara diferencia entre los cinco cuerpos de agua, pues los valores más bajos se registraron en el Manantial y el Vaso Reg. con promedios de 10.8  $\mu\text{g l}^{-1}$  y 19  $\mu\text{g l}^{-1}$ . En contraste con el lago Sur que tuvo los valores mínimos y máximos fueron de 58 a 468  $\mu\text{g l}^{-1}$ , seguido por el lago Centro cuyo intervalo fue de 74 a 336  $\mu\text{g l}^{-1}$ , mientras que en el lago Norte la concentración de clorofila *a* varió de 13 a 108  $\mu\text{g l}^{-1}$  (Fig. 13).

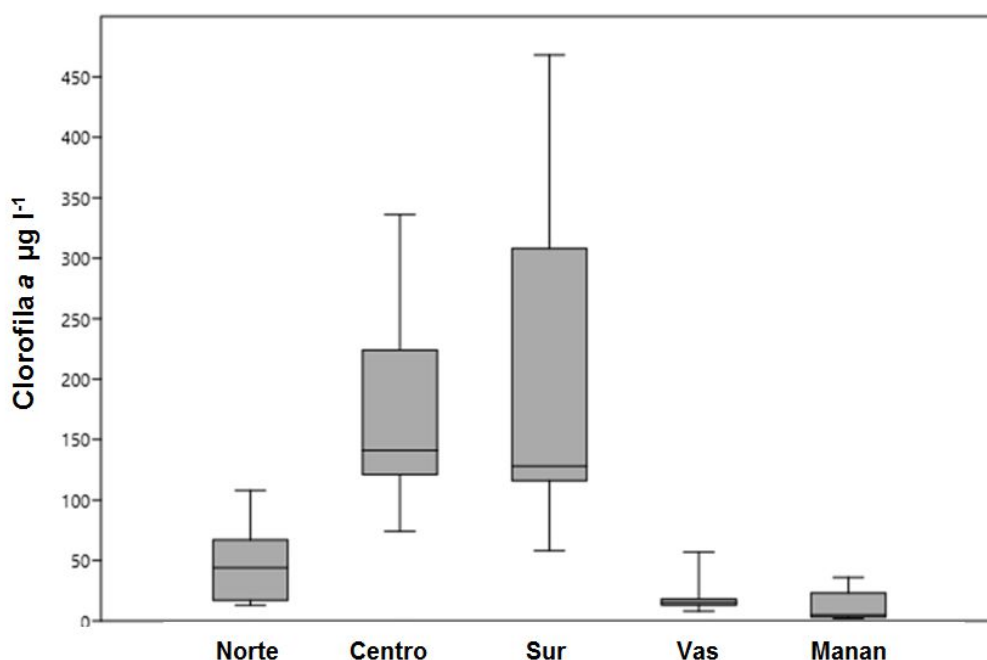


Figura 13. Diagrama de caja y bigote, con la variación de la concentración de clorofila *a* en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente.

### Transparencia del Disco de Secchi

Con relación a la profundidad del disco de Secchi el lago que obtuvo los valores de transparencia más elevados fue el Vaso Reg. con intervalos de 101 a 140 cm, el lago Norte de 60 a 110 cm, Manantial con intervalos de 50 a 100 cm y los que obtuvieron las menores transparencias fueron el lago Centro y Sur con un promedio de 39 y 32 cm respectivamente (Fig.14).

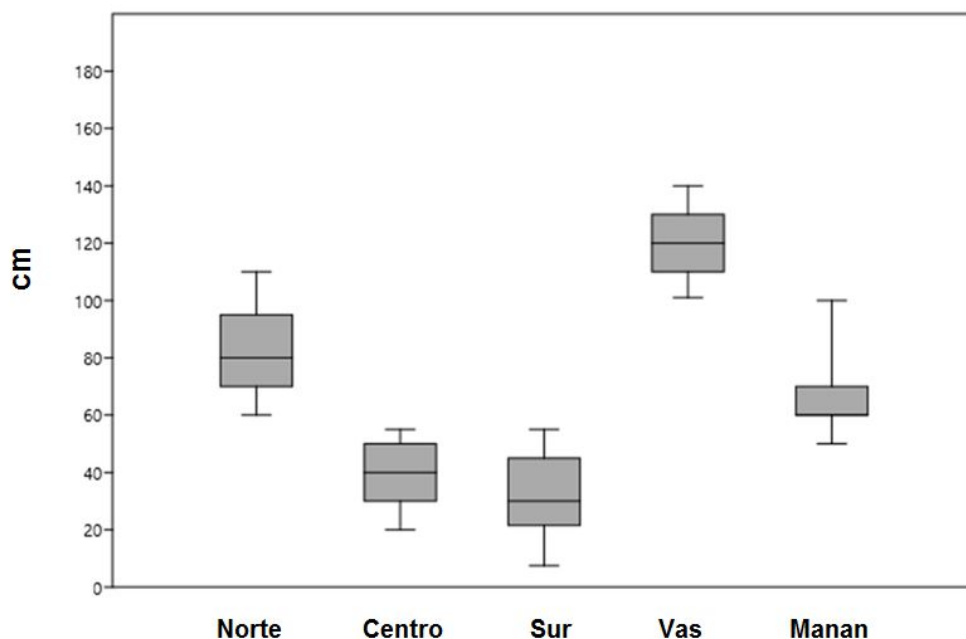


Figura 14. Diagrama de caja y bigote, con la variación en la profundidad del disco de Secchi en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente.

### P-total

La concentración promedio más elevada del fósforo total (P-total) se encontró en el lago Sur con  $0.43 \text{ mgL}^{-1}$ , mientras que los valores promedio menores estuvieron en el Vaso Regulador ( $0.14$ ) y en el Manantial ( $0.15 \text{ mgL}^{-1}$ ). Los lagos Centro ( $0.28 \text{ mg L}^{-1}$ ) y Norte ( $0.18 \text{ mgL}^{-1}$ ) mostraron valores promedio intermedios. El valor máximo ( $1.27 \text{ mgL}^{-1}$ ) ocurrió en el lago Sur en el mes de julio, mientras que el valor mínimo ( $0.10 \text{ mg L}^{-1}$ ) se midió en lago Norte durante el mes de agosto (Fig. 15) probablemente asociado a la entrada abundante de agua desde los manantiales.

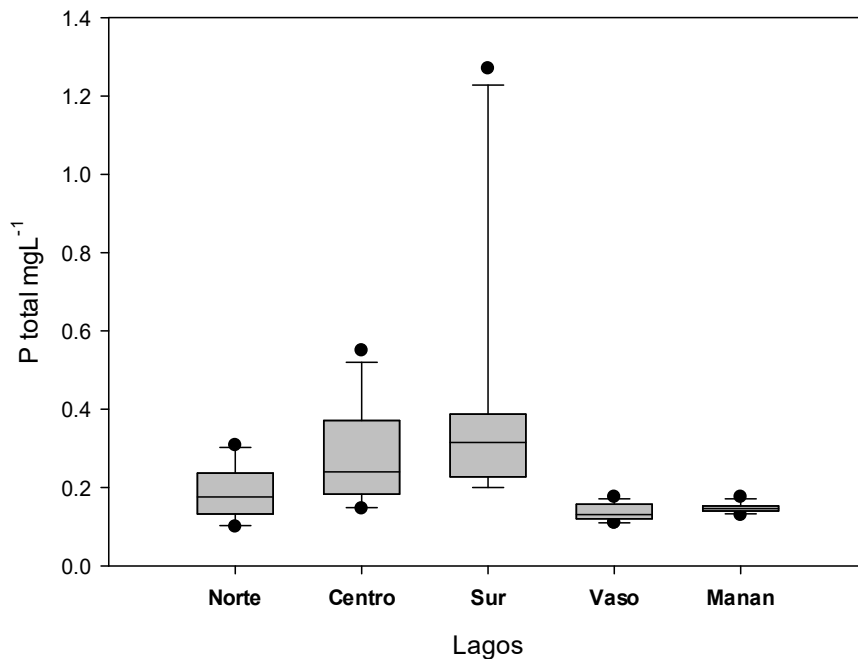


Figura 15. Diagrama de caja y bigote, con la variación del P-total en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente.

Entonces, para evaluar el **Estado trófico** de los lagos de la Cantera Oriente se utilizó el índice propuesto por Carlson (1977), en este índice los valores varían en una escala de cero a cien y que considera una escala de valores promedio anuales: oligotrófico <30, mesotrófico 30-60, eutrófico 60-90 e hipertrófico 90-100. Así, para llevar a cabo el cálculo se utilizó el promedio de los datos anteriores de transparencia del disco de Secchi (cm) y la concentración de clorofila a ( $\text{mgL}^{-1}$ ) y la concentración promedio del fósforo total ( $\text{mgL}^{-1}$ ). Estos valores obtenidos permitieron clasificar a los lagos de la siguiente manera: lago Norte, Vaso Reg. y Manantial indican un estado que va de mesotrófico a eutrófico; en caso del lago Centro y Sur en todos los puntos de muestreo señalaron condiciones eutróficas. A pesar de lo señalado calculando el promedio anual para cada uno de los lagos se clasificarían de la siguiente manera: lago Note, Centro y Sur eutróficos con promedios de 64, 77 y 79 unidades (Fig. 16 a, b y c); Vaso Reg. y Manantial mesotróficos con promedios de 57.8 y 58.9 unidades respectivamente (Fig. 16 d y e).

