

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

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

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

BIÓLOGA

PRESENTA:

ARIANA MARLEN SANTIAGO LIMA

DIRECTOR DE TESIS: DR. ALFONSO LUGO VÁZQUEZ

LOS REYES IZTACALA, EDO. DE MÉXICO, 2016





Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

DEDICATORIA:

A mi madre y mi abuelo:

Teresa y Raymundo

*Por confiar en mi y haber estado a mi lado en
cada etapa de mi vida.*

*Y a mi familia por su apoyo recibido en todo
momento.*

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, por la formación y conocimientos brindados

Manifiesto también mi agradecimiento a todas aquellas personas que me han ayudado en la realización de este trabajo, principalmente:

Al Dr. Alfonso Lugo Vázquez, asesor de este Proyecto, por brindarme todo el apoyo necesario para la realización de mi Tesis, por la orientación y tiempo dedicado a este trabajo.

También quiero agradecer de manera muy especial a la Dra. María del Rosario Sánchez Rodríguez y a la M. en C. Laura Peralta Soriano, por creer en mí, por apoyarme, motivarme y brindarme consejos, por las charlas, pero sobre todo por hacerme sentir muy gusto en el laboratorio. Muchas Gracias.

A la M. en C. Guadalupe Oliva, por sus enseñanzas, comentarios y conocimientos brindados.

A la M. en C. Teresa Ramírez Pérez y la Biól. María de los Ángeles García Gómez por apoyarme en todo momento, por creer en mí, por su comprensión, por su amistad brindada y sus valiosos consejos.

A mis sinodales: La Dra. Elvia Lucia Pavón Meza y el Dr. José Luis Gama Flores por sus comentarios y apoyo otorgado en todo momento.

También hago extensiva mi gratitud a mis AMIGAS (Sandy, Dani, Abigail, Pao y Gaby) por su cariño, compañía y por todos los buenos momentos compartidos.

Muchas Gracias.

El presente trabajo fue desarrollado en el Laboratorio de Limnología Tropical en la UICCSE de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la UNAM.

Investigación realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM (IN221115) “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”. Agradezco a la DGAPA-UNAM por la beca recibida.

I. INDICE

	<i>PÁGINA</i>
I. RESUMEN.....	1
II. INTRODUCCIÓN.....	2
III. ANTECEDENTES.....	4
IV. JUSTIFICACIÓN.....	6
V. OBJETIVOS.....	7
General.....	7
Particulares.....	7
Área de estudio.....	7
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
Trabajo de Campo.....	8
Trabajo de Laboratorio.....	9
Análisis Estadístico.....	10
VII. RESULTADOS.....	12
Riqueza de Especies.....	12
Dominancia de Especies.....	14
Densidad Poblacional.....	21
Variación temporal.....	25
Variables ambientales.....	27
Variables asociadas al estado trófico.....	28
Estado Trófico.....	32
Análisis Estadístico.....	36
VIII. DISCUSIÓN.....	40
IX. CONCLUSIONES.....	53
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

	<i>PÁGINA</i>
Tabla 1. Grupos taxonómicos de las especies de rotíferos encontrados en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente.....	13
Tabla 2. Grupos taxonómicos de las especies de cladóceros encontrados en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente.....	14
Tabla 3. Promedio y desviación estándar anual de los parámetros físicos y químicos de los cinco cuerpos de agua de la cantera Oriente.....	27
Fig.1. Fotografía aérea de la porción natural de la Cantera Oriente mostrando la ubicación de los sitios de muestreo.....	8
Fig.2. Diagrama de Olmstead-Tukey de rotíferos y cladóceros en los cuerpos de agua de la Cantera oriente.....	15
Fig.3. Diagrama de Olmstead-Tukey de rotíferos y cladóceros en el lago Norte...	16
Fig.4. Diagrama de Olmstead-Tukey de rotíferos y cladóceros en el lago Centro..	17
Fig.5. Diagrama de Olmstead-Tukey de rotíferos y cladóceros en el lago Sur.....	18
Fig.6. Diagrama de Olmstead-Tukey de rotíferos y cladóceros en el V. Regulador..	19
Fig.7. Diagrama de Olmstead-Tukey de rotíferos y cladóceros en el Manantial.....	20
Fig.8. Variación de la abundancia de <i>K. cochlearis</i> (a), <i>P. vulgaris</i> (b), <i>S. oblonga</i> (c), y <i>B. budapestinensis</i> (d) en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente.....	23
Fig.9. Variación de la abundancia de <i>B. calyciflorus</i> (a), <i>K. americana</i> (b), <i>K. trópica</i> (c) y <i>T. pusilla</i> (d) en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente.....	24
Fig.10. Variación de la abundancia de <i>Bosmina longirostris</i> en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente.....	25
Fig.11. Variación de las abundancias de rotíferos en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente a lo largo del año de muestreo.....	26
Fig.12. Variación de las abundancias de cladóceros en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente a lo largo del año de muestreo.....	27
Fig.13. Diagrama de caja y bigote. Variación de la profundidad de visibilidad del disco de Secchi para los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente.....	29
Fig.14. Diagrama de caja y bigote de las concentraciones de Clorofila <i>a</i> en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente.....	30

Fig.15. Diagrama de caja y bigote de las concentraciones de Fósforo total medidas en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente.....	31
Fig.16. Diagrama de caja y bigote de las concentraciones de Nitrógeno total en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente.....	32
Fig.17. Índice del estado trófico de Carlson (1977) de los cuerpos de agua de la Cantera Oriente. Escala de valores: Oligotrófico >30, Mesotrófico 30-60, Eutrófico 60-90, Hipereutrófico 90-100.....	34
Fig.18. Índice del estado trófico de Ejsmont – Karabin (2012) de los cuerpos de agua de la Cantera Oriente. Escala de valores: Mesotrófico >45, Meso-eutrófico 45-55, Eutrófico 55-65, Hipereutrófico >65.....	35
Fig.19. Diagrama de similitud (Morisita) de las abundancias de rotíferos y cladóceros en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente. Enlace simple.....	36
Fig.20. Dendrograma de clasificación jerárquica de las especies de rotíferos y cladóceros de la Cantera Oriente. Similitud: Coeficiente de Correlación de Pearson. Método de agrupación de variación intergrupos.....	37
Fig.21. Dendrograma de clasificación jerárquica de los lagos de la Cantera Oriente con base en los datos de los parámetros físicos y químicos. Similitud: Coeficiente de Correlación de Pearson. Método de agrupación: variación intergrupos.....	38

RESUMEN

Uno de los componentes principales de las comunidades biológicas de los sistemas acuáticos es la comunidad del zooplancton. En la Cantera Oriente se encuentran varios cuerpos de agua (lagos Norte, Centro, Sur y Vaso Regulador), además de algunos manantiales; por su ubicación y la diversidad de condiciones ambientales que presentan constituyen un lugar con gran importancia biológica. El objetivo del presente trabajo fue analizar en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente la composición y abundancia de rotíferos y cladóceros planctónicos y su relación con el estado trófico. Los muestreos se realizaron mensualmente a lo largo de un año (enero a diciembre del 2015). Se identificaron 40 especies de rotíferos y 7 especies de cladóceros, de las cuales fueron dominantes durante todo el periodo de estudio *Keratella cochlearis*, *Polyarthra vulgaris*, *Synchaeta oblonga*, *Brachionus budapestinensis*, *Brachionus calyciflorus*, *Keratella americana*, *Keratella tropica*, *Trichocerca pusilla* y el cladóceros *Bosmina longirostris*. También se midieron los parámetros: temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, disco de secchi, clorofila *a* además de fósforo y nitrógeno totales. De acuerdo con análisis de Kruskal-Wallis los lagos de la Cantera Oriente fueron significativamente diferentes en diversas variables. Se aplicaron los índices de estado trófico de Carlson (1977) y de Esjmont-Karabin (2012) para determinar el grado de eutrofia, de los cuerpos de agua ubicándolos entre mesotrófico y eutrófico. Por otro lado también se aplicaron índices de similitud y análisis de agrupamientos para comparar la composición taxonómica de la comunidad del zooplancton y los parámetros físicos y químicos, donde el lago Norte y el lago Centro resultaron similares, seguidos del lago Sur (eutróficos); el Vaso Regulador y el Manantial tuvieron un estado trófico menor a los otros cuerpos de agua. También se categorizó a las especies que se encuentran en condiciones oligotróficas, mesotróficas y eutróficas. Todas las especies registradas en este estudio ya han sido previamente reportadas en cuerpos de agua con condiciones similares a los de la Cantera, como el lago Xochimilco, el lago del Parque Tezozomoc y el lago de Zumpango. En la Cantera Oriente se le ha dado poco énfasis a los organismos microscópicos de los cuerpos de agua, es por esto que este trabajo da a conocer una lista de las especies encontradas y la importancia que ejercen a la comunidad del zooplancton, además se encontró que especialmente los rotíferos pueden ser buenos indicadores del estado trófico.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas actuales más comunes en los cuerpos acuáticos es la eutrofización, la cual consiste en el aporte de concentraciones muy elevadas de nutrientes inorgánicos, principalmente nitrógeno y fósforo al agua (Solís, 2012); el rápido y continuo ingreso de nutrimentos hacia los cuerpos de agua de diversas regiones del mundo ha ocasionado que muchos de ellos alcancen el estado de eutrofia extrema, denominado hipertrofia. En nuestro país, numerosos cuerpos de agua ya se encuentran en condiciones de hipertrofia, y diversos lagos urbanos mexicanos son ejemplos típicos de este problema (Oliva *et al.*, 2008).