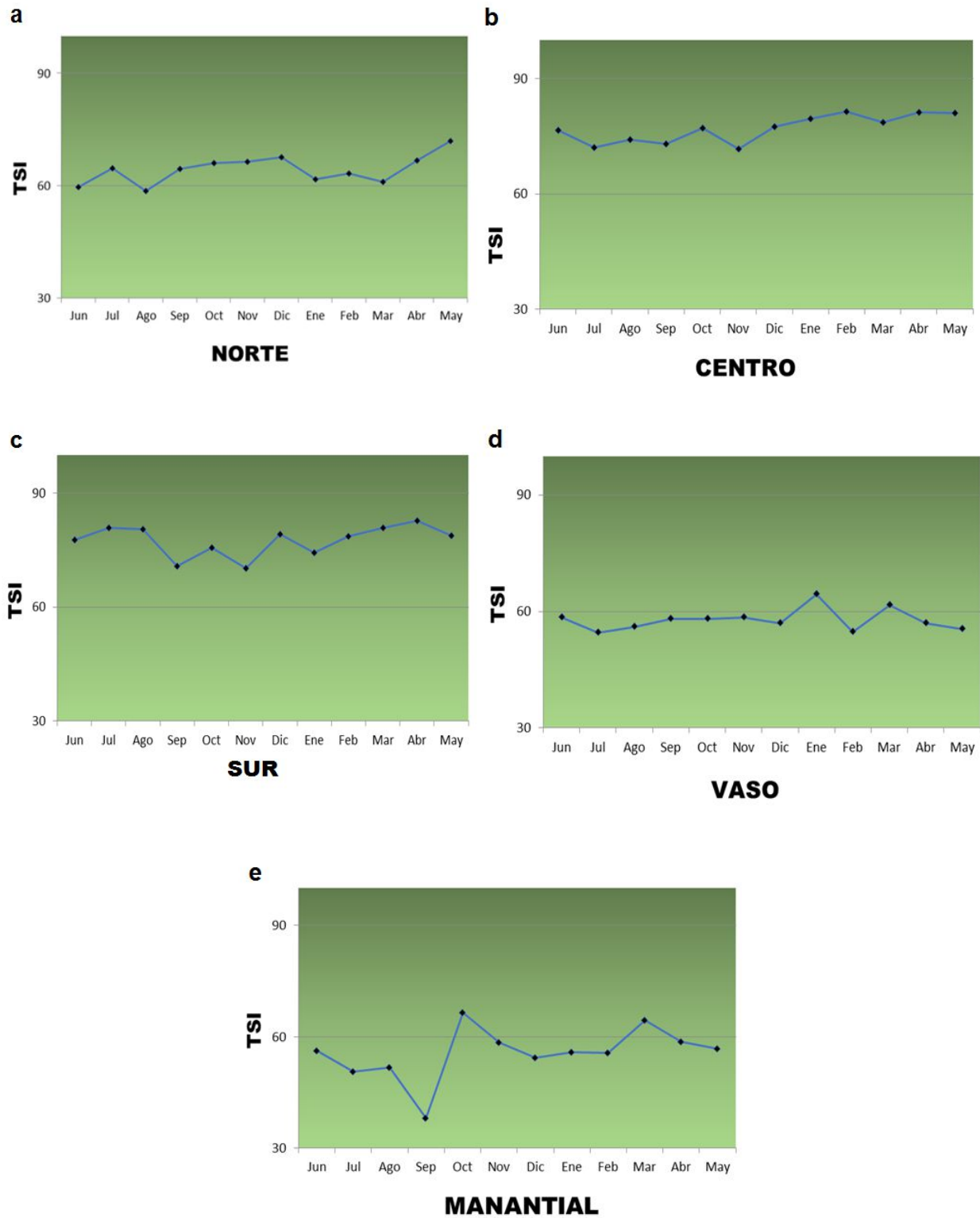


Figura 16. Variación de los valores del Índice del estado trófico de Carlson (1977) con clorofila a fósforo y disco de Secchi de los cuerpos de agua de la Cantera Oriente. Escala de valores: oligotrófico <30, mesotrófico 30-60, eutrófico 60-90 e hipertrófico 90-100.

## ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS CANONICAS (CCA)

Se realizó un análisis de correspondencia canónicas para establecer la relación de la presencia de algunas especies con los parámetros físicos y químicos (Fig. 17). 13 especies tuvieron alguna relación ambiental, la mayoría con la conductividad, variable que no fluctuó mucho a lo largo del estudio. *V. campanula*, *Askenasia sp.* y *P. mayeri* se relacionan con P-total, *C. hirtus* se relaciona más con las variables asociadas al estado trófico como la clorofila *a* y con el oxígeno disuelto. Cabe señalar que algunas especies no tuvieron relación evidente con las variables ambientales.

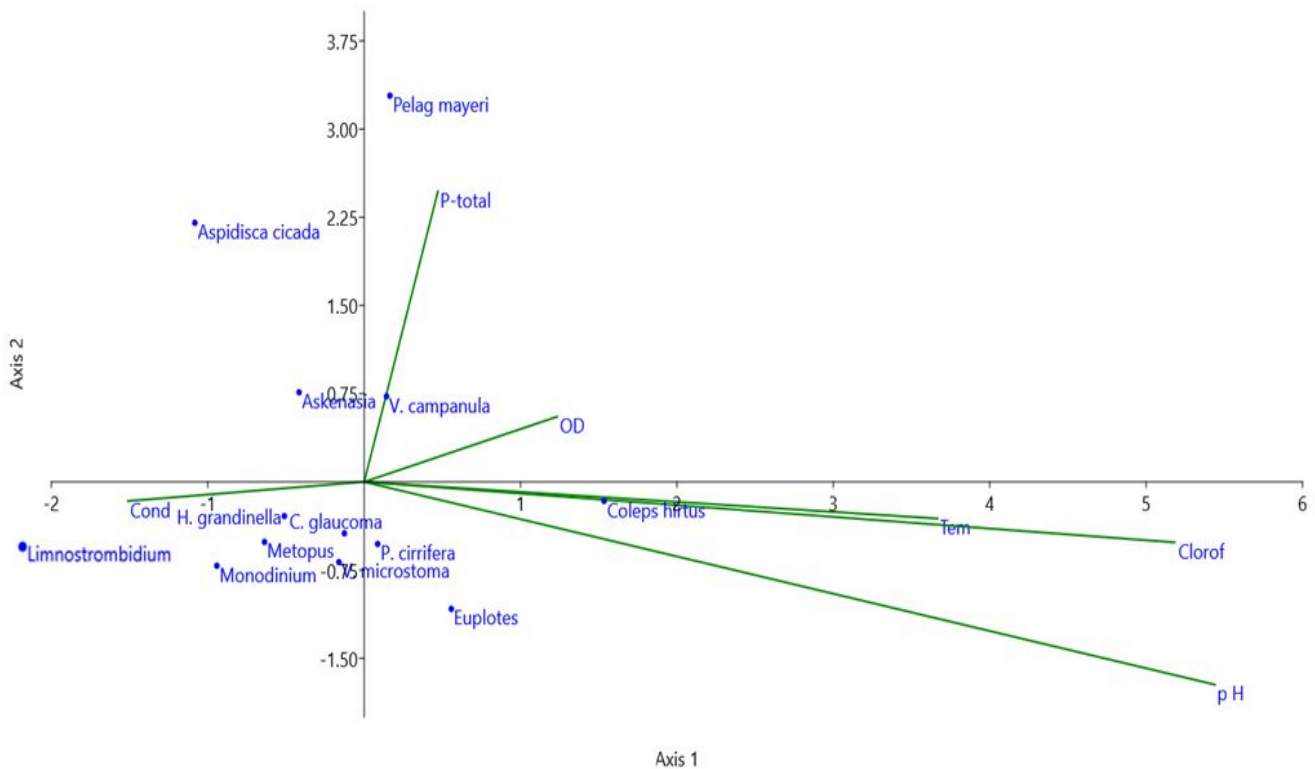


Figura 17. Análisis de CCA entre parámetros ambientales y algunas especies de ciliados de la Cantera Oriente

## EXPERIMENTO DE CONSUMO

Los resultados de los experimentos de consumo del copépodo *Acanthocyclops eduardoi* (macho y hembra) y del cladóceros *Daphnia* del complejo *pulex* sobre el ciliado *Coleps hirtus*, ambas especies presentes en el zooplancton de los lagos de la Cantera Oriente mostraron que estas especies se alimentan de forma importante de ciliados. *Daphnia* fue la especie que realizó un consumo mayor con una tasa de ingestión sobre *C. hirtus* de  $300 \pm 21$  cél ind<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Las hembras del copépodo *A. eduardoi* consumieron  $198 \pm 172$  cél ind<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, mientras que los machos mostraron una tasa de ingestión de  $146 \pm 68$  cél ind<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Cuando estos datos se expresan como contenido de carbono de los ciliados consumidos, los valores correspondientes son  $210 \pm 100$  ng ind<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>,  $280 \pm 72$  ng ind<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y  $430 \pm 30$  ng ind<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (Fig. 18).

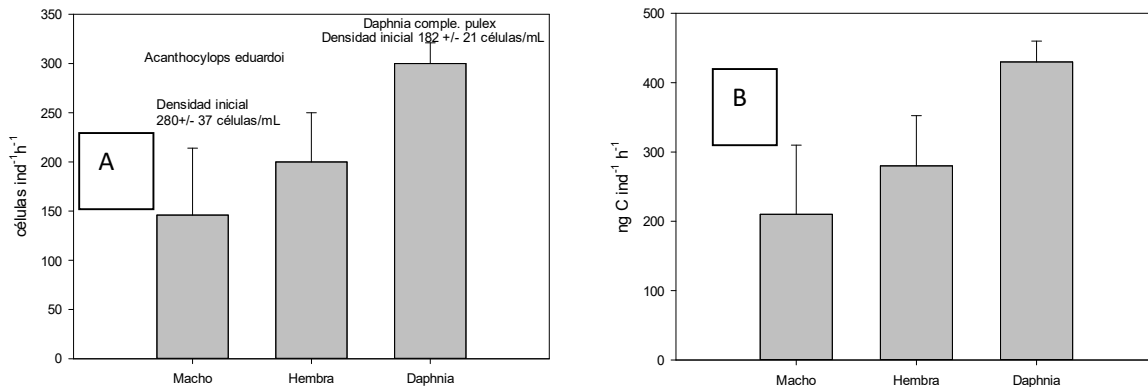


Figura 18. Tasa de ingestión del copépodo *A. eduardoi* (macho y hembra) y del cladóceros *Daphnia* complex *pulex* sobre el ciliado *C. hirtus* expresado en células (A) y contenido de carbono (B) ( $\pm$  DE).



# DISCUSIÓN

## Riqueza de especies

En México existen poco más de 130 trabajos relacionados con algún aspecto sobre ciliados y hasta el momento se han reportado alrededor de 959 especies distribuidas en el país (Mayen-Estrada *et al.*, 2014). En el presente estudio de los cuerpos de agua de la Cantera Oriente se obtuvo una riqueza biológica de 32 especies de ciliados ubicados en la zona limnética pertenecientes a 11 grupos según la clasificación de Adl *et al.* (2005).

Aladro *et al.* (2007) realizaron un estudio en la Cantera Oriente encontrando un total de 75 especies de ciliados, de las cuales 22 coinciden con este trabajo, esta diferencia en riqueza taxonómica puede deberse a que trabajaron en el área litoral, canales y parte del sedimento en donde la presencia de macrófitas acuáticas favorece una mayor diversidad de nichos; a pesar de esto hubo 10 especies de ciliados registradas en este estudio que no habían sido reportadas en el trabajo antes mencionado, pero si en el trabajo realizado el Dr. Lugo *et al.* (2017), por mencionar algunas tenemos *Limnostrombidium sp.*, *Askenasia volvox*, *Bursellopsis sp.*, *Monodinium sp.*, *Pseudovorticella mayeri* las cuales son consideradas como euplantonicas.

Números similares de ciliados se han reportado en cuerpos de agua mexicanos con características eutróficas similares a la Cantera, como los lagos de Chapultepec, donde González (1995) identificó un total de 30 especies pertenecientes a 11 grupos; Cabral (2006) en el lago del parque Tezozómoc observó un total de 27 especies de ciliados, Esquivel *et al.* (2016) en el lago Catemaco reportaron 28 géneros de ciliados. Estos resultados presentan semejanza a la composición encontrada en otros sistemas de agua dulce poco profundos; como un estudio de 13 cuerpos de agua de zonas urbanas y rurales de San Paulo, Brasil (Bagatini *et al.*, 2013) encontraron números promedio de especies de ciliados por cuerpo de agua de 21. En contraste, Buholce *et al.* (2015) únicamente encontraron 13 taxones en un estudio realizado en dos estanques y dos reservorios urbanos de la ciudad de Riga, Latvia, correspondiente a la zona templada del planeta. Estos hallazgos pueden generalizar una distribución casi cosmopolita de protozoos en los sistemas

acuáticos (Pfister *et al.*, 2002) y muestran que la riqueza de especies de ciliados en el plancton de cuerpos de agua eutróficos no es muy abundante, quizá podría justificarse con estudios complementarios de depredación.

### **Composición de ciliados**

En relación a la composición de especies reportadas en la Cantera Oriente (Tabla 1) la mayoría fueron bacterívoras, esto señala un control del crecimiento de la comunidad de descomponedores, componente importante en sistemas eutróficos; entre los ciliados alguívoros también encontramos un número alto de individuos, que participan como consumidores primarios ya que aprovechan a los organismos fitoplanctónicos; ciliados que fungen como depredadores fueron pocos (*Actinobolina sp.*, *Litonotus lamella*, *Monodinium sp.*) (Cabral, 2006); los ciliados bacterívoros y herbívoros son los principales representantes de los lagos de la Cantera y éstos son consumidos por los metazoos del zooplancton, se puede decir que los ciliados forman un vínculo importante a través del cual la producción de pico y nanoplancton -del circuito microbiano- se transfiere a las cadenas alimentarias clásicas (Yasindi y Taylor, 2006).

La variación del tamaño de las especies tuvo un comportamiento particular, solamente tres especies (*H. grandinella*, *Cyclidium glaucoma* y *Cinetochilum margaritaceum*) tuvieron un tamaño de hasta 30  $\mu\text{m}$ , de los cuales solo un represento al grupo scuticociliados. Ya desde algunos trabajos iniciales (Beaver y Crisman 1982 y 1989) se propuso una relación entre la abundancia y tamaño de los ciliados plantónicos con el estado trófico de cuerpos de agua, siendo más abundantes los de menor tamaño en ambientes muy productivos, como los son la mayoría de estos lagos de la Cantera; sin embargo, aquí no siempre se encontraron estos tamaños.

Foissner (1997), atribuye la baja riqueza de especies a la posible escasez de nutrientes, que coincide con el estado trófico (índice de Carlson) de los lagos de la Cantera, como lo demuestran las 32 especies reportadas para este estudio, el lago Sur con 25, Centro con 24, seguido del Norte con 22, Vaso con 12 y Manantial con 8. Sin embargo, siempre hubo especies comunes para los cinco lagos estas fueron *Coleps hirtus*, *Aspidisca cicada*, *Halteria grandinella*, *Limnostrombidium sp.* y

*Pelagohalteria cirrifera*, todas ellas incluyen en su dieta bacterias y algas (Foissner *et al.*, 1999).

*Coleps hirtus* y *A. cicada* son especies ubicadas como cosmopolitas y eurioicas, con una amplia distribución (Bick, 1972), aparte de contar con una capacidad de alimentación variada (González, 1995). En las figuras 4 (a-e), de frecuencia vs. abundancia siempre están entre las dominantes y constantes.

La presencia de *Halteria grandinella* (del grupo Oligotrichea) en todos los cuerpos de agua puede deberse a sus hábitos alimenticios (omnívora) que se basa de varios organismos que pertenecen a varios niveles tróficos, también su capacidad de saltar la hace una presa difícil (Bagatini *et al.*, 2013); *Limnostrombidium sp.* y *Pelagohalteria cirrifera* también pertenecientes al grupo Oligotrichea, considerado de los más predominantes de lagos subtropicales oligotróficos a hipereutróficos a lo largo de ciclos anuales (Beaver y Crisman, 1990; Laybourn-Parry, 1992).

También hubo especies que solo se presentaron en un solo lago como *Chilodonella uncinata*, *Cothurnia annulata*, y *Epistylis sp.*, esta última en abundancias elevadas puede considerarse como indicadora de condiciones ecológicas deficientes (Cabral, 2006), se observó como epibionte en *Moina micrura* una especie de cladóceros; este ciliado solo se encontró en el lago Norte. Por otra parte, *Metopus sp.*, aunque en pocas cantidades estuvo presente en los lagos Centro y Sur, es un organismo considerado como indicador de ambientes altamente degradados (Czapik, 1982) y estos lagos se catalogan con los grados más altos de eutrofización. Finalmente, *Cyclidium glaucoma* fue el único representante del grupo Scuticociliada, es bacterívoro, eurioico y muy común de lagos eutróficos (Yasindi y Taylor, 2006) hasta casi oligotróficos, estuvo presente en todos los lagos, aunque en pocas cantidades y ausente en el Manantial (Tabla 1).

### **Índice de Jaccard**

Como se puede apreciar la presencia de los ciliados en los cinco cuerpos de agua fue muy diferente, debido a esto, se realizó un índice cualitativo de similitud de Jaccard que ayudo a tener una visión más clara de las semejanzas entre lagos; fue así que los más parecidos son los lagos Centro, Sur, que cuentan con 21 especies

en común, seguidos del Norte, estos lagos son los de mayor grado de contaminación, finalmente el Vaso Reg. y Manantial aparecen como los menos parecidos a los tres anteriores (Fig. 2) esto señala que existe una relación entre las especies presentes y grado de eutrofización en los lagos.

### **Índice de diversidad**

Se utilizó un índice de diversidad para caracterizar la relación especie-abundancia dentro de la comunidad, esta relación se compone de dos elementos que son la riqueza de especies y la equitatividad (Magurran, 2003). El índice de Shannon-Weaver (1949) fue el elegido pues cuenta con la ventaja de tomar en cuenta las especies raras o poco abundantes -observadas en esta tesis-, y como unidades de bits/ind. De esta forma, el índice contemplo la cantidad de especies presentes en los lagos (*riqueza de especies*), y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (*abundancia*).

Es así, que el índice de diversidad de los lagos de la REPSA varió mucho durante el estudio, reportándose el promedio más alto en los lagos más productivos con 1.7 y 1.6 bits/ind. para el lago Centro y Sur respectivamente. Margalef (1983) señala que la diversidad más frecuente en el zooplancton en cuerpos de agua se encuentra entre 1.5 y 2.5 bits/ind., valor que no se sobrepasó.

En general la diversidad aumentó conforme incrementaba el estado trófico en los cuerpos de agua, con intervalos de 0 a 2.4 bits/ind. los valores más elevados corresponden a los lagos más productivos la mayoría de las ocasiones; a diferencia de la temporalidad que no tuvo ninguna influencia, pues los valores máximos y mínimos se encontraban en ambas épocas del año, por lo que se señala que la mezcla no afecto la diversidad. Al comparar los resultados obtenidos con los cuerpos de agua someros de la ciudad de Riga, Latvia (Buholce *et al.*, 2015), de clima templado difieren pues estos presentaron influencia de la temporalidad, reportándose su mayor pico de riqueza fue de 1.4 bits/Ind. en el verano y el índice más bajo de 0.2 bits/Ind. en la época de secas (Fig. 3).

Tomando en cuenta los promedios anuales de los lagos de 1.7 a 0.4 bits/ind. señalan una diversidad baja, pues en general la composición de especies de la

Cantera se caracteriza por la dominancia de *Halteria grandinella*, *Limnostrombidium sp.*, y en ocasiones por *Coleps hirtus* y *Pelagohalteria cirrifera* (lo cual se corroboró con diagramas de Olmstead-Tunkey Fig. 4 a-e). Estas especies ya se han identificado en diversos lagos de la ciudad de México, que presentan semejanzas en las características físicas y químicas; como los lagos de Chapultepec, donde González (1995) reportó 30 especies en los tres lagos señalando como importante a *C. hirtus*, Cabral (2006) en el Tezozómoc identificó 27 ciliados y varios de sus registros coinciden con los de este estudio y se resalta la presencia de *Halteria grandinella*, en el mismo sitio Ávila (2013) reporta como dominantes a los grupos Oligotrichia y Protostomatea.

### **Dominancia de Especies**

De acuerdo con el diagrama de Olmstead-Tukey (Sokal y Rohlf, 1981) (Fig. 4) las especies dominantes, es decir las que presentaron mayor frecuencia y abundancia a lo largo del muestreo para todos los lagos fueron *Halteria grandinella* y *Limnostrombidium sp.* pertenecientes al mismo grupo taxonómico de los Oligotricos. *P. cirrifera* también pertenece al mismo grupo, pero no estuvo presente en el Manantial. Otro grupo dominante fue el de los Protostomatea representado por *C. hirtus* localizado en 2 lagos, esta especie cuenta con un rango amplio de alimentación como algas, bacterias y detritos, estos dos lagos Centro y Sur (Fig. 4b, c) son considerados los más productivos. *C. glaucoma* del grupo Scuticociliada fue dominante en el lago Norte y Centro, Beaver y Crisman (1982) señalan que en lagos eutróficos los ciliados pequeños (<20 µm) suelen dominar ya que su alimentación se basa en las grandes cantidades de bacterias disponibles (Fig. 4a, b). Protostomatea, Oligotrichia, y Scuticociliada todas estas especies son características de ambientes con elevado contenido de materia orgánica (Foissner *et al.* 1999).

También hubo otras especies dominantes como *P. mayeri* en el lago Norte y Centro; en el Sur se presentó como constante y *V. campanula* fue dominante en el Norte, y se encontró en el Centro como constante. Las especies raras -con menor frecuencia y abundancia- fueron muy numerosas en la mayoría de los lagos. En el caso de especies temporales sólo se reportó una en lago Centro (Fig. 4b), en los demás lagos estuvieron ausentes.

De acuerdo con las especies dominantes obtenidas en este estudio, existe una similitud con algunas especies en otros lagos de características eutróficas parecidas a la de los lagos de la Cantera, como los lagos de Chapultepec donde González (1995) estudio la composición de ciliados reportando a *C. hirtus*, *C. glaucoma* como especies dominantes, Sánchez (2011) encontraron en el Lago hipertrófico Tezozómoc de la ciudad de México a *Halteria grandinella* como la especie más abundante, en este estudio fue también una especie dominante para los cinco lagos. Ávila (2013) reporta a Protostomatea, Oligotrichiea, y Scuticociliada como los grupos dominantes para el lago Tezozómoc, de características hipertróficas.

### **Contribución taxonómica**

Los principales grupos taxonómicos que se encontraron en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente (Fig. 5) fueron Oligotrichida, Prostostomatea, Peritrichia, Hypotrichia, Hymenostomatida, Heterotrichia y Scuticociliados. De acuerdo con Foissner (1994) estos son grupos típicamente presentes en la zona planctónica, también se encontraron otros grupos como Peniculia, Litostomatea y Gymnostomatea, estos tres incluyen especies alguívoras, bacterívoras, omnívoras y depredadoras; el grupo Cyrtophoria, puede considerarse como el único que no corresponde al hábitat planctónico (González, 1995).

En general los Oligotricos fueron siempre los más numerosos en los cuatro lagos y el manantial: como representantes de este grupo encontramos a *Halteria grandinella*, *Pelagohalteria cirrifera* y *Limnostrombidium sp.* La contribución del grupo fue alrededor del 60 % en el lago Norte, Vaso Reg. y el Manantial; cerca del 40% en los lagos Centro y Sur. Se ha sugerido que el papel de Oligotrichida debería de ser significativo en lagos someros como es el caso de los lagos de la Cantera Oriente (Zingel, 2001).