Los lagos urbanos son ambientes acuáticos muy importantes para las grandes ciudades, ya que representan lugares significativos de recreación para sus habitantes. Estos lagos son usualmente muy someros y artificiales, de tamaño relativamente pequeño, comúnmente hipertróficos; los lagos urbanos se han convertido en los cuerpos de agua que mayor número de personas conoce y visita en el mundo (Schueler & Simpson, 2003).

Además, estos ecosistemas acuáticos tienen una gran importancia desde el punto de vista estético, y en algunos casos, como fuentes de abastecimiento de agua para el consumo humano; el contacto cercano con los seres humanos los convierte también en ecosistemas fuertemente afectados y desequilibrados (Birch & McCaskie, 1999). Son especialmente vulnerables a la contaminación, ya que se acelera la eutrofización de manera cultural porque en ellos se vierten desechos como aguas residuales con detergentes, residuos alimenticios, materia orgánica y fertilizantes, que se convierten en fuentes de nutrientes (Ryding & Rast 1992). Esto suele provocar inestabilidad del medio, cambios espaciales y temporales que determinan las comunidades presentes en los lagos (Figueredo y Gianni, 2001). Además de que experimentan cambios físicos y químicos que afectan a la capacidad del agua para sustentar a las comunidades vegetal y animal (Gallardo-Pineda, 2013).

Dentro de los sistemas acuáticos uno de los componentes principales del plancton es el zooplancton (Conde-Porcuna *et al.*, 2004). Esta comunidad está conformada

por una gran variedad de organismos que en algunos casos incluyen estadios larvarios, juveniles y adultos. Viven suspendidos en la columna de agua siendo transportados pasivamente por los movimientos de esta; se distribuyen en función de la hidrodinámica; presentando variación espacial y temporal tanto en su composición como en su biomasa (Granados-Ramírez y Suárez-Morales, 2003). En general, el zooplancton es responsable de transferir la energía captada por el fitoplancton a los niveles tróficos superiores (Retana y Vázquez, 2015); además, la composición específica del zooplancton puede ser un excelente criterio para caracterizar el estado trófico de los sistemas acuáticos y deducir la estructura de las comunidades acuáticas (Lodi *et al.* 2011; Verma *et al.*, 2011; Conde-Porcuna *et al.*, 2004). La composición y variación del zooplancton de los cuerpos acuáticos también se ha relacionado con la calidad del agua (Deepthi & Sadanand, 2014).

El zooplancton de agua dulce está compuesto por tres grupos: rotíferos, cladóceros y copépodos. El grupo de los rotíferos es considerado como uno de los grupos numéricamente más abundantes y que presentan mayor riqueza de especies y diversidad dentro de un cuerpo de agua; el grupo de los microcrustáceos (cladóceros y copépodos) generalmente conforma la mayor parte de la biomasa de los sistemas acuáticos dulceacuícolas (Figueroa, 2015; Williamson & Redi, 2001). El zooplancton constituye frecuentemente entre el 70 y el 90% del total de la biomasa resultante de la producción secundaria. Las poblaciones de estos tres grupos son tan abundantes que constituyen el alimento principal de muchos depredadores, e incluso llegan a sostener el desarrollo de poblaciones de peces y de otros organismos en los sistemas naturales (Arredondo *et al.*, 2007).

Los rotíferos y cladóceros comparten características como el combinar en sus ciclos de vida la partenogénesis y la reproducción sexual. La partenogénesis les permite colonizar rápidamente nuevos nichos gracias a la rápida generación de nuevos individuos y la reproducción sexual promueve la diversificación genotípica ayudando a la permanencia de la especie (Margalef, 1983).

Los lagos pueden considerarse como modelos óptimos para el estudio de la riqueza específica con relación a los gradientes ambientales, ya que forman entidades

ecológicas que están bien delimitadas en el paisaje (Conde-Porcuna *et al.*, 2004). Sin embargo, los lagos urbanos poseen características que los hacen únicos en cuanto a condiciones y problemáticas (Schueler & Simpson, 2003), y debido a su importancia y su deterioro generalizado diversos lagos urbanos han sido objeto de acciones de manejo y restauración (Moss, 1999). La composición y abundancia del zooplancton en estos cuerpos de agua puede ser un factor de gran relevancia para determinar las condiciones de calidad y transparencia del agua que prevalecen en ellos y por esta razón su estudio debe ser incluido dentro de los lineamientos para un adecuado manejo y conservación de los cuerpos de agua, ya que la estructura de la comunidad del zooplancton se encuentra entre los elementos biológicos que vale la pena estudiar, ya que puede fácilmente servir como un indicador biológico con una elevada sensibilidad a cambios en la calidad del agua (Ejsmont-Karabin, 2012).

En la Cantera Oriente, perteneciente a la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, una reserva ecológica urbana dentro de la Ciudad de México, se encuentran 4 lagos formados por las aguas de manantiales que afloran en la zona. A pesar de compartir la fuente de agua y encontrarse uno al lado del otro, estos cuerpos acuáticos presentan a simple vista condiciones tróficas diferentes. Por ello se decidió realizar el presente estudio anual comparado para conocer la composición y variación de las comunidades de rotíferos y cladóceros presente en cada uno de ellos y tratar de establecer una relación con el correspondiente estado trófico.

ANTECEDENTES

En México, el avance del conocimiento taxonómico de las especies de cladóceros y rotíferos de los cuerpos de agua se ha acelerado en los últimos 20 años (Elías-Gutiérrez y Suárez-Morales 2003). Sin embargo, muchos trabajos son de índole descriptiva y los estudios ecológicos, toxicológicos y tróficos no son abundantes.

Martínez (1993) estudió los cladóceros y copépodos del lago urbano Nabor Carrillo dentro del antiguo vaso de Texcoco; este lago es muy productivo debido a que se llena con aguas residuales tratadas.

Muro (1994) estudió la composición y abundancia de los cladóceros en los tres lagos del Bosque de Chapultepec. Las especies que encontró fueron casi todas de tamaño reducido, típicas de ambientes eutróficos.

Sarma y Martínez-Figueroa (2000) estudiaron la variación morfométrica del rotífero *Filinia cornuta* en el lago Tezozomoc; además, también enlistaron las especies de rotíferos presentes en un ciclo anual.

Enríquez-García *et al.*, (2009) determinaron la variación estacional del zooplancton en el lago urbano Huetzalin, D.F. en condiciones fuertemente eutróficas. Sus resultados indicaron una importante diversidad (46 especies) y la dominancia en el zooplancton de los rotíferos, mientras que los microcrustáceos fueron considerablemente menos abundantes y variados.

Guzmán (2012) realizó experimentos con mesocosmos en el lago urbano Tezozomoc para estudiar el efecto de la variación en la relación N:P sobre los rotíferos, a través del efecto en su alimento. Encontró 12 especies de rotíferos.

López (2012) estudió el efecto del consumo del pequeño pez herbívoro *Poecilia reticulata* sobre los rotíferos del plancton del lago Tezozomoc. Observó que el efecto directo no fue significativo, pero sí encontró que los rotíferos fueron beneficiados por los peces a través del control descendente que éstos ejercieron sobre los copépodos y cladóceros. En total se encontraron 13 especies de rotíferos.

Figueroa (2015) llevó a cabo un estudio de la comunidad zooplanctónica en el lago de Zumpango, donde reportó 33 especies de rotíferos y 6 especies de cladóceros.

Para la Cantera Oriente se han realizado estudios sobre la diversidad biológica, incluyendo algas, ciliados y otros protozoos, insectos, crustáceos, helmintos peces, anfibios y reptiles (Lot, 2007). Se han estudiado los crustáceos (Villalobos *et al.* 2007) encontrándose 3 clases, 6 órdenes, 6 familias, 9 géneros y 10 especies. Bermúdez (2010) realizó un estudio de la diversidad del orden Cladóceras de las pozas de la Reserva Ecológica del Pedregal, encontrando solo seis especies de cladóceros. Mercado-Salas y Álvarez-Silva (2013) describieron una nueva especie de copépodo ciclopoide encontrada en el plancton de los cuerpos de agua de la

Cantera Oriente. González (2015) estudió la variación estacional de rotíferos monogonontos en la zona litoral de los cuerpos de agua de la Cantera Oriente donde registró 68 especies de rotíferos; sin embargo, no se han realizado estudios ecológicos de este grupo u otros integrantes del zooplancton, además de que el mayor número de los trabajos realizados se han enfocado en la zona litoral de los lagos.

JUSTIFICACIÓN

Existen pocos estudios sobre lagos urbanos por lo que es de gran interés observar los cambios de los organismos acuáticos como los rotíferos y cladóceros. En los cuerpos de agua de la Cantera Oriente se ofrece la oportunidad de estudiar condiciones ambientales acuáticas muy poco frecuentes en el Valle de México: manantiales, aguas corrientes y lagos someros. Estos ambientes propician el desarrollo de organismos que son difíciles de observar en el resto de la zona, como los invertebrados acuáticos de las pozas de agua lo que abre una buena perspectiva para iniciar un estudio del zooplancton dulceacuícola que forma parte de la comunidad acuática que ha sobrevivido y se ha desarrollado en una zona urbana con características únicas, además de tener una visión más amplia sobre el papel ecológico dentro de estos sistemas acuáticos y las variaciones ambientales. Este estudio comparado permitirá observar las diferencias y semejanzas del zooplancton en cuerpos de agua que comparten agua del mismo origen y que se encuentran en una misma zona con un microclima compartido pero que a simple vista reflejan condiciones muy diversas en cuanto a la cantidad y tipo de fitoplancton así como en sus niveles de producción primaria.

OBJETIVOS

GENERAL. Conocer la composición y abundancia del zooplancton (rotíferos y cladóceros) y realizar una comparación entre los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente.