En general, en otras partes del mundo el grupo Oligotrichida tiene gran prevalencia. Buholce *et al.* (2015) destacan la abundancia de este grupo, con porcentajes de más de 75%, en varios cuerpos de agua en la ciudad de Riga, Latvia; también Zingel (2001) en el lago Peipsi en Estonia, encontró que este grupo contribuyó un aproximado de 50% de la abundancia total de ciliados; Hecky *et al.* (1978) en el lago Tangañica, de características oligotróficas, observaron que este grupo contribuyo un

78.8%.

Otro grupo que estuvo presente en todos los lagos fue el Prostostomatea, principalmente representado por *Coleps hirtus* que presenta en su superficie placas calcáreas; se mueve con mucha rapidez y cambia la dirección de nado muy bruscamente a la vez que rota. Este grupo fue el segundo más abundante en el lago Centro representando el 20% y Sur el 30%, Laybourn-Parry (1992) señala la dominancia de este grupo en lagos eutróficos. Por otro lado, los Peritricos contribuyeron con menos de 13%, y aunque fue el de más riqueza de especies no tuvo una abundancia muy alta y solo se encontró en los lagos considerados como más productivos, es decir, el Norte, Centro y Sur; este grupo suele estar fuertemente relacionado con contaminación orgánica (Antipa, 1967; Burbanck y Spoon, 1967; Henebry y Ridgeway, 1979). Gymnostomatea fue otro de los grupos que presentó una mayor variedad de especies, pero con poca abundancia en los lagos, representando menos del 10%, este grupo es común dentro del protozooplancton lacustre como depredadores (*Actinobolina sp.*, *Askenasia volvox*, *Litonotus lamella* y *Trachelophyllum pusillum*) de otros ciliados (Beaver y Crisman, 1982, 1990), se localizó en todos los lagos a excepción del Manantial.

Finalmente, los Scuticociliados representaron menos del 10% de la abundancia total de ciliados, se localizaron en todos los lagos menos en el Manantial considerado como el menos productivo, Beaver y Crisman (1982) señalan este grupo como predominante en lagos eutróficos, pero en este caso no fue así.

### **Análisis de Similitud**

La mayoría de los ciliados cuentan con una amplia distribución en el mundo (Finlay *et al.*, 1999). Aun así, la composición de ciliados en un cuerpo de agua específico podría ser muy diferente de la de otros debido a diferencias en la composición hidroquímica, incluso si esos cuerpos de agua están en la misma latitud o región (Laybourn-Parry, 1992). Tomando en cuenta lo anterior se realizó un índice de similitud de Bray Curtis (1957) entre los cinco cuerpos de agua, y así agruparlos en relación con su composición y abundancia de especies. Este análisis mostró un parecido entre el lago Centro y Sur, seguido del Norte; el Vaso Reg. y al Manantial (Fig. 6). Este agrupamiento evidentemente tiene relación con el estado trófico,

agrupando como más parecidos a los dos lagos más productivos, seguidos del de producción intermedia, y finalmente los dos cuerpos de agua con menor producción.

### **Variación temporal**

La variación temporal de la densidad de ciliados totales de los lagos de la Cantera Oriente (Fig. 7) mostró que los lagos Centro y Sur las densidades en cada época del año fueron diferentes y más elevadas. Para el Norte y Manantial la abundancia en la época cálida-lluviosa fue algo mayor, pero sin alcanzar diferencias significativas (Fig. 8). En cambio, el Vaso Regulador tuvo mayores densidades durante la época seca-fría, pero tampoco fueron significativamente diferentes. Para el Norte y el Manantial no se observa una diferencia evidente entre las épocas, e inclusive en el primero hay una abundancia algo mayor en la época seca fría. Un adicional que sirvió para comparar las densidades totales de ciliados en las dos épocas climáticas, se aplicaron las pruebas independientes no paramétricas U de Mann-Whitney (Sokal y Rohlf, 1981), este análisis corroboró que en los lagos Centro y Sur hubo mayores abundancias y diferencias significativas durante la época cálida-lluviosa, no así en el resto de los lagos (Fig. 8).

La falta de temporalidad en los lagos Norte y Vaso Regulador, así como en el Manantial, puede relacionarse también a que se observó durante este trabajo, el continuo aporte de agua bastante fresca (alrededor de 16 °C) que existe en estos cuerpos de agua. La poza del Manantial recibe siempre el agua que está brotando de la roca, mientras que a los lagos Norte y Vaso Regulador llega también de forma continua el agua que brota de los manantiales y que es conducida a través de canales hasta ellos. Es decir, Norte y Vaso regulador tienen un aporte permanente de agua más fría de los Manantiales, y eso hace que su temperatura, en lo general, sea menor a lo largo de todo el año. Por eso en ellos no se observa claramente un efecto estacional.

Por el contrario, los lagos Centro y Sur no tienen un aporte directo y permanente de agua, además de ser los de mayor tamaño. Estos dos factores causan que la recirculación del agua en ellos sea mucho menor y estén expuestos en mayor medida a la radiación solar a lo largo del día. Por esta razón, las temperaturas puntuales medidas en ellos fueron más elevadas, pero son también un reflejo de



que la época del año, a través de la radiación solar que reciben, es un factor de mayor importancia en el control de la temperatura del agua y tiene un mayor efecto temporal.

Haciendo una comparación con trabajos realizados sobre sistemas lacustres, González (1995) en su estudio sobre la temporalidad de ciliados en los lagos de Chapultepec con características eutróficas, reportó que la mayor abundancia de esta comunidad corresponde a la época cálida-lluviosa y la más baja en otoño - época fría-. También Pace (1982) estudió el lago Oglethorpe (Georgia, E.U.A.) considerado como meso-eutrófico y el número máximo de ciliados se presentó en el fin del verano y principios del otoño, Sommaruga (1995) estudió un lago hipertrófico en Uruguay, en el cual también destaca que su abundancia máxima de ciliados fue localizada en la época del verano declinando hacia la estación de invierno, Laybourn-Parry (1992) afirma que en lagos eutróficos subtropicales los valores más altos de ciliados se presentan en la época a fines del verano y principios del otoño, lo cual concuerda con los datos obtenidos en este estudio pues la variación estacional de los lagos de la Cantera presentó semejanzas respecto al comportamiento de estos lagos subtropicales.

Con relación a las abundancias obtenidas en los lagos de la Cantera Oriente existe una notable diferencia entre los cinco cuerpos de agua, Beaver y Crisman (1982) relacionaron la estructura de la comunidad de protozoos ciliados con la productividad de lagos subtropicales de Florida de acuerdo con su estado trófico: oligotrófico  $10.4 \pm 5.4$ ; mesotrófico  $27.5 \pm 7.7$ , eutrófico  $55 \pm 7.6$  y  $66 \pm 199$  hipertróficos. En los lagos de la Cantera Oriente los valores promedio anuales fueron de: Norte  $66.45 \pm 31.56$ , Centro  $141.8 \pm 87.7$ , Sur  $142.9 \pm 121.7$ , Vaso  $36.9 \pm 16.7$ , Manantial  $8.08 \pm 9.1$ .

De acuerdo con esto el Manantial se clasificaría como oligotrófico, el Vaso Regulador mesotrófico, y el Norte, Centro y Sur serían eutróficos, con los dos últimos cercanos a la hipertrofia (Fig. 7)

Al comparar los lagos de la Cantera con otros cuerpos de agua encontramos algunas similitudes, Buholce *et al.* (2015) en su estudio de cuerpos de agua urbanos encontraron una variación de 5.8 a 23 org. ml<sup>-1</sup>, Runlin y Gertrud (2010) en el lago Ringsjön en Suecia reportaron a lo largo de su estudio una variación de 1.2 y 1.6 a

82.0 y 41.0 org. ml<sup>-1</sup>, ambos lagos son eutróficos de clima templado. Tomando en cuenta esto se puede decir que los lagos de la REPSA cuentan con valores semejantes especialmente en la época seca-fría, pero difieren al inicio de la temporada de lluvias ya que los lagos más productivos presentaron valores de abundancias considerablemente mayores, quizá debido a que los datos anteriores son para zonas templadas y la REPSA está en zona tropical.

Si comparamos los cuerpos de agua de la Cantera con los sistemas lacustres eutróficos de clima subtropical, González (1995) encontró que los lagos de Chapultepec contaron con valores de abundancia de ciliados 10.4 a 162.3 org ml<sup>-1</sup> y sus promedios anuales de fueron de 43.4 y 49.6 org. ml<sup>-1</sup>, Esquivel *et al.* (2016) en el lago Catemaco obtiene una variación de 14 a 113 org. ml<sup>-1</sup> y un promedio anual de 57 org. ml<sup>-1</sup>, estos resultados se asemejan más al comportamiento del Vaso Reg. y el lago Norte, también en algunas ocasiones pueden ser comparables con los resultados de lagos Centro y Sur; Beaver *et al.* (1988) estudiaron el caso de los estanques de Holden (Florida, E. U. A.) que es un lago eutrófico subtropical se encuentra un parecido en las abundancias obtenidas pues su valor máximo registrado fue de 360 org. ml<sup>-1</sup>, con variaciones de 100 y 200 org. ml<sup>-1</sup>, en este estudio se encontraron valores similares en los lagos Centro y Sur con picos de abundancia de 335 y 390 org. ml<sup>-1</sup> y un promedio anual de 141.8 y 142.9 org.ml<sup>-1</sup>, ya que los lagos de la Cantera son considerados como subtropicales y eutróficos.

La abundancia de los ciliados de la Cantera se parece a la de los lagos templados durante la época seca-fría, pero sus abundancias son mayores en los lagos más productivos durante la época cálida. Los números reportados son comparables con estudios de lagos eutróficos de clima subtropical de otros países y de la Ciudad de México. Laybourn- Parry (1992) señala un posible efecto de la latitud y del clima sobre la abundancia de ciliados. González (1995) obtiene un comportamiento similar en los lagos de Chapultepec, con lo que se puede decir que existe una semejanza del número de ciliados entre cuerpos de agua ubicados en latitudes similares y climas más benignos estas son mayores en relación con otros ubicados en latitudes diferentes. La temperatura más elevada y otros factores permiten que en condiciones tróficas iguales, los ciliados sean más abundantes en cuerpos de agua de climas más cálidos (González, 1995). Con esto podemos decir que los números de ciliados reportados en lagos de la Cantera Oriente corresponden a sistemas

subtropicales que presentan un estado generalmente eutrófico.

### **VARIABLES AMBIENTALES**

La temperatura de los lagos varió entre 16.2 a 18.8 °C (Tabla 2), de acuerdo con Bermúdez (2010) estos se consideran como aguas subtropicales, pero de acuerdo a su ubicación latitudinal podría pensarse que son de zona tropical (Fig. 9). Tomando en cuenta sus características fisicoquímicas son más parecidas a las de un lago de zona subtropical y en menor medida de uno tropical (Wetzel, 1981; Lewis, 1996).

La conductividad está determinada por las sales presentes en el agua, así como los nutrientes; por lo que, el crecimiento de las poblaciones de algas y la producción de un cuerpo de agua se relacionan con la conductividad (García-Calderón y De La Lanza, 1995). En general los procesos de concentración y dilución de la conductividad ( $K_{25}$ ) se relacionan con la temporalidad como el caso del lago Tezozómoc (Cabral, 2006); en los cinco cuerpos de agua la Cantera, la conductividad ( $K_{25}$ ) alcanzó su valor máximo en la época de lluvias, esto no marca una diferencia entre las dos épocas del año ya que la conductividad no fluctuó mucho y su promedio anual estuvo entre 392.4  $\mu\text{Scm}^{-1}$  y 416.7  $\mu\text{Scm}^{-1}$  (Fig. 10). Los valores obtenidos para los lagos de la REPSA indican un contenido de sales moderado, y están dentro de un lo reportado en agua dulce que varía entre 50 y 1500  $\mu\text{Scm}^{-1}$  (Boyd, 1979), y en particular en nuestro país la mayoría de los cuerpos de agua oscilan entre 20 y 10000  $\mu\text{Scm}^{-1}$  (Arredondo-Figueroa y Ponce-Palafox, 1986).

Los valores de oxígeno disuelto presentaron un intervalo de 7.6 a 15.2  $\text{mgL}^{-1}$  (Fig. 11) no existe una relación con la temporalidad, pero si con la temperatura que presentaron los lagos, pues los más cálidos y eutróficos, Centro y Sur, presentaron los niveles más elevados de OD. Se sabe que temperaturas más altas estimulan la velocidad de la fotosíntesis y favorecen la generación biogénica de este gas; la producción de oxígeno generado por algas es tan alta que supera la solubilidad del gas, pues la solubilidad disminuye a mayor temperatura, saturándose con mayor rapidez (González, 1995). Otro factor que afecta la concentración de OD en lagos someros es la distribución de los organismos y la mineralización de la materia orgánica (Lampert y Sommer, 1997).

Los niveles de oxígeno reportados, son similares con los citados por González (2015) en el mismo sitio con intervalos de 4.2 a 18.7 mgL<sup>-1</sup>, también son comparables con otros cuerpos de agua de la Ciudad de México como el caso del lago Huetzalin en Xochimilco (Enríquez-García *et al.*, 2009) que registraron un intervalo de 0.33 a 13.6 mgL<sup>-1</sup>, en el lago Tezozómoc donde Cabral (2006) señaló valores de 0-19.8 mg L<sup>-1</sup>, y según Alcocer *et al.*, (1994); y Scheffer (1998), estas variaciones son típicas de los lagos eutróficos someros.

Los valores promedio de pH que se registraron en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente variaron entre 7.2 a 9.2 unidades (Fig. 12), esto los caracteriza como lagos de pH generalmente básico, sin embargo el Manantial, el Vaso Reg. y el Norte presentaron condiciones de ligera acidez en algunas ocasiones, a diferencia los lagos Centro y Sur que siempre tuvieron valores arriba de 7 unidades; esto se produce por la elevada actividad fotosintética, que es común en lagos muy productivos, en los cuales se consumen elevadas cantidades de CO<sub>2</sub> y disminuye su concentración en el agua, incrementando así el pH, este fenómeno es frecuente en los lagos urbanos de la Ciudad de México (Alcocer, 1988). También se debe considerar la hora en que se tomaron las muestras, porque puede haber variaciones importantes a lo largo del día.

De acuerdo con la caracterización ambiental, podemos decir que los lagos de la Cantera Oriente son similares a otros sistemas lacustres de México como los lagos de Chapultepec (González, 1995), Huetzalin en Xochimilco (Enríquez-García *et al.*, 2009) y lago Tezozómoc (Guzmán, 2012) pues en estos lagos la variación de temperatura fue de 14 a 20 °C, el pH en caso de los lagos de Chapultepec fue registrado siempre arriba de 7 y en el Tezozómoc fue de 9 a 10 unidades (Cabral, 2006), aparte de que estos lagos cuentan con condiciones de eutrofización parecidas a las de la Cantera y en algunos casos donde se estudiaron protozoos ciliados se encontraron registros en común. La diferencia más importante de los lagos de la Cantera es que no son llenados con aguas residuales tratadas, como ocurre en Chapultepec, Xochimilco o el Tezozómoc, sino con agua de manantiales. Los nutrientes que lleva esta agua promueven, cuando las condiciones son favorables, el crecimiento del fitoplancton y la eutrofización.

## **VARIABLES ASOCIADAS AL ESTADO TRÓFICO**

### **Clorofila a**

Los valores de clorofila *a* fluctuaron a lo largo del ciclo anual de 2 a 468  $\mu\text{g L}^{-1}$  (Fig. 13), se nota claramente la diferencia en la concentración de clorofila *a*, pues varió dependiendo del sitio de muestreo, encontrando las concentraciones más bajas en el Manantial y las más altas en el lago Sur. Esta diferencia se debe a la gran variación en el contenido de organismos fotosintéticos y está claramente relacionada con la producción primaria y el estado trófico. (Lampert y Sommer, 1997; Wetzel, 2001; Kalff, 2003).

Los valores de clorofila *a* son considerados como buenos indicadores del estado trófico, La OCDE (1982) considera como hipertróficos a los sistemas que presentan concentraciones de clorofila *a* superiores a los 100  $\mu\text{g L}^{-1}$ , valores arriba de este valor se encontraron en los lagos Centro y Sur. Con relación a otros cuerpos de agua, el lago Tezozómoc (Cabral, 2006) registró entre 81 y 954  $\mu\text{g L}^{-1}$ , Guzmán (2012) reportó en el mismo lago un intervalo de 6.8 a 325.0  $\mu\text{g L}^{-1}$ , y en la laguna de Zumpango se han registrado hasta 100  $\mu\text{g L}^{-1}$  (Domínguez, 2006).

### **Transparencia del Disco de Secchi**

En cuanto a este parámetro se puede conocer el grado de eutrofización de un lago, los cuerpos de agua de la Cantera Oriente registraron valores inferiores a los 1.5 m por lo que son considerados como lagos someros (Jiménez, 2007), encontrándose los valores más bajos en el lago Sur con un promedio anual de 0.32 m, esto se debe a la elevada cantidad de fitoplancton, esto concuerda con los datos obtenidos de clorofila *a*. El Vaso Reg. fue el de mayor transparencia con intervalos de 1 a 1.4 m esto puede deberse a que es el cuerpo de agua con mayor profundidad y no presentaba mucha cantidad de fitoplancton. Con relación al Manantial la penetración siempre alcanzó al fondo, aunque los valores fueron menores a los del Vaso, pues este presenta una profundidad menor (Fig. 14).

Estos resultados son comparables con estudios realizados en cuerpos de agua de zonas urbanas en México (Ortiz, 2005) registro en Xochimilco en el lago Texhuilo una profundidad mínima de 1.1 m y una profundidad máxima en Cuemanco de 1.7

m, González (1995) estudio los lagos de Chapultepec y registros valores de entre 0.09 y 0.52 m.

### P-Total

El fósforo es usado como un indicador de calidad de agua y estado trófico en un lago, porque se correlaciona con variables como la clorofila, nitrógeno y biomasa algal (Carlson y Simpson, 1996). El fósforo se presenta en la mayoría de los lagos de agua dulce como factor limitante (Antimán, 2005) y su exceso dispara la productividad y en consecuencia la eutrofización (Moreta, 2008); lo que se traduce en un efecto directo inicial sobre los productores primarios y posteriormente afectando la trama trófica planctónica (Ávila, 2013).

Los lagos con niveles más elevados de P-total se reportaron en los lagos Norte, Centro y en ocasiones en el Sur, y con menor variación de este nutriente tenemos al Vaso Reg. y al Manantial; aunque en general los intervalos de fósforo total de los lagos de la Cantera Oriente oscilaron de  $0.2 \text{ mgL}^{-1}$  a  $0.39 \text{ mgL}^{-1}$  (Fig. 15), lo cual se encuentra dentro de los valores reportados para lagos de México, según Alcocer y Bernal-Brooks (2010) de  $0.008$  a  $2.0 \text{ mgL}^{-1}$ . Diversos cuerpos de agua de la ciudad de México cuentan con valores similares como señala Cortes (2017) el lago Tezozómoc con variaciones de  $0.67$  y  $2.5 \text{ mgL}^{-1}$ ; en la laguna de Zumpango, Domínguez (2006) registro cifras de  $0.51$  a  $2.40 \text{ mg L}^{-1}$ . Otro estudio realizado por Vázquez (2016) en los lagos de la RESPA reporta un promedio de fósforo total de  $0.30 \text{ mgL}^{-1}$ .

### Estado trófico

Derivado de los análisis de las variables anteriores, se calculó el Estado trófico de los lagos, éstos se basan en la claridad del agua y la concentración de la biomasa fitoplanctonica, pues existe un vínculo entre estas cualidades y la calidad del agua (Dodds, 2002), es por eso que para clasificar el estado trófico de los cuerpos de agua de la Cantera Oriente se utilizó el índice de Carlson (1977) el cual relaciona estas variables y señala que, los valores de  $>30$  corresponden a condiciones oligotróficas, de  $30$  a  $60$  son mesotrófico, de  $60$  a  $90$  indican un estado eutrófico y

arriba de 90 son hipertróficos. Respecto a esto, los lagos variaron de mesotrófico a hipertróficos y los lagos de la Cantera se clasificarían de la siguiente forma el Manantial, Vaso Reg. y el lago Norte presentaría condiciones mesotróficas a eutróficas, el lago Centro sería eutrófico y el lago Sur presentaría condiciones de eutrofia y en algunas ocasiones hipertróficas (Fig. 16).

Se sabe que este fenómeno es causado por el incremento de nutrientes, los cuales en este caso provienen en gran parte del manto freático que aflora de los manantiales que abastecen a los lagos (Santiago, 2016). Entre los indicadores infalibles de la eutrofización de un lago destaca la poca transparencia y el aumento de algas (Moore y Thorton, 1988) estos factores se presentaron en el lago Sur, ya que se puede asegurar que en ocasiones alcanzó niveles de hipertrofia.

### **Análisis de CCA**

La mayoría de las especies se relacionaron con la conductividad, esta variable no fluctuó mucho a lo largo del estudio y se puede decir que todas estas especies están dentro de los intervalos de tolerancia, entre las cuales tenemos al grupo oligotrichico (*H. grandinella*, *Limnostrombidium*, *P. cirrifera*) especies dominantes en todos los lagos, *C. glaucoma* también dominante en cuatro de los cinco cuerpos de agua, también se relacionó Heterotrichia (*Metopus*), Litostomatea (*Monodinium*), Peritrichia (*V. microstoma*) y Hypotrichia (*Euplotes*) (Fig. 17).

*C. hirtus* se relacionó más con clorofila *a* y la temperatura las cuales están ligadas a la producción de fitoplancton; esta relación se puede deber a que las algas son parte de la dieta de este ciliado, también se relacionó con el pH cabe señalar que *C. hirus* soporta valores elevados de pH, asociados a la intensa producción primaria.

El P-total se relacionó con especies bacterivoras y alguivoras como *P. mayeri* (Peritrichia), *Askenasia* (Gymnostomatea) y *V. campanula* (Peritrichia), se sabe que el fósforo es un nutrimento muy importante pues este influye sobre los productores primarios, la concentración de este nutriente determina la abundancia o distribución de diversas especies pues su escasez limita la fotosíntesis (Margalef, 1983) convirtiéndolo en un indicador del estado trófico en un cuerpo de agua. También cabe señalar que en diversos estudios se ha señalado que las bacterias y el

fitoplancton compiten por los nutrientes minerales y que las bacterias pueden llegar a estar limitadas por falta de fósforo (Chrzanowki *et al.*, 1995). Autores como Zingel y Nöges (2010) han señalado una correlación positiva entre ciliados, fito y bacterioplancton lo que implica un control de abajo- arriba; con esto podemos decir que el P- total influye directamente sobre los organismos que participan en la dieta de estos ciliados afectando de manera indirecta a estos protozoos convirtiéndolo en un factor determinante el cual puede influir en su distribución. *Aspidisca cicada* no se relacionó con ninguna variable por lo que se confirma que esta especie cuenta con un alto grado de tolerancia a las condiciones ambientales (eurioica, Foissner *et al.*, 1999).