PARTICULARES

- Obtener la composición taxonómica de los ensamblados de rotíferos y cladóceros de cada cuerpo de agua.
- Conocer la variación de la abundancia de las especies en cada lago en un ciclo anual.
- Medir las variables asociadas al estado trófico: transparencia, concentración de clorofila *a*, fósforo y nitrógeno totales.
- Establecer la relación entre el estado trófico *versus* la composición y abundancia del zooplancton en cada cuerpo de agua.

ÁREA DE ESTUDIO

La Cantera Oriente se localiza a un costado de la estación del Metro Universidad, en la Ciudad de México (Ortiz-Pérez *et. al.* 2007). Es una de las trece zonas de amortiguamiento de la REPSA (Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel) por lo que su uso está restringido para reducir el efecto de los disturbios antropogénicos sobre las zonas núcleo (Lot, 2007). El área que abarca es de aproximadamente 206 000 m² y en la mitad del terreno se ubican instalaciones del club de futbol PUMAS.

En esta localidad es posible encontrar diferentes tipos de paisajes entre los más abundantes se tienen paisajes arbóreos y de arbustos así como paisajes lacustres y humedales.

En la Cantera Oriente se ubican cuatro cuerpos de agua que suman una superficie total de 11, 906.45 m² que representa el 14.36% del área total de la Reserva (Hernández *et al.*, 2007) (Fig. 1). Dichos cuerpos de agua se originaron cuando la

explotación de la roca basáltica alcanzó el nivel del manto freático y se formaron al menos cuatro manantiales cuyo flujo inundó una parte del terreno, formando un cuerpo de agua somero. Posteriormente, este cuerpo de agua fue subdividido en tres mediante la construcción de bordos, y el cuarto cuerpo acuático fue construido para regular el flujo del agua. Los cuerpos de la Cantera Oriente tienen influencias externas relacionadas con el origen del agua, la mezcla con el Vaso Regulador de la zona deportiva y seguramente por las filtraciones dentro de la localidad (Lot, 2007). En trabajos anteriores los cuerpos de agua de la Cantera Oriente se caracterizaron tróficamente como mesotróficos (Novelo *et al.*, 2007).



Figura 1. Fotografía aérea de la porción natural de La Cantera Oriente mostrando la ubicación de los sitios de muestreo (punto central). Tomada de Google Earth, 2015

MATERIAL Y MÉTODO

Trabajo de Campo

Se realizaron muestreos mensuales comprendiendo un periodo anual (enero a diciembre del 2015) en cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente, y que por su posición geográfica se denominaron: Lago Norte, Lago Centro, Lago Sur, además del Vaso Regulador y Manantial (Fig. 1)

En cada uno de los lagos se midieron *in situ* los parámetros ambientales de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxígeno disuelto (mg l^{-1}), pH (unidades de pH), conductividad específica a 25°C (K_{25} , $\mu\text{S/cm}$) y profundidad de visibilidad del disco de Secchi (cm). Se utilizó un equipo multisonda marca YSI Modelo 85; el pH se obtuvo con un potenciómetro de campo marca Digisense modelo pH10 previamente calibrado; para la transparencia del agua se utilizó un disco de Secchi de 0.2 m de diámetro.

Para las muestras biológicas de cada lago se obtuvo una muestra integrada de 5 l de la columna de agua utilizando un tubo muestreador de acrílico con un diámetro de 26 mm y fue concentrada hasta un volumen de 200 ml filtrándola a través de una malla de $40\ \mu\text{m}$ de abertura y posteriormente fueron fijadas con formol hasta una concentración del 4% (Wetzel & Likens 2000); así mismo, para cada lago se realizaron arrastres con una malla de $20\ \mu\text{m}$ de abertura concentrándolas en botellas de plástico para posteriormente observar los organismos *in vivo* en el laboratorio.

Se tomaron 500 ml para el análisis de los nutrientes. Las muestras se colocaron en botellas de plástico previamente lavadas con detergente libre de fosfatos al 2% y enjuagadas con agua desionizada. Se filtraron en el campo volúmenes de entre 2 y 40 ml a través de filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F; 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 (Arar y Collins, 1997).

Trabajo de Laboratorio

Las muestras *in vivo* obtenidas para el análisis de zooplancton, se llevaron al laboratorio para realizar observaciones de rotíferos y cladóceros, utilizando microscopía de campo claro, contraste de fases y campo oscuro con un microscopio marca Zeiss Modelo Axiostar.

Para la determinación, cuantificación de abundancia y densidad de los rotíferos y cladóceros se colocó un volumen de 10 ml de la muestra fijada en cámaras de

sedimentación de Utermöhl modificadas (12 ml de capacidad) y después de un período de sedimentación de 30 min se observaron en un microscopio invertido marca Nikon Eclipse T100 a 10X y 40X. Para la identificación de las especies de rotíferos se utilizaron las claves de Koste (1978); Ruttner-Kolisko (1975) y Edmondson (1953), contando un mínimo de 100 individuos de la especie más abundante para alcanzar un intervalo de confianza para la estimación de la media de $\pm 20\%$ (Wetzel & Likens, 2000).

Para la determinación de fósforo y nitrógeno totales, se tomaron de cada muestra 100 ml llevando a cabo una digestión química de la materia orgánica presente con persulfato de potasio en condiciones básicas (Valderrama, 1981). Las muestras fueron digeridas en una autoclave durante 45 min a 115 °C. Una vez que las muestras alcanzaron la temperatura ambiente se procedió al análisis del nitrógeno y el fósforo totales; el primero se determinó en forma de N-NO₃ y el fósforo en forma de P-PO₄, con los métodos espectrofotométricos de reducción de cadmio (Nitrover 5) y del ácido ascórbico (Phosver 5) utilizando un laboratorio portátil de calidad de agua marca HACH modelo DREL/2000.

Análisis Estadístico

Para establecer la importancia de cada una de las especies en los cinco cuerpos de agua se utilizaron los diagramas de Olmstead-Tukey (Sokal & Rohlf 1981) utilizando el programa Sigmaplot v.12.0 (2012)

Para la comparación de los lagos utilizando los datos de los parámetros asociados al estado trófico se utilizó el análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis, ya que los datos no cumplieron con los supuestos para el análisis de varianza (normalidad de los datos y homogeneidad de varianzas), además de aplicar la prueba post hoc de Dunn (Daniel, 2002).

Para determinar el estado trófico de los cuerpos de agua de la Cantera Oriente, se utilizó el índice propuesto por Carlson (1977), el cual se obtuvo a partir del promedio de los datos de la visibilidad del disco de Secchi y la concentración de clorofila *a*;

con las densidades totales de rotíferos se obtuvo el índice trófico propuesto por Ejsmont-Karabin (2012) y se realizó la comparación entre ambos resultados.

- Carlson (1977)

$$\text{IET (DS)} = 10 (6 - (\ln \text{DS}/\ln 2))$$

DS= Transparencia del Disco de Secchi

$$\text{IET (Cl-a)} = 10 (6 - (2.04 - 0.68 \ln \text{Cl-a}/\ln 2))$$

Cl-a= Concentración de Clorofila a

- Ejsmont-Karabin (2012)

Parámetro: Número de rotíferos (N, Ind l⁻¹)

Coefficiente de determinación: R²=0.60

$$\text{TSl}_{\text{ROT}} = 5.38 \ln(N) + 19.28$$

Para comparar la composición taxonómica del zooplancton entre los diferentes cuerpos de agua se aplicó el índice de Morisita (Krebs, 1985), además de realizar dendrogramas de clasificación jerárquica de los lagos usando las variables ambientales y mediante el Coeficiente de Correlación de Pearson como valor de similitud; para realizar el agrupamiento se utilizó el método de variación intergrupos; para el caso de las densidades de rotíferos también se realizó el mismo procedimiento, pero en este caso se agruparon las especies de acuerdo con sus densidades; los datos fueron previamente transformados a log 10 (n+1) (SPSS 2010).

RESULTADOS

RIQUEZA DE ESPECIES

En los cuerpos de agua de la Cantera Oriente se estudiaron dos grupos principales del zooplancton: rotíferos y cladóceros. Se encontró un total de 47 taxa, de los cuales el grupo de los rotíferos presentó la mayor riqueza de especies con un total de 40 que corresponden a 12 familias y 18 géneros, siendo las familias Brachionidae, Lecanidae y Trichocercacidae, quienes registraron el mayor número de especies, mientras que el grupo de los cladóceros estuvo compuesto por 7 especies pertenecientes a 4 familias y 7 géneros (Tabla 1).

El lago que tuvo la mayor riqueza de especies de rotíferos fue el Manantial con 35 especies, seguido del Vaso Regulador con 31 especies, el lago Norte presentó 23 especies, el lago Sur 22 especies y el lago Centro 20 especies, siendo este último el de menor riqueza. En cuanto al grupo de los cladóceros en el lago Sur se encontraron 6 especies, el lago Norte y el Lago Centro tuvieron 5 especies y los lagos con la menor riqueza fueron el Vaso regulador y Manantial con 4 especies cada uno (Tabla 2).

Tabla 1. Listado taxonómico de las especies de rotíferos encontrados en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente.