Los resultados obtenidos de este análisis reflejan que la presencia de los ciliados de la Cantera Oriente se relaciona con algunas variables indicadoras del estado trófico como clorofila *a* y P-total pues su presencia se vincula a estas condiciones y podrían considerarse como indicadoras del estado trófico de un lago, también se relacionaron con la temperatura, las demás especies se ven poco afectada por las variables ambientales.

### **Experimento de consumo**

En la Cantera Oriente coexisten una gran variedad de organismos, que inciden unos con otros por el espacio, la comida y la pareja. Tomando una pequeña fracción de las interrelaciones, se hicieron estos experimentos de consumo, en donde se demostró que sí existe una depredación de cladóceros y copépodos sobre los ciliados y que estos reducen su abundancia (Fig.18). Este experimento sugiere que las comunidades de zooplancton pueden ser determinantes en la dinámica y composición de los ciliados, y que los protozoos parecen ser de gran importancia en las redes alimentarias planctónicas (Stoker *et al.*, 1990).

Este trabajo se destaca por haber utilizado al protozoo eurioico *C. hirtus*, *Coleps* tiene como característica morfológica una cubierta calcárea protectora de cuatro surcos separados longitudinalmente en el cuerpo cubriendo a toda la célula como una armadura; es un ciliado pequeño (40-60  $\mu\text{m}$ ) y omnívoro. En este estudio se consideró como una especie importante pues se localizó en todos los lagos, fue dominante en dos lagos y constante en uno.



Se destaca una mayor eficiencia en el pastoreo por parte de los cladóceros que de los copépodos ciclopoideos, la tasa de consumo de los cladóceros fue de 300 cél. Ind<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, para el caso de los copépodos la tasa más alta se registró en las hembras con 198 cél. Ind<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, y los machos 146 cél. Ind<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, la tasa de consumo es comparable con la obtenida en los experimentos realizados por Wickham (1995) sobre depredación de copépodos ciclopoideos sobre 5 especies de ciliados señalando una tasa de consumo de >200 cél Ind<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, también indico grandes diferencias en la tasa de ingestión que no son predecibles por el tamaño del depredador o presa, como fue el caso de *C. hirtus* que en su estudio fue casi inmune a la depredación del ciclopoideo. Esto indica que aun que los ciclopoideos son capaces de tener un impacto considerable hacia los ciliados, exceptuando algunas especies que parecen tener defensas de comportamiento, morfológicas o químicas.

También Adrián *et al.* (1999) en su estudio señalan una mayor eficacia por parte de los cladóceros al ingerir ciliados, seguido de los copépodos, mostrando un consumo mayor hacia los ciliados de categoría de tamaño de 20-55 µm, también señalaron que los ciliados pueden contribuir a la transferencia de energía a niveles tróficos más altos.

En el presente trabajo se observó adicionalmente, que los cladóceros eran los que consumían mayor cantidad de ciliados, los diferentes comportamientos de alimentación son los que marcan esta diferencia, por ejemplo, *Daphnia* se alimenta en gran medida, de manera automática y no hay selección *a priori*, solo hasta que su sistema de alimentación se obstruye; en contraste, los copépodos si son capaces de seleccionar e ingerir ciliados en estas condiciones e inclusive a nivel de grupos de copépodos.

Burns y Schallenberg (2001) menciona, que existen numerosos factores que influyen en el potencial de los cladóceros y copépodos sobre las redes alimenticias plantónicas como la diversidad, biomasa, la producción de microorganismos los comportamientos de alimentación y biomasa del zooplancton de los crustáceos.

De acuerdo con los resultados de este experimento entre copépodos machos y hembras, las hembras consumen mayor cantidad de ciliados, esto concuerda con lo señalado por Gilbert y Williamson (1983) quienes indican que las hembras ingieren

una mayor cantidad de alimento (por  $\mu\text{g}$  de peso seco y por individuo) que los machos.

Por otro lado, Agasild *et al.* (2012) mostró en sus experimentos, que los copépodos ciclopoideos y los cladóceros, si consumen ciliados de tamaño pequeño (15-40  $\mu\text{m}$ ) destacando un pastoreo más eficiente por parte de los cladóceros. Aunado a esto, en diversos trabajos se ha mencionado la preferencia de presas más grandes por parte de los copépodos, debido a que estos tienen una mejor detección sobre presas más grandes, móviles que en las pequeñas (Nishibe *et al.*, 2010; Wickham 1995; Zöllner *et al.*, 2003). De igual forma es importante considerar lo sugerido por Burns y Gilbert, (1993) y Jack y Gilbert, (1993), quienes mencionan que los efectos de los copépodos y de *Daphnia* en los ciliados están influenciados por la especie y el tamaño del ciliado. En otros estudios han señalado que *Daphnia* deprime fuertemente la abundancia de los ciliados (Wickham y Gilbert, 1991; Wiackowski *et al.* 1994).

En un estudio realizado por Auer *et al.* (2004) se destaca específicamente que la abundancia del ciliado *C. hirtus* disminuye en presencia de grandes cantidades de *Daphnia* llegando a reducir la población de este ciliados hasta un 10%; también señala que el potencial de este cladóceros para eliminar a *Coleps* en particular es mayor que la de los copépodos. Esto concuerda con lo obtenido en nuestro experimento de ingestión, pues los cladóceros fueron más efectivos a la hora de depredar al ciliado.

Por su parte Wiackowski *et al.* (1994) sugiere que las especies del zooplancton difieren en cuanto al consumo de ciliados y que los taxones de estos protozoos son susceptibles de diferente manera en cuanto al tipo de metazoo. Pone por ejemplo el tipo de escape que pueden llegar a utilizar los diversos taxones de ciliados, en este caso el tamaño y rapidez de movimiento puede ser una determinante en cuanto a la preferencia del grupo del zooplancton. Con lo que se puede sugerir que para este ciliado (*C. hirtus*) el cladóceros *Daphnia* resulta ser un depredador más efectivo, a pesar del movimiento rápido de tirabuzón que presenta.

## CONCLUSIONES

- La dinámica de los ciliados en la Cantera Oriente responde a los cambios en el estado trófico de los lagos, favoreciendo una mayor riqueza de especies en los lagos más productivos: Centro y Sur.
- La temporalidad provocó diferencias importantes, época cálida-lluviosa con mayores abundancias de ciliados y diferencias en la composición taxonómica exclusivas para cada época. Solo los lagos Centro y Sur presentaron diferencias significativas al comparar con la época seca-fría y los otros lagos.
- Del total de 32 especies de protozoos ciliados, las especies más comunes en los 5 cuerpos de agua fueron *Coleps hirtus*, *Aspidisca cicada*, *Halteria grandinella*, *Limnostrombidium* y *Pelagohalteria cirrifera*,
- Esta relación entre la riqueza de especies y abundancia no señala una alta diversidad, pues las especies presentes suelen estar dominadas por dos grupos Oligotricos y Protostomatidos las cuales cuentan con una amplia distribución en el mundo.
- La variación de las condiciones ambientales fue comparable con la observada en otros lagos urbanos de la Ciudad de México, como los lagos de Chapultepec, los canales de Xochimilco y el lago del Parque Tezozomoc.
- El índice de Jaccard muestra que los lagos Centro y Sur son los más parecidos en cuanto a la presencia de especies, seguido del Norte y los menos parecidos fueron el Vaso y el Manantial, pues estos presentaron menor riqueza de especies.
- En general la diversidad aumentó conforme incrementaba el estado trófico en los cuerpos de agua.
- El índice de diversidad señala niveles bajos, pues la composición de especies estaba dominada por *Halteria grandinella*, *Limnostrombidium sp.*, lo que se corrobora con los diagramas de Olmstead-Tukey.
- Los lagos de la Cantera Oriente variaron de oligotróficos a hipertrófico según su abundancia de ciliados, estos datos son similares a los obtenidos con el índice del estado trófico de Carlson.
- El Análisis de Correspondencias Canónicas, relacionó a la mayoría de los ciliados con la conductividad, en menor medida con el P-total y a la especie

más abundante (*C. hirtus*) con variables asociadas al estado trófico, temperatura y clorofila *a*.

- Con los experimentos de consumo, se estimó que existe una depredación importante por parte del zooplancton (cladóceros y copépodos) hacia los ciliados (*C. hirtus* como presa). Con más eficiencia por *Daphnia* del complejo *pulex*; los resultados muestran que los ciliados son un importante recurso alimenticio para el zooplancton

## BIBLIOGRAFÍA

A.P.H.A. 1995. Standard methods for examination of water and wastewater. (19th ed.). Washington, D.C.

Adl, S. M., Simpson, A. G., Farmer, M. A., Andersen, R. A., Anderson, O. R., Barta, J.R., Bowser S.S., Brugerolle, G., Fensome R.A., Fredericq S., James T.Y., Karpov, S., Kugrens, P., Krug, J., Lane, C.E., Lewis L.A., Lodge, J., Lynn D.H., Mann, D.G., Mccourt, R.M., Mendoza, L., Moestrup, O., Mozley-Standridge, S.E., Nerad, T.A., Shearer, C.A., Smirnov, A.V., Spiegel, F.W., y James, T. Y. 2005. The new higher-level classification of eukaryotes with emphasis on the taxonomy of protists. *Journal of Eukaryotic Microbiology*. 52(5): 399-451.

Adrian, R., y Schneider-Olt, B. 1999. Top-down effects of crustacean zooplankton on pelagic microorganisms in a mesotrophic lake. *Journal of Plankton Research*, 21(11), 2175-2190.

Agasild, H., Zingel, P., y Noges, T. 2012. Live labeling technique reveals contrasting role of crustacean predation on microbial loop in two large shallow lakes. *Hydrobiologia*. 684(1): 177-187.

Aladro, L. Ma. A., Reyes S. M., Olvera, B.F., y Robles, B. Ma. N. 2007. Ciliados y otros protozoos. En Lot, A. (coord.) *Guía ilustrada de la Cantera Oriente; caracterización ambiental e inventario biológico*. Coordinación de la Investigación Científica, Sria. ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de la Ciudad Universitaria, Universidad Nacional Autónoma de México. 97-122.

Aladro-Lubel, Ma. A., Reyes, M, y Olvera, B.F. 2009. Diversidad de los protozoos ciliados. En Lot y Cano-Santana (eds.). *Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Coordinación de la Investigación Científica, Secretaría ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Universidad Nacional Autónoma de México, México. pp. 61-68.

- Alcocer, J. 1988. Caracterización hidrobiológica de los Lagos de Chapultepec. México. Tesis de Maestría (Oceanografía Biológica y Pesquera). UACPYP, ICMYL, UNAM. 89.
- Alcocer, J., Lugo A. y Escobar, E. 1994. Eutrofización lacustre. Jóvenes lagos viejos. *Información Científica y Tecnológica*. 38-41.
- Alcocer, J. y Bernal-Brooks, F. W. 2010. Limnology in Mexico. *Hidrobiología*. 644:15-68.
- Alvarado, R.F. 2012. Efecto de *Poecilia reticulata* y el sedimento sobre los protozoos ciliados y las bacterias en mesocosmos. Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. 1-16.
- Antimán, M. 2005. Grado de antropización, evaluación y modelamiento matemático del nivel trófico de lago Budi como base para determinar su Comportamiento Ambiental. Tesis Profesional, Universidad Católica de Temuco, Temuco. Chile.
- Antipa, G.A. 1967. Use of commensal protozoa as biological indicators of water quality and pollution. *Transactions of the American Microscopical Society*. 96:482-489.
- Arar, J.E. y Collins B.G.(USEPA).1997. Method 445.0. *In vitro* Determination of Chlorophyll *a* and Pheophytin *a* in Marine and Freshwater Algae by Fluorescence. National exposure research laboratory office of research and development U.S. Revision 1.2.
- Arredondo-Figueroa, J.L. y Ponce-Palafox J.T.1986. Aporte al conocimiento limnológico de un embalse temporal tropical por medio de la aplicación de modelos multivariados. *Anales del Instituto Ciencias del Mar y Limnología*. 13(2): 47-56.
- Auer, B., Czioska, E., y Arndt, H. 2004. The pelagic community of a gravel pit lake: Significance of *Coleps hirtus viridis* (Prostomatida) and its role as a scavenger. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*. 34(3): 187-198
- Ávila, R.E. 2013. Estudio el efecto de la relación nitrógeno/fosforo sobre los ciliados y bacterias en un lago hipertrófico. Tesis Maestría en Ciencias del Mar y Limnología. Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología (PCMyL). Universidad Nacional Autónoma de México. 49-56.
- Azam, F., Fenchel, T., Field, J.G., Gray, J.S., Meyer-Reil, R.A., y Thingstad, F. 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Marine ecology progress series*. 10: 257-263.
- Bagatini, I.L., Spínola, A.L.G., Peres, B.M., Mansano, A.S., Rodrigues, M.A.A., Batalha, M.A., Lucca, J.V., Godinho, M.J.L., Tundisi T.M., y Selegim, M.H.R. 2013. Protozooplankton and its relationship with environmental

conditions in 13 water bodies of the Mogi-Guaçu basin - SP, Brazil. *Biota Neotropica*. 13: 152-163.

Balseiro, E. G., Modenutti, B. E., y Queimaliños, C. P. 2001. Feeding of *Boeckella gracilipes* (Copepoda, Calanoida) on ciliates and phytoflagellates in an ultraoligotrophic Andean lake. *Journal of Plankton Research*, 23(8), 849-857.

Beaver, J.R., y Crisman, T.L. 1982. The trophic response of ciliated protozoans in freshwater lakes. *Limnology and Oceanography*. 27: 246-253.

Beaver, J. R., y Crisman, T. L. 1989. The role of ciliated protozoa in pelagic freshwater ecosystems. *Microbial Ecology*. 17(2): 111-136.

Beaver, J.R., y Crisman, T.L. 1990. Seasonality of planktonic ciliated protozoa in 20 subtropical Florida lakes of varying trophic state. *Hydrobiologia*. 190:127-135.

Beaver, J.R., Crisman, T.L., y Bienert, R.W.Jr. 1988. Distribution of planktonic ciliates in highly coloured subtropical lake: Comparison with clear water ciliate communities and the contribution of mixotrophic taxa to total autotrophic biomass. *Freshwater Biology*. 20: 51-60.

Bermúdez, J.R. 2010. Diversidad de la orden cladóceras (Crustacea: Branchiopoda: Phyllopoða) de las pozas de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Ciudad Universitaria, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 67.

Bick, H. 1972. *An illustrated guide to the species used as biological indicators in freshwater biology*. W.H.O. Ginebra. 198.

Birch, S. y Mc Caskie, J. 1999. Shallow urban lakes: a challenge for lake management. *Hydrobiologia*. 395(396): 365-377.

Boyd, C.E. 1979. Water quality in warmwater fish ponds. Auburn University. Alabama. 359.

Bray, J.R. y Curtis, J.T. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological monographs*. 27(4): 325-349.

Buholce, L., Līcīte, V., Boikova, E. y Botva, U. 2015. Structural composition of protozooplankton communities in relation to environmental factors in shallow lakes and reservoirs of Rīga, Latvia. In Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. *Section B. Natural, exact, and applied sciences*. 69/3:105-111.

Burbanck, W.D. y Spoon, D.M., 1967. The use of sessile ciliates collected in plastic Petri dishes for rapid assessment of water pollution. *The Journal of protozoology*. 14:739-744.

Burns, C.W., y Gilbert, J.J. 1993. Predation on ciliates by freshwater calanoid copepods: Rates of predation and relative vulnerabilities of prey. *Freshwater Biology*. 30: 377-393.

Burns, C. W. y Schallenberg, M. 2001. Calanoid copepods versus cladocerans: consumer effects on protozoa in lakes of different trophic status. *Limnology and Oceanography*. 46(6): 1558-1565.

Cabral, D.C. 2006. Variación espaciotemporal de los protozoos (Phylum Ciliophora) del lago urbano Tezozómoc. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 10-27.

Calazans, M., Ovruski, B., De Souza, H. y Konig, A. 1997. Utilização dos índices do estado trófico (IET) e de qualidade da água (IQA) na caracterização limnológica e sanitária das Lagoas de Bonfim, Extremóz e Jiqui (RN) - Análise preliminar. En <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/trofico.pdf> (febrero 25 de 2014).

Carlson, R. E. 1977. Trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*. 22: 361-369.

Carlson, R. y Simpson, J. 1996. *A coordinators guide to volunteer lake monitoring methods*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2011, de North American lake management society: [http://secchidipin.org/trophic\\_state.htm](http://secchidipin.org/trophic_state.htm).

Cortés, H.C. 2010. Guía para el estudio de los protistas de vida libre: Protozoos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 30-60.

Cortes, J.J.I. 2017. Variación espacio-temporal del fitoplancton posterior al desazolve y llenado del lago urbano Tezozómoc, D.F. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 21- 38.

Chávez, S.S.A. 2008. Impacto de depredación del copépodo ciclopoideo *Mesocyclops longisetus* sobre los ciliados mixotróficos *Stentor araucanus* y *Stentor amethystinus* provenientes de lagos Nord Patagónicos (39°-42°LS), bajo condiciones de laboratorio. Tesis Grado (Biólogo Marino). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Escuela de Biología Marina. 10-13.

Chrzanowski, T.H., Sterner, R.W. y Elser, J.J. 1995. Nutrient enrichment and nutrient regeneration stimulate bacterioplankton growth. *Microbial Ecology* 29: 221-230.

Czapik, A., 1982. The effect of wastewater on ciliate communities in the Biata Przemsza River. *Acta Hydrobiologia*. 24(1): 29-37.

Dodds K. 2002. *Freshwater Ecology: Concepts and environmental applications*. Academic press Kansas State University, Manhattan.

Domínguez, P.I. 2006. Estudio de la diversidad de zooplancton y fitoplancton de la Laguna de Zumpango (Estado de México) para uso en la biomanipulación. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México. 75.

Esquivel, A., Barani, A., Macek, M., Soto-Castor, R. R. y Bulit, C. 2016. The trophic role and impact of plankton ciliates in the microbial web structure of a tropical polymictic lake dominated by filamentous cyanobacteria. *Journal of Limnology*. 75(s1).

Enrriquez-García, C., Nandini, S., y Sarma, S.S.S. 2009. Seasonal dynamics of zooplankton in Lake Huetzalin, Xochimilco (Mexico City, Mexico). *Limnológica*. 39: 283-291.

Fenchel, T. 1987. *Ecology of Protozoa*. The Biology of Free-Living Phagotrophic Protists. Science Tech Publishers. Madison. 197.

Fernández, M.D.R.C., Herrera, A.E., Castor, R.S., y Bulit, C. 2014. "Abundancia y distribución de ciliados plántonicos en el lago Catemaco, en temporada de secas". Universidad Autónoma Metropolitana de Xochimilco. Recuperado el 02 de marzo del 2016 en: [http://148.206.107.15/biblioteca\\_digital/articulos/5-682-9869fel.pdf](http://148.206.107.15/biblioteca_digital/articulos/5-682-9869fel.pdf)

Figueredo, C.C. y Gianni, A. 2001. Seasonal variation in the diversity and species richness of phytoplankton in a tropical eutrophic reservoir. *Hydrobiologia*. 455: 165-174.

Finlay, B. J. 1978. Community production and respiration by ciliated Protozoa in the benthos of a small eutrophic loch. *Freshwater Biology*. 8: 327-341.

Finlay, B. J. y Guhl, B. E. 1992. *Plankton sampling-freshwater*. En: Lee, J. J. y Soldo, A. T. (eds.). Protocols in protozoology. Society of protozoology. Kansas, EUA. pp. B1. 1.-B1. 5.

Finlay, B.J., Rogerson, A. y Cowling, A.J. 1988. A beginner's guide to the collection, isolation, cultivation and identification of freshwater protozoa. *Natural Environment Research Council (CCAP)*, Windermere, 78.

Finlay B.J., Esteban G.F. Olmo J.L. y Tyler P.A. 1999: Global distribution of free-living microbial species. *Ecography*. 22: 138-144.

Foissner, W. 1994. Progress in taxonomy of planktonic freshwater ciliates. *Aquatic Microbial Ecology*. 8: 9-36.

Foissner, W y Berger, H. 1996. A user-friendly guide to the ciliates (Protozoa. Ciliophora) commonly used by hydrobiologists as indicators in rivers, lakes, and waste waters with notes on their ecology. *Freshwater Biology* 35: 375-486

Foissner, W. 1997. Faunistic and taxonomic studies on ciliates (Protozoa, Ciliophora) from clean rivers in Bavaria (Germany), with description of a new species and ecological notes. *Limnology*. 27(2): 179-238.

Foissner, W., Berger, H. y Schaumburg, J. 1999. Identification and Ecology of Limnetic Plankton Ciliates. Informationsberichte des Bayer. *Landesamtes für wasserwirtschaft*. Heft.3/99.



García-Calderon, L. y De la Lanza, G. 1995. Lagos y Presas de México. Centro de Ecología y Desarrollo, México. D.F. 320.

Gifford, D.J. 1991. The protozoan-metazoan trophic link in pelagic ecosystems. *Journal of Protistology*. 38: 81-86.

Gilbert, J.J. y Williamson, C.E. 1983. Sexual dimorphisms in zooplankton (Copepoda, Cladocera and Rotifera). *Annual Review of Ecology and Systematics*. 14:1-33.

Gismervik, I. 2006. Top-down impact by copepods on ciliate numbers and persistence depends on copepod and ciliate species composition. *Journal of Plankton. Res.* 28:499-507.

González, L.M.E. 1995. Estudio de la variación espacial y temporal de los ciliados planctónicos de los lagos de Chapultepec, D.F. Tesis de Licenciatura. ENEP Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. 44p.