Rotíferos de la Cantera Oriente, D.F.	
Subclase. Monogononta	Familia: Mytilinidae
Familia: Brachionidae	26. <i>Lophocharis salpina</i> (Ehrenberg, 1834)
1. <i>Brachionus caudatus</i> (Barrois & Daday, 1984)	27. <i>Mytilina mucronata</i> (Müller, 1773)
2. <i>Brachionus angularis</i> (Gosse, 1851)	28. <i>Mytilina ventralis</i> (Ehrenberg, 1830)
3. <i>Brachionus budapestinensis</i> (Daday, 1885)	Familia: Synchaetidae
4. <i>Brachionus calyciflorus</i> (Pallas, 1766)	29. <i>Polyarthra vulgaris</i> (Carlin, 1943)
5. <i>Brachionus quadridentatus</i> (Hermann, 1783)	30. <i>Synchaeta pectinata</i> (Ehrenberg, 1832)
6. <i>Keratella americana</i> (Carlin, 1943)	31. <i>Synchaeta oblonga</i> (Ehrenberg, 1832)
7. <i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)	Familia: Testudinellidae
8. <i>Keratella trópica</i> (Apstein, 1907)	32. <i>Testudinella mucronata</i> (Gosse, 1886)
9. <i>Platyias quadricornis</i> (Ehrenberg, 1832)	33. <i>Testudinella patina</i> (Hermann, 1783)
Familia: Notommatidae	Familia: Trichocercidae
10. <i>Cephalodella ventripes</i> (Dixon-Nuttall, 1901)	34. <i>Trichocerca elongata</i> (Gosse, 1886)
11. <i>Cephalodella catellina</i> (Müller, 1786)	35. <i>Trichocerca porcellus</i> (Gosse, 1851)
Familia: Euchlanidae	36. <i>Trichocerca pusilla</i> (Jennings, 1903)
12. <i>Euchlanis dilatata</i> (Ehrenberg, 1830)	37. <i>Trichocerca tenuior</i> (Gosse, 1886)
Familia: Lecanidae	Familia: Trichotriidae
13. <i>Lecane closterocerca</i> (Schmarda, 1859)	38. <i>Trichotria pocillum</i> (Müller, 1776)
14. <i>Lecane lunaris</i> (Ehrenberg, 1832)	Familia: Asplanchnidae
15. <i>Lecane pyriformis</i> (Daday, 1905)	39. <i>Asplanchna brightwelli</i> (Gosse, 1850)
16. <i>Lecane nana</i> (Murray, 1913)	SUBCLASE: BDELLOIDEA
17. <i>Lecane quadridentata</i> (Ehrenberg, 1830)	Familia: Philodinidae
18. <i>Lecane bulla</i> (Gosse, 1851)	40. <i>Philodina</i> sp.
19. <i>Lecane flexilis</i> (Gosse, 1886)	
20. <i>Lecane stichaea</i> (Harring, 1913)	
Familia: Lepadellidae	
21. <i>Colurella uncinata</i> (Müller, 1773)	
22. <i>Lepadella patella</i> (Müller, 1773)	
23. <i>Lepadella ovalis</i> (Müller, 1786)	
24. <i>Lepadella acuminata</i> (Ehrenberg, 1834)	
25. <i>Squatinella mutica</i> (Ehrenberg, 1832)	

Tabla 2. Listado taxonómico de las especies de cladóceros encontrados en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente.

Cladóceros de la Cantera Oriente, D.F.	
Clase: Branchiopoda	Familia: Daphniidae
Suborden: Cladóceras	6. <i>Scaphoeleberis armata freyi</i> (Dumont y Pensaert, 1983)
Familia: Monidae	7. <i>Daphnia ambigua</i> (Scourfield, 1947)
1. <i>Moina micrura</i> (Kurz, 1874)	
Familia: Bosminidae	
2. <i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller, 1785)	
Familia: Chydoridae	
3. <i>Pleuroxus denticulatus</i> (Birge, 1879)	
4. <i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller, 1785)	
5. <i>Alona rectangula</i> (Sars, 1862)	

DOMINANCIA DE ESPECIES

El diagrama de Olmstead-Tukey para los grupos de la comunidad zooplanctónica muestra las variaciones en las abundancias y la frecuencia con las que aparecieron las especies a lo largo del muestreo. Se realizó un análisis en conjunto de rotíferos y cladóceros, del cual se obtuvo un total de 9 especies dominantes (con altas frecuencias y abundancias) en los puntos de muestreo; así mismo se registraron 8 especies constantes y una especie temporal, las restantes 29 especies por su baja abundancia y baja frecuencia se consideraron especies raras (Fig. 2). También se realizó un análisis para cada cuerpo de agua donde se obtuvo que el lago Norte presentó 5 especies dominantes, 7 especies constantes, 16 especies raras y ninguna especie se registró como temporal (Fig. 3). El lago Centro presentó 6 especies dominantes, 5 especies constantes, 14 especies raras y ninguna resultó temporal (Fig. 4). Para el lago Sur se determinaron 5 especies dominantes, 6 especies constantes, 1 temporal y 16 especies raras (Fig. 5). En el Vaso Regulador se presentaron 5 especies dominantes, 5 especies constantes, 21 especies raras y

ninguna temporal (Fig. 6). Finalmente, para el Manantial se registraron 6 especies dominantes, 1 especie temporal, 4 especies constantes y 20 especies raras (Fig. 7).

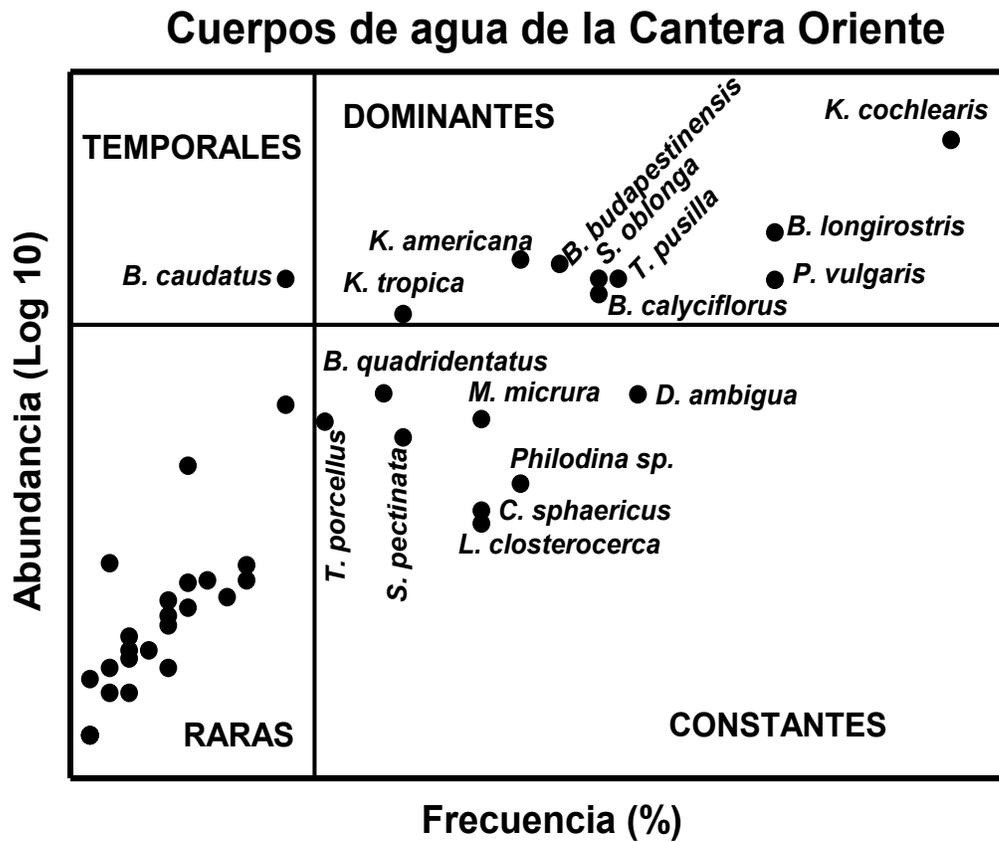


Fig. 2. Diagrama de Olmstead-Tukey de rotíferos y cladóceros en los cuerpos de agua de la Cantera oriente.

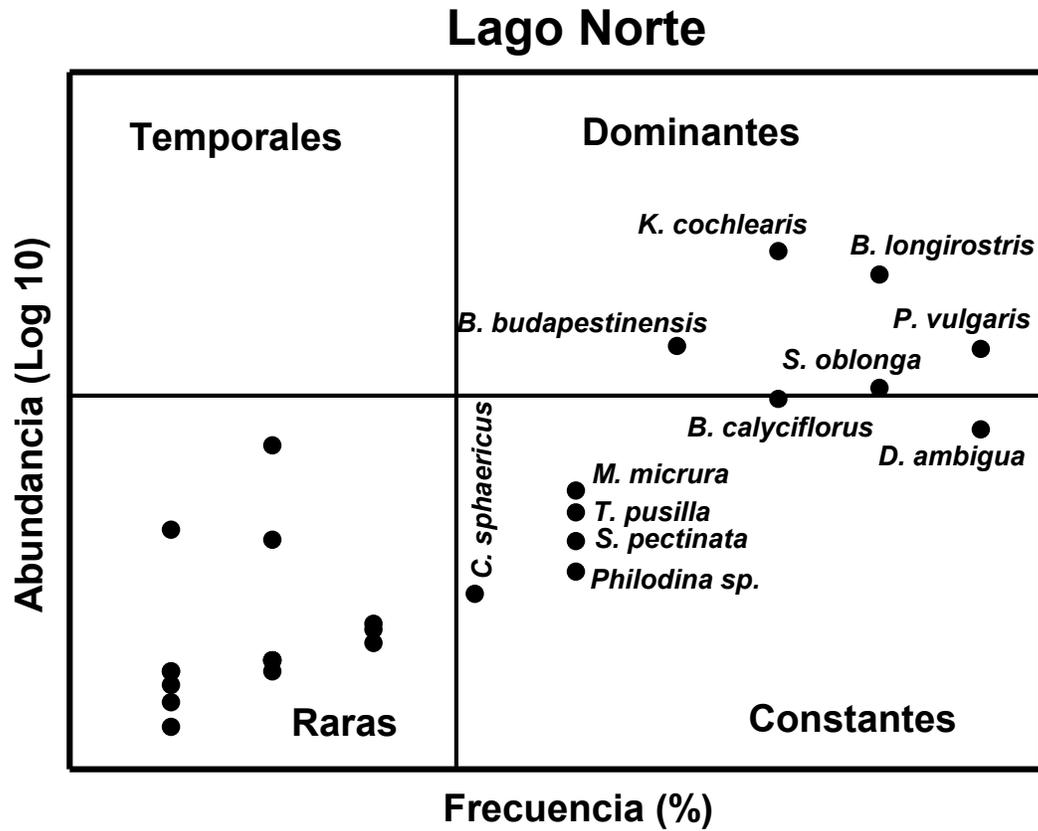


Fig. 3. Diagrama de Olmstead-Tukey de rotíferos y cladóceros en el lago Norte.

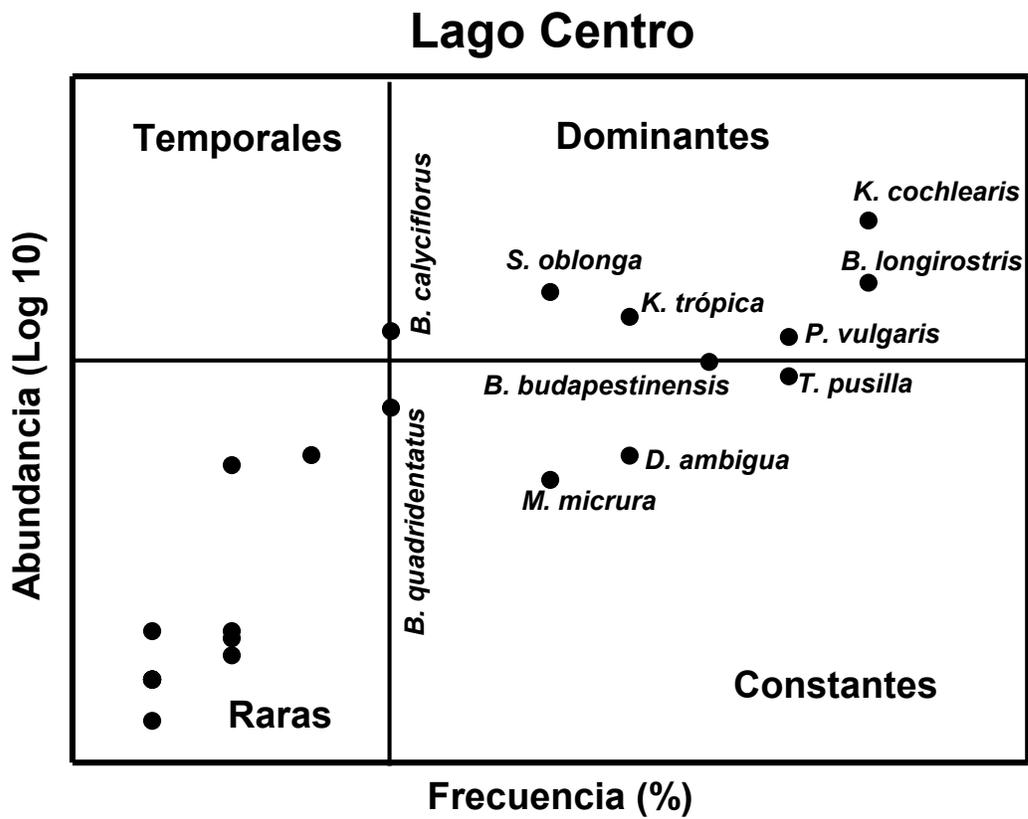


Fig. 4. Diagrama de Olmstead-Tukey de rotíferos y cladóceros en el lago Centro.

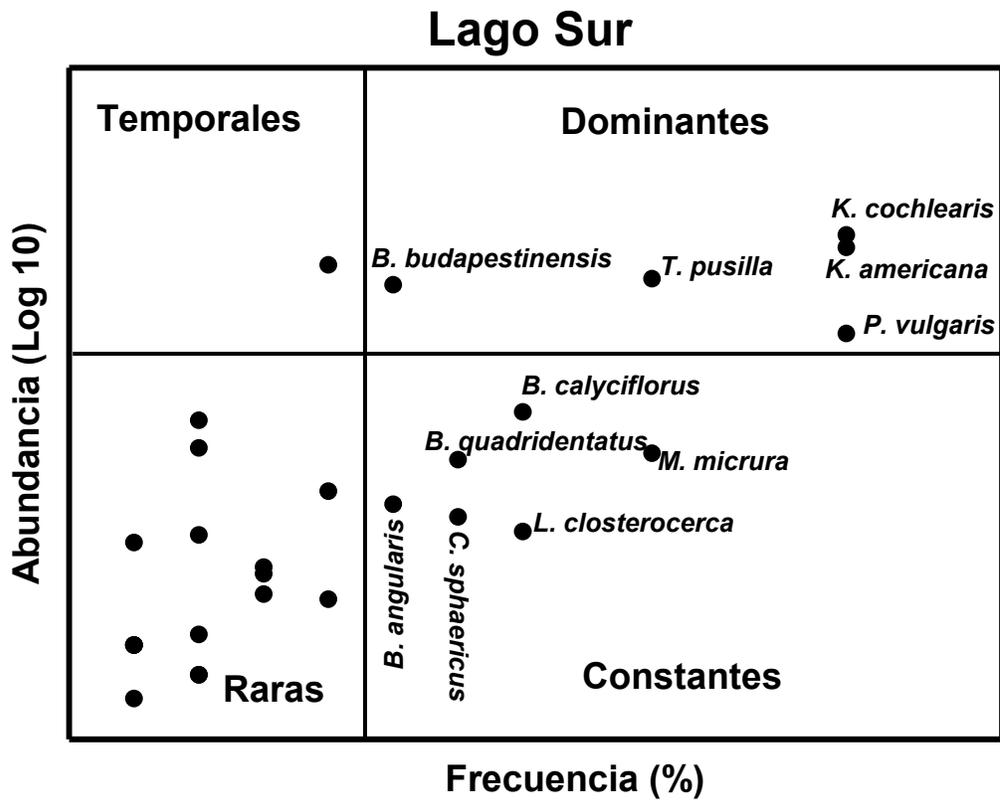


Fig. 5. Diagrama de Olmstead-Tukey de rotíferos y cladóceros en el lago Sur.

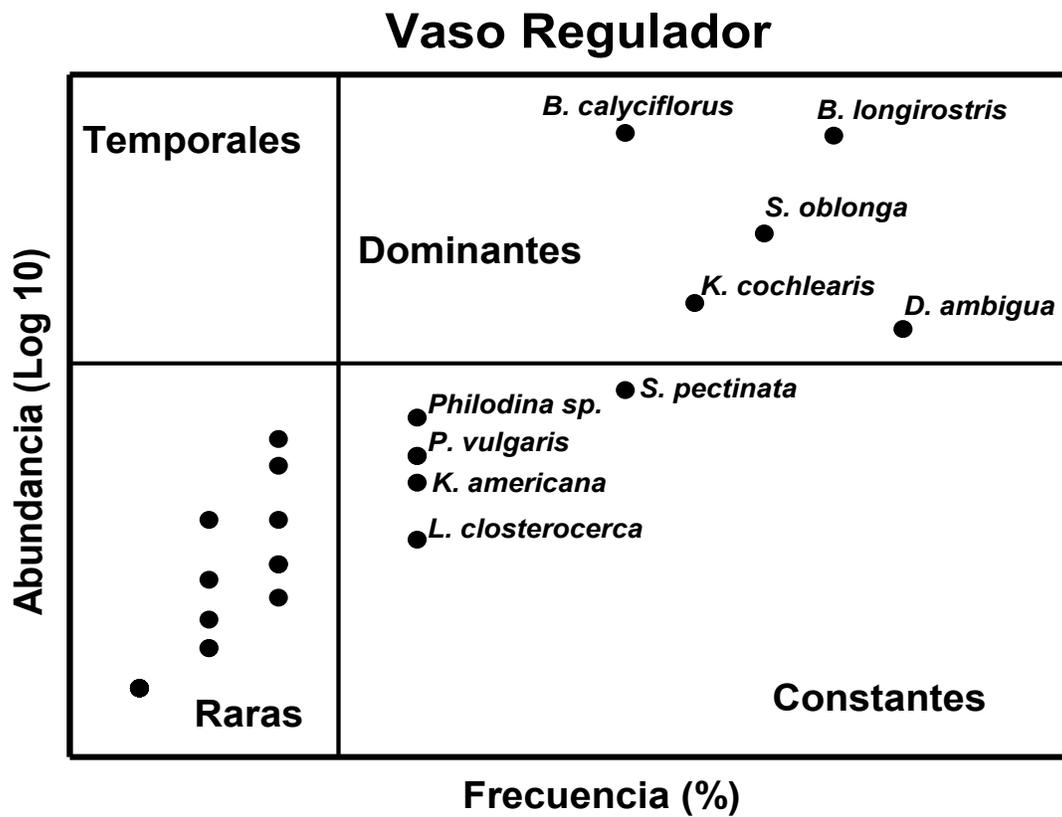


Fig. 6. Diagrama de Olmstead-Tukey de rotíferos y cladóceros en el Vaso Regulador.