González, G.S. 2015. Variación estacional de rotíferos monogonontos (rotifera) en la zona litoral de los cuerpos de agua de la Cantera Oriente (México D.F.) durante 2013-2014. Tesis de Maestría. Posgrado de ciencias del mar y limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. 71p

Guzmán, T.O. 2012. Efecto de los nutrientes sobre el crecimiento y composición de los rotíferos planctónicos del lago Tezozómoc, México, D.F. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores. Universidad Nacional Autónoma de México. 67p.

Hammer, O. Harper D.A.T. y Ryan P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education of data analysis. *Palaeontología electronica*. 4(1): 9.

Henebry, M.S. y Ridgeway, B.T., 1979. Epizoic ciliated protozoa of planktonic copepods and cladocerans and their possible use as indicators of organic pollution. *Trans. American. Microscopy. Soc.* 98(4): 495-508.

Hecky, R. E., Fee, E. J., Kling, H. y Rudd, J. W. M. 1978. *Studies on the planktonic ecology of Lake Tanganyika*. Winnipeg, Man.: Fisheries and Marine Service.

Jack, J.D. y Gilbert, J.J. 1993. Susceptibilities of different sized ciliates to direct suppression by small and large cladocerans. *Freshwater. Biology* . 29: 19-29.

Jahn, T.L., Bovee, E.C., y Jahn, F.F. 1979. How to know the protozoa. William Co. *Publisher, Iowa*. 279.

Jiménez, C.J. 2007. Diversidad y densidades de rotíferos Monogonontos en algunos canales del Lago de Xochimilco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 48p.

Kalff, J. 2003. *Limnology: Inland Water Ecosystems*. Prentice Hall, United States of America. 592.

Kudo, R.R. 1982. *Protozoología*. CECSA, México. 905p.

Lampert, W. y Sommer, U. 1997. *Limnoecology: The ecology of lakes and streams*. Oxford University Press. New York. 382p.

Laybourn-Parry, J. 1992. *Protozoan Plankton Ecology*. Chapman and Hall, London.

Lee J.J. Hutner, S.H. y Bovee E.C. 1985-2000. *An Illustrated Guide to the Protozoa*. Kansas. Allen Press. 622p.

Lewis, W.M. Jr. 1996. Tropical lakes: how latitude makes a difference. En: Schiemer, F y Boland, K.T. (eds.). *Perspectives in Tropical Limnology*. SPB Academic, Holanda. pp. 43-64.

López-Ochoterena, E. 1965. Ciliados mesosapróbicos de Chapultepec. (Sistemática, morfología y ecología). *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*. 26:115-247.

López-Ochoterena, E. y Roure-Cane, M.T. 1970. Lista taxonómica comentada de protozoarios de vida libre de México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*. 31:23-68.

Lot, H.A., 2007. La Cantera Oriente. A manera de Introducción. En: Lot, H. A. (Coordinador.). *Guía Ilustrada de la Cantera Oriente. Caracterización Ambiental e Inventario Biológico*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 7-11: 97-122.

Lot, H.A., y Cano S.Z. 2009. Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. México: Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel Coordinación de la Investigación Científica Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF.

Lugo, V.A., Ramos-Hernández, V., Morlán- Mejía, J., Peralta-Soriano, L., Oliva-Martínez, M.G., Sánchez- Rodríguez, M. del R., Escobar- Oliva, M.A. y Alcocer- Durand, J. 2014. Comparación de la calidad del agua en cinco cuerpos acuáticos de la Cantera Oriente, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Ciudad Universitaria, México, D. F. VI Congreso Nacional de Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 116.

Lugo-Vázquez, A., Sánchez-Rodríguez, M. R., Morlán-Mejía, J., Peralta-Soriano, L., Arellanes-Jiménez, E. A., Escobar-Oliva, M. A. y Oliva-Martínez, M. G. 2017. Ciliates and trophic state: A study in five adjacent urban ponds in Mexico City. *Journal of Environmental Bioogy*. 38:1161-1169.

Lynn, D.H. 1992. *Protargol staining*. In: Lee, J.J. y Soldo, A. T. (eds.). *Protocols in protozoology*. Society of protozoology. Kansas, EUA. C4.1.-C4.10.

- Lynn, D.H. y Small, E.B. 2000. Phylum Ciliophora Doflein, 1901. In Lee, J.J., Leedale. G.F. y Bradbury, P., *An Illustrated Guide to the Protozoa*, Second Edition vol. 1 Society of Protozoologists, Lawrence, Kansas, U.S.A.: 371 – 656.
- Magurran, A.E. 2003. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing. United Kingdom. 179-184.
- Margalef, L.R. 1983. *Limnología*. Ed. Omega. Barcelona. 1010.
- Mayén-Estrada, R., Reyes-Santos, M. y Aguilar-Aguilar, R. 2014. Biodiversidad de Ciliophora en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85: 34-43.
- Moore, L. y Thornton, K. 1988. Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual USEPA>EPA 440/5-88-002. (Disponible en línea: <http://www.pca.state.mn.us/water/lakeacro.html>) (Revisado el 22 de abril del 2004).
- Moreta, P. 2008. La eutrofización de los lagos y sus consecuencias. Tesis Profesional, Universidad Técnica del Norte, Guayaquil, Ecuador.
- Nishibe, Y., Kobari, T. y Ota, T. 2010. Feeding by the cyclopoid copepod *Oithona similis* on the microplankton assemblage in the Oyashio region during spring. *Plankton and Benthos Research*. 5(2): 74-78.
- Ortiz, R.J.B. 2005. Evaluación del estado trófico del lago de Xochimilco, Méx. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. 40p
- Özen, A., Sorf, M., Trochine, C., Liboriussen. L., Beklioglu, M., Søndergaard, Lauridsen, T.L., Johansson, L.S. y Jeppesen, E. 2013. Long-term effects on warming and nutrients on microbes and other plankton in mesocosms. *Freshwater Biology*. 58: 483- 493.
- Pace, M. L. y Orcutt, J. D. Jr. 1981. The relative importance of protozoans, rotifers, and crustaceans in a freshwater zooplankton community. *Limnology and Oceanography*. 26: 822-830.
- Pace, M.L. 1982. Planktonic ciliates: their distribution, abundance, and relationships, to microbial resources in a monomictic lake. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 39: 1106-1116.
- Pfister G, Auer B. y Arndt H. 2002. Pelagic ciliates (Protozoa, Ciliophora) of different brackish and freshwater lakes- a community analysis at the species level. *Limnologica*. 32:147-168.
- Quirós, R. 2007. Manejo y Recuperación de lagos urbanos. Documento de Trabajo del Área de Sistemas de Producción Acuática No. 6. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

Runlin, X. y Gertrud, C. 2010. Planktonic ciliates in western basin of Lake Ringsjön, Sweden: community structure, seasonal dynamics and long-term changes. *Protistology*. 6/3.

Ryding, S.O. y Rast, W. 1992. El control de la eutrofización en lagos y pantanos. UNESCO. *The partenon publishing group*. 375.

Salas, M.N.F., y Álvarez, S.C. (2013). A new *Acanthocyclops* Kiefer, 1927 (Cyclopoida: Cyclopinae) from an ecological reserve in Mexico City. *Journal of natural history*, 47(5-12), 499-515.

Sánchez, R.M.R., Lugo, V.A., Oliva, M.M.G., Verver y Vargas, G.J., Rodríguez, R.A. y Peralta, S.L. 2011. Ciliates in a hypertrophic lake: functional role and importance. *Journal of Environmental Biology*. 32: 497-50.

Santiago, L.A.M. 2016. Estudio comparativo del zooplancton (rotíferos y cladóceros) en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente, D.F. y su relación con el estado trófico. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 47-48.

Scheffer, M. 1998. Ecology of Shallow Lakes. Chapman y Hall. Great Britain. 357.

Schueler, T. y Simpson, J. 2003. Why urban Lakes are different. *Watershed Protect. Techniques*. 1(2): 747–750.

Shannon, C.E. y Weaver, W. 1949. *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press, Urbana, USA. 117.

SigmaPlot 12.0. 2012. Systat Software, San Jose, CA.

Sleigh, R., 1979. *Biología de los protozoos*. H. Blume. Madrid. 399.

Sokal, R.R. y Rohlf, F.J. 1981. *The principles and practice of statistics in biological research*. 2a ed W. H. Freeman, Biometry. San Francisco. 859.

Solís, B.F. 2012. Interacciones peces-plancton en un pequeño lago urbano somero: estudio experimental del efecto de *Poecilia reticulata* (Peces: Poeciliidae) sobre la densidad y composición del plancton. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. 50.

Sommaruga, M. 1995. Microbial and classical food webs: A visit to a hypertrophic lake. *FEMS Microbial Ecology*, 17: 257-260.

Stoecker, D.K. y McDowell, C.J. 1990. Predation on Protozoa: its importance to zooplankton. Biology Department, Woods Hole Oceanographic Institution. USA. *Journal of Plankton Research*, 12(5):891-908.

Straškrabová, V. y Šimek, K. 1993. Microbial loop in lakes and reservoirs related to trophic and metazooplankton development. *Internationale*

Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen, 25(2): 1183-1186.

Sun, J. y Liu D. 2003. Geometric models for calculation cell biovolume and surface area for phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 25: 1331-1346.

Valderrama, J.C. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorous in natural waters. *Marine Chemistry*, 10: 109-122.

Vázquez, H.S. 2016. Diversidad de cladóceros en la "Zona Ecológica Reserva del Pedregal San Ángel (REPSA)", Cantera Oriente, Ciudad Universitaria, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 52.

Wetzel, R.G. 1981. *Limnology*. Ed. Omega. Barcelona. 679.

Wetzel, R.G. 2001. *Limnology: Lake and River Ecosystems* 3<sup>rd</sup> Edition. Academic Press. 700.

Wetzel, R.G. y Likens, G.E. 2001. *Limnological analyses*. Saunders company. Philadelphia /London/Toronto. 357.

Wiackowski, K., Brett, M.T. y Goldman, C.R. 1994. Differential effects of zooplankton species on ciliate community structure. *Limnology and Oceanography*. 39(3):486-492.

Wickham, S.A. 1995. Trophic relations between cyclopoid copepods and ciliated protists: complex interactions link the microbial and classic food webs. *Limnology and Oceanography*. 40(6): 1173-1181.

Wickham, S.A. y Gilbert, J.J. 1991. Relative vulnerabilities of natural rotifer and ciliates communities to cladocerans: Laboratory and field experiments. *Freshwater Biology*. 26: 77-86.

Yasindi, A.W. y Taylor, W.D. 2006. The trophic position of planktonic ciliate populations in the food webs of some East African lakes. *African Journal of Aquatic Sciences*. 31(1): 53-62.

Zingel P. 2001. Planktonic ciliates of Lake Peipsi. In: Lake Peipsi – flora and fauna (Eds. Pihu E. and Haberman J.). *Sulemees Publishers, Tartu*. 69-73.

Zingel, P. y Nõges, T. 2010. Seasonal and annual population dynamics of ciliates in a shallow eutrophic lake. *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie*, 176(2): 133-143.

Zöllner, E., Santer, B., Boersma, M., Hoppe, H.G., y Jürgens, K. 2003. Cascading predation effects of *Daphnia* and copepods on microbial food web components. *Freshwater Biology*. 48(12): 2174-2193.