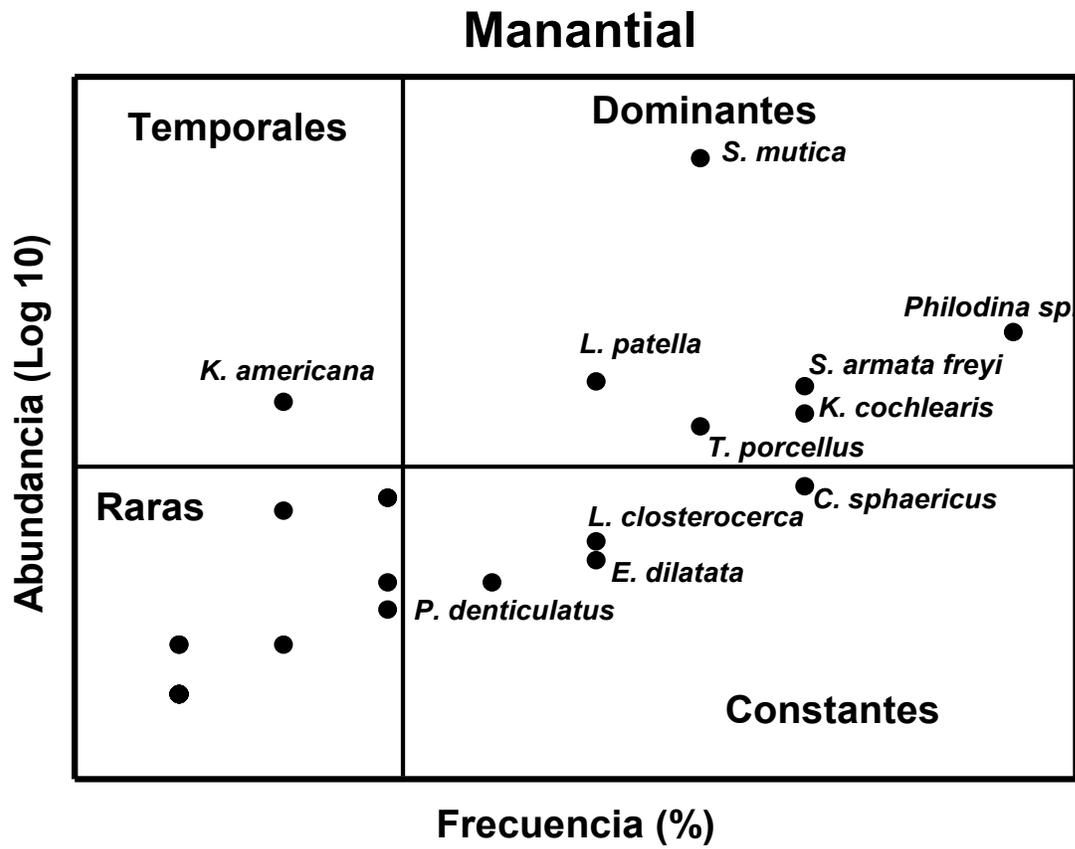


Fig. 7. Diagrama de Olmstead-Tukey de rotíferos y cladóceros en el Manantial.

La única especie que resultó dominante en todos los cuerpos de agua fue el rotífero *Keratella cochlearis*. El cladócero *Bosmina longirostris* fue dominante en tres cuerpos de agua (Norte, Centro y Vaso Regulador), lo mismo que los rotíferos *Polyarthra vulgaris* (Norte, Centro y Sur) y *Synchaeta oblonga* (Norte, Centro y Vaso Regulador). Los rotíferos *Brachionus budapestinensis* (Norte y Sur) y *Brachionus calyciflorus* (Centro y Vaso Regulador) fueron dominantes en dos cuerpos de agua, mientras que los rotíferos *Keratella americana* (Sur), *Keratella tropica* (Centro) y *Trichocerca pusilla* (Sur) fueron dominantes solo en un lago.

DENSIDAD POBLACIONAL

De las 40 especies de rotíferos encontrados en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente las especies que predominaron durante el muestreo y que se consideran importantes por su dominancia y su abundancia son: *Keratella cochlearis*, *Polyarthra vulgaris*, *Synchaeta oblonga*, *Brachionus budapestinensis*, *Brachionus calyciflorus*, *Keratella americana*, *Keratella trópica* y *Trichocerca pusilla*.

K. cochlearis es una de las especies que se presentó en los cinco lagos a lo largo del muestreo, teniendo un pico máximo de abundancia en el Lago Centro con 2513 ind l⁻¹ en el mes de mayo y otro en el mes de septiembre con 1443 ind l⁻¹, seguido del Lago Norte con 1783 ind l⁻¹ en el mes de mayo; en el Lago Sur la mayor abundancia la obtuvo en el mes de septiembre con 1036 ind l⁻¹, mientras que el Vaso Regulador y el Manantial la abundancia fue menor a 50 ind l⁻¹ durante todo el año (Fig.8 a). Para *P. vulgaris* la abundancia máxima se registró en el lago Sur con 567 ind l⁻¹ en el mes de diciembre, en el lago Norte la mayor abundancia fue en el mes de noviembre con 338 ind l⁻¹ y las menores abundancias (<15 ind l⁻¹) se presentaron en el Vaso Regulador y el Manantial durante todo el periodo de muestreo (Fig.8 b). *S. oblonga* mostró su pico de abundancia máxima en el lago Centro durante el mes de febrero con 1764 ind l⁻¹, mientras que en los lagos restantes mostró siempre abundancias menores a 200 ind l⁻¹ (Fig. 8 c). Para el caso de *B. budapestinensis* hubo dos picos de abundancia máxima en el Lago Sur en el mes de mayo con 1711 ind l⁻¹ y en el mes de septiembre con 676 ind l⁻¹, mientras

que para el lago Norte y el lago Centro su mayor abundancia fue durante el mes de abril con 540 ind l⁻¹ y 522 ind l⁻¹, en el caso del Vaso Regulador y el Manantial la abundancia fue menor a 15 ind l⁻¹ durante el periodo de muestreo (Fig. 8 d).

Para *B. calyciflorus* se registró la mayor abundancia en el Lago Centro durante el mes de marzo con 943 ind l⁻¹, seguido del Vaso Regulador con 376 ind l⁻¹ en el mes de agosto y para el lago Norte con 293 ind l⁻¹ en el mes de diciembre y para el lago Sur y el Manantial las abundancias fueron menores de 100 ind l⁻¹ durante el periodo de muestreo (Fig. 9 a). Para *K. americana* su mayor pico de abundancia máxima se registró en el lago Sur con 1622 ind l⁻¹ en el mes de abril teniendo también un segundo pico en el mes de octubre con 1019 Ind l⁻¹, mientras que para los demás lagos se registró una abundancia menor a 35 Ind l⁻¹ durante todo el año de muestreo (Fig.9 b). *K. tropica* su abundancia máxima se observó en el lago Centro con 812 ind l⁻¹ durante el mes de octubre, en el Lago Sur tuvo su abundancia máxima en el mes de diciembre con 142 ind l⁻¹, mientras que en los demás lagos la abundancia fue menor a 5 ind l⁻¹ durante todo el muestreo (Fig.9 c). *T. pusilla* presentó su máxima abundancia en el lago Sur con 1339 ind l⁻¹ en el mes de agosto y para los demás cuerpos de agua las abundancias fueron menores a 180 ind l⁻¹, durante el periodo de muestreo (Fig. 9 d). Se puede observar en las gráficas que mientras *K. cochlearis* (Fig. 8 a) tuvo sus mayores abundancias en la época cálida-lluviosa, *K. americana* y *K. tropica* en el caso de los lagos Sur y Centro presentaron picos de densidad meses menos cálidos (abril y octubre) (Fig. 9 b y c).

Para el caso de los cladóceros, de las 7 especies encontradas en la Cantera Oriente solo una especie predominó durante el año de muestreo y fue *B. longirostris* (Fig. 10), la cual presentó un pico máximo de abundancia en el lago Norte durante el mes enero con 1900 Ind l⁻¹, en el lago Centro la abundancia máxima registrada fue en el mes de noviembre con 917 Ind l⁻¹, para el Vaso Regulador la abundancia se mantuvo por debajo de los 340 Ind l⁻¹ y para el lago Sur y Manantial se registraron las abundancias más bajas llegando hasta 2 Ind l⁻¹ durante el muestreo

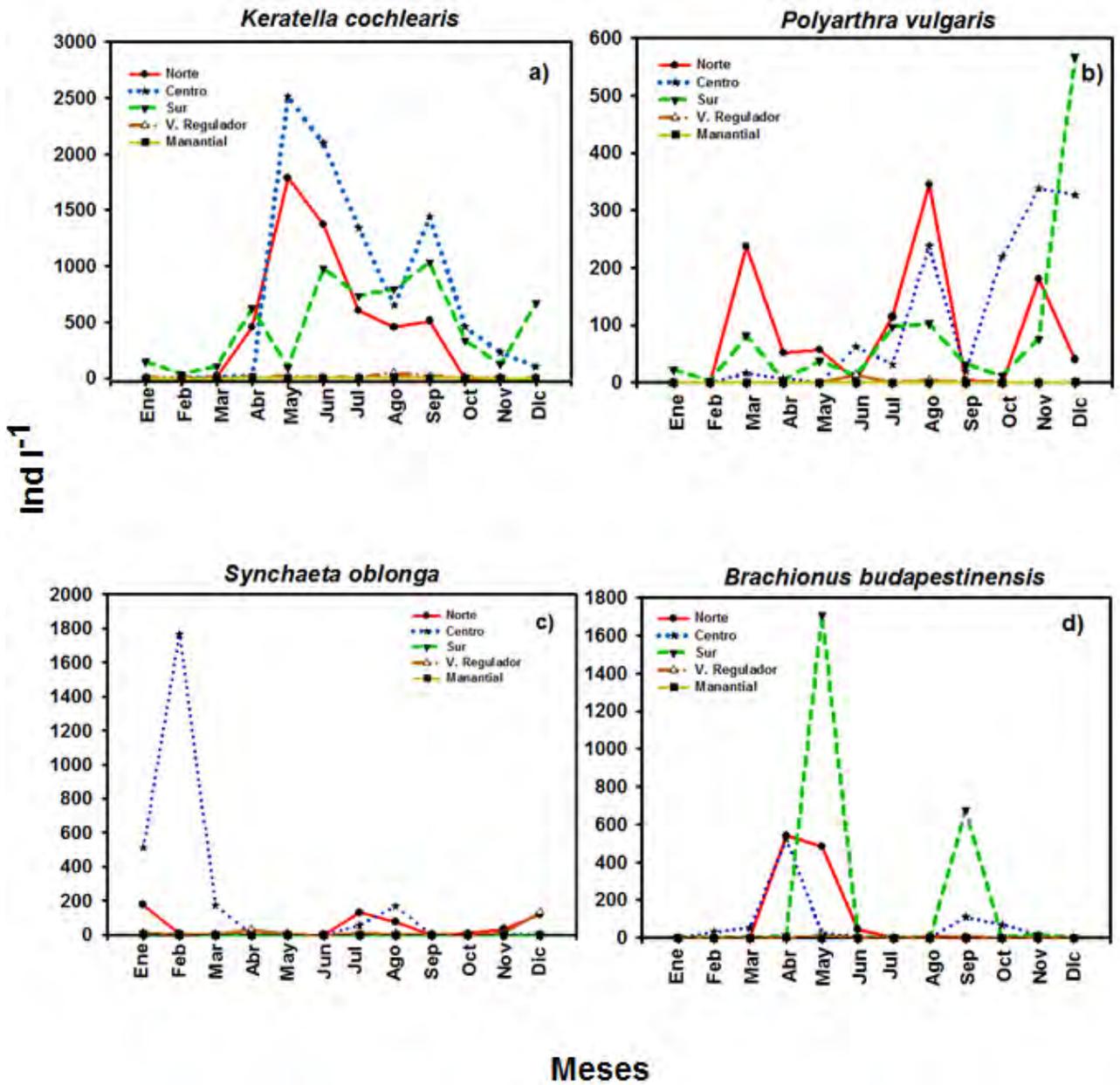


Fig. 8. Variación de la abundancia de *K. cochlearis* (a), *P. vulgaris* (b), *S. oblonga* (c) y *B. budapestinensis* (d) en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente (Nótese la diferencia de escalas).

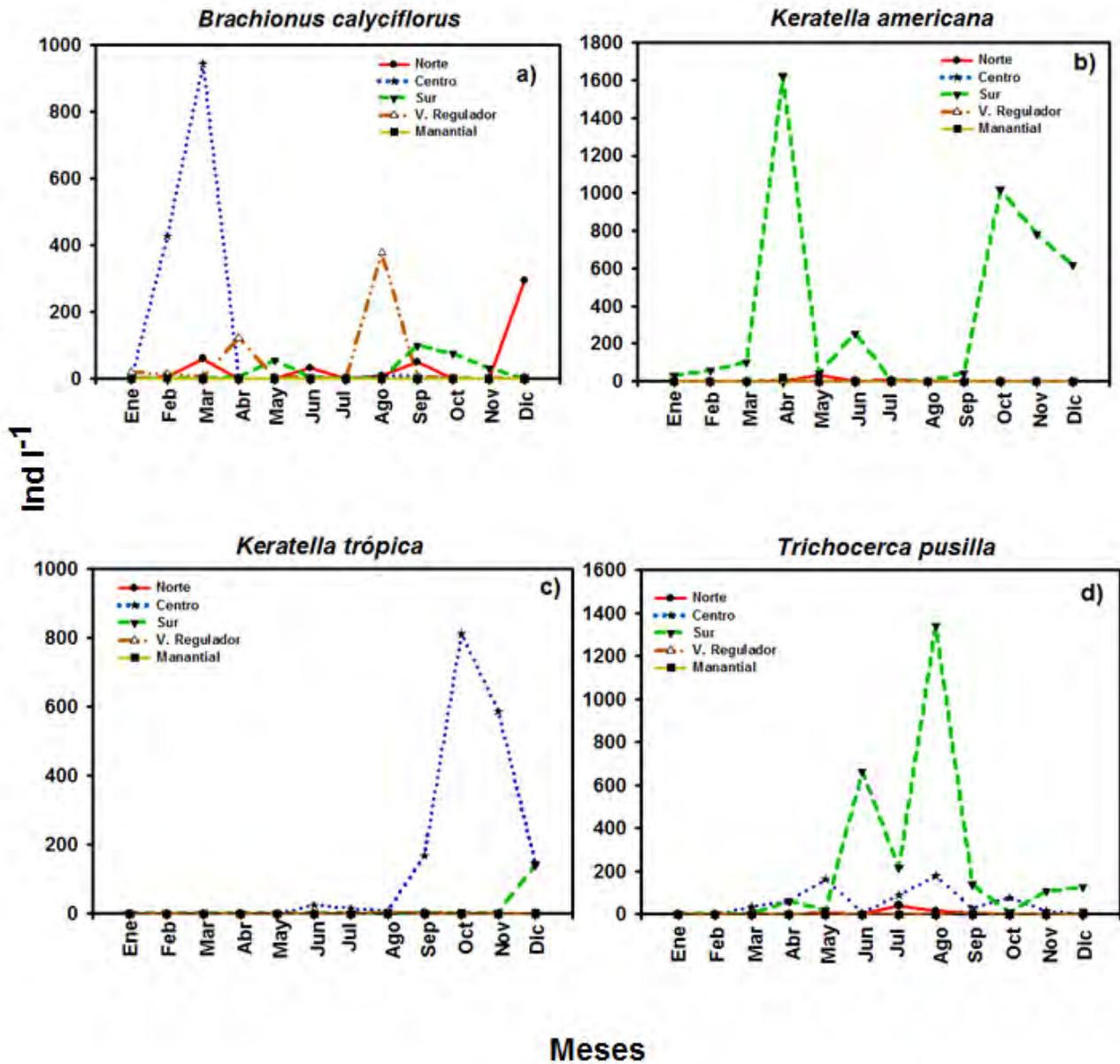


Fig. 9. Variación de la abundancia de *B. calyciflorus* (a), *K. americana* (b), *K. trópica* (c) y *T. pusilla* (d) en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente (Nótese la diferencia de escalas).

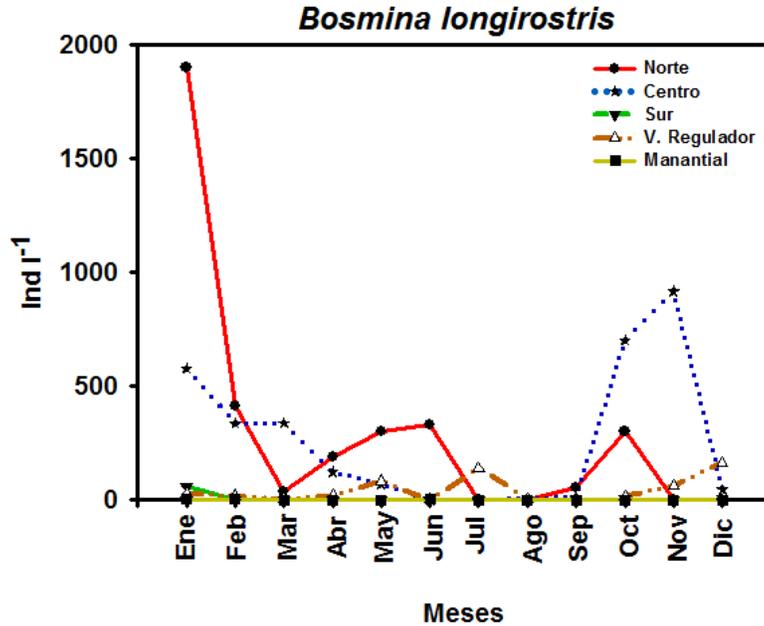


Fig. 10. Variación de la abundancia de *B. longirostris* en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente.

VARIACIÓN TEMPORAL

Considerados globalmente como los organismos más numerosos, los rotíferos fueron el grupo del zooplancton que presentó las mayores abundancias en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente. La variación temporal de las densidades totales de rotíferos se comportó de manera diferente en cada uno de los lagos. En la Fig. 11 se muestra esta variación para los cuatro lagos (se excluye el Manantial que tuvo valores extremadamente bajos de entre 11 y 135 ind l⁻¹). A pesar de las diferencias, es posible observar que en todos los casos se presentaron picos de abundancia durante la época más cálida (mayo-agosto), con valores de 2562 ind l⁻¹ (Norte-mayo), 2707 ind l⁻¹ (Centro-mayo) y 488 ind l⁻¹ (Vaso-agosto). En la época fría y seca (octubre-marzo) en general las densidades fueron menores, aunque en el lago Sur se presentó el máximo general (3319 ind l⁻¹) en octubre y en el lago Centro se presentó la tercera densidad más elevada (2223 ind l⁻¹) en febrero. Para el caso del Vaso Regulator se puede observar que las densidades fueron considerablemente menores, siempre inferiores a los 500 ind l⁻¹ (Fig. 11).

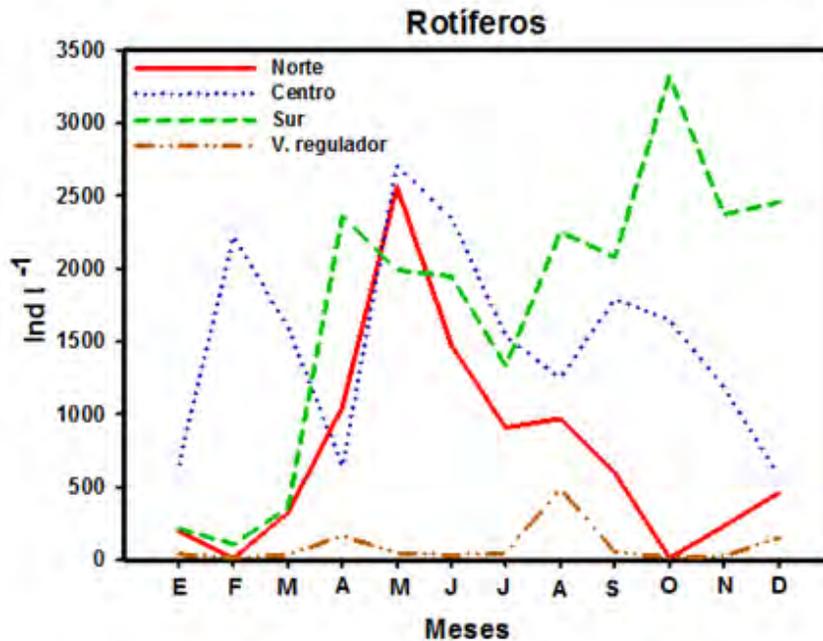


Fig. 11. Variación de las abundancias de rotíferos en los cuatro lagos de la Cantera Oriente a lo largo del año de muestreo

En el caso de los cladóceros el comportamiento fue aproximadamente el opuesto al de los rotíferos: los lagos Norte, Centro y Sur presentaron sus densidades máximas en la época fría, en enero (1918 ind l⁻¹), noviembre (949 ind l⁻¹) y enero (77 ind l⁻¹), respectivamente. Únicamente el Vaso Regulador tuvo su máximo en la época cálida (julio, 147 ind l⁻¹). En este caso los valores del lago Norte y Centro fueron considerablemente mayores, seguido del Vaso Regulador; y el lago que presentó las densidades más bajas de cladóceros fue el lago Sur. Aquí también se excluyó al Manantial pues sus densidades fueron muy bajas (2-16 ind l⁻¹) (Fig. 12).

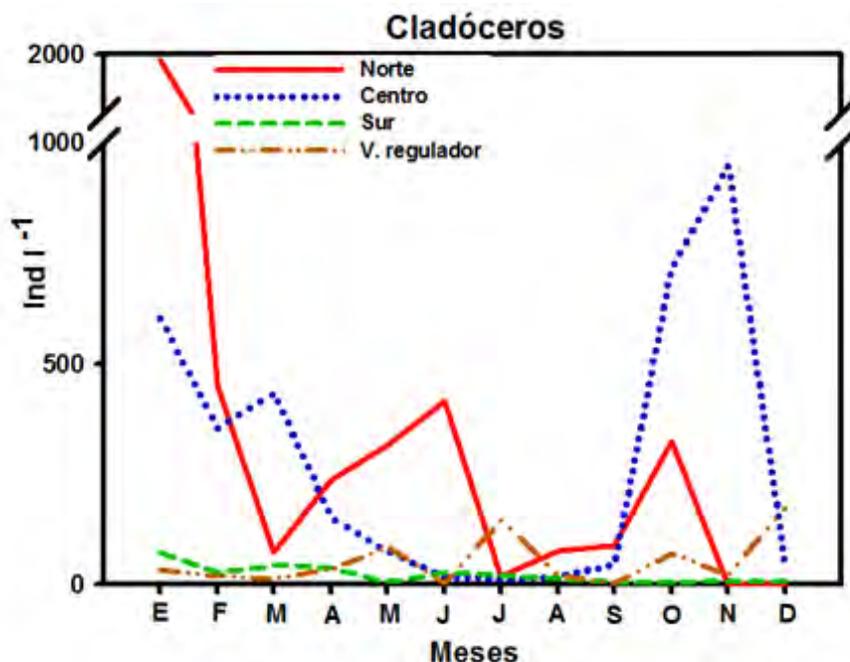


Fig. 12. Variación de las abundancias de cladóceros en los cuatro lagos de la Cantera Oriente a lo largo del año de muestreo.

VARIABLES AMBIENTALES

Tabla 3. Promedio y desviación estándar anual de los parámetros físicos y químicos de los cinco cuerpos de agua de la cantera Oriente.

Parámetro	Norte	Centro	Sur	V. Regulador	Manantial
Temperatura (°C)	16.6 ± 1.4	17.5 ± 1.4	18.8 ± 1.5	17.8 ± 0.9	17 ± 0.5
pH	7.6 ± 0.5	8.5 ± 0.6	9.3 ± 0.3	8.2 ± 0.5	7.3 ± 0.2
Conductividad (µS cm ⁻¹)	405.5 ± 17.2	384.9 ± 32.3	380.4 ± 20.3	394.2 ± 13.7	401 ± 26.1
% Sat. OD	122 ± 34.7	183.4 ± 53.3	227.7 ± 28.9	178.6 ± 41.8	89.6 ± 11

Para los cuerpos de agua de la Cantera Oriente durante el año de muestreo la temperatura promedio anual para el lago Norte fue de 16.6 °C siendo el que presento la menor temperatura, al contrario del lago Sur que presento la mayor con 18.8 °C. Respecto al pH en estos cuerpos de agua de la Cantera Oriente el lago Sur obtuvo el mayor valor con 9.3 unidades y el Manantial obtuvo el menor pH con 7.3

unidades. El promedio anual de los valores de conductividad a lo largo del año en el lago Norte se presentó la mayor conductividad de $405.5 \mu\text{S cm}^{-1}$ y el lago Sur registró la menor conductividad con $380.4 \mu\text{S cm}^{-1}$. Finalmente respecto al promedio del porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto el lago Sur fue el que obtuvo la mayor saturación con 227.7 % y el que registro la menor saturación de O.D. fue el Manantial con 89.6 % (Tabla 3).

VARIABLES ASOCIADAS AL ESTADO TRÓFICO

La profundidad del disco de Secchi medida en los cinco cuerpos de agua mostró que el lago Norte tuvo un intervalo de variación de 50 a 120 cm, el lago Centro de 25 a 100 cm, el Manantial de 43 a 80 cm y el lago Sur con 17.5 a 50 cm siendo el que tuvo la menor transparencia, al contrario del Vaso Regulador donde se obtuvo la mayor transparencia con 100 a 140 cm. De acuerdo al análisis de Kruskal-Wallis hay diferencias significativas entre los cinco cuerpos de agua ($K_{(60,4)} = 42.4$) ($P < 0.000$).

El lago Sur mostró diferencias significativas con el lago Norte (Duncan = 26.5, $P < 0.05$), el lago Centro (Dunn = 21.2 $P < 0.05$), el Vaso Regulador (Dunn = 45.5 $P < 0.05$) y Manantial (Dunn = 18.2 $P < 0.05$), además de ser también significativamente diferente el lago Centro con el Vaso Regulador (Dunn = 24.2 $P < 0.05$) (Fig. 13).

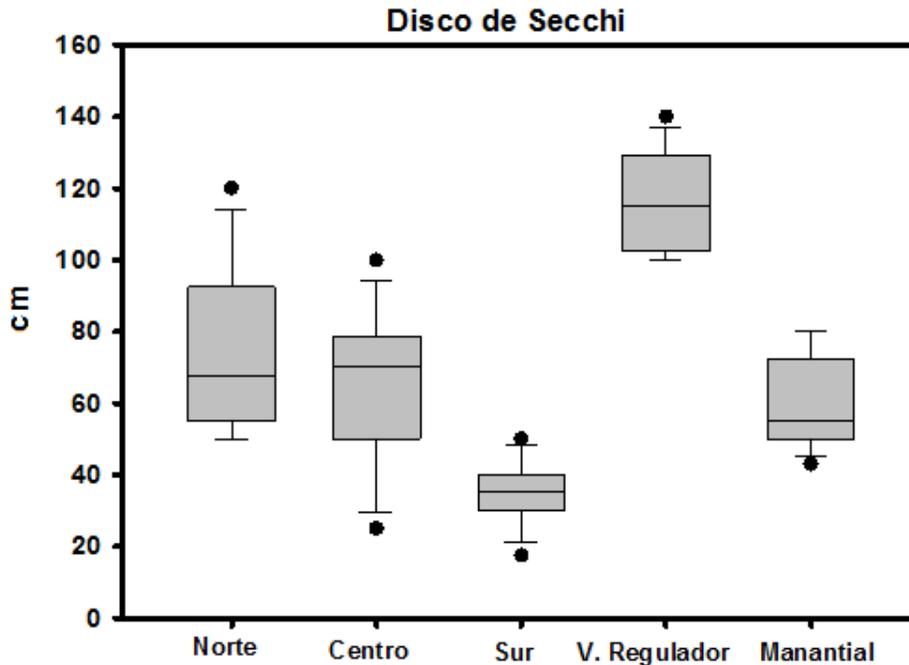


Fig. 13. Diagrama de caja y bigote. Variación de la profundidad de visibilidad del disco de Secchi para los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente. El símbolo ● representa datos extremos.

La concentración de clorofila *a* medida durante el año de muestreo fue variable para los cinco cuerpos de agua; tal es el caso del Manantial que tuvo los valores más bajos con un intervalo de 1 a 8 $\mu\text{g l}^{-1}$, seguido del Vaso Regulador (4 a 56 $\mu\text{g l}^{-1}$); el lago Sur mostró tener los valores más altos de clorofila *a* con un promedio de 166 $\mu\text{g l}^{-1}$, presentando un dato extremo en el mes de mayo de 622 $\mu\text{g l}^{-1}$; el lago Centro tuvo un intervalo de 16 a 278 $\mu\text{g l}^{-1}$, mientras que en el lago Norte la concentración de clorofila varió de 7 a 147 $\mu\text{g l}^{-1}$. El análisis de Kruskal-Wallis mostró que hay diferencias significativas entre los cuerpos de agua ($K_{(60,4)} = 42.9$, $P < 0.000$).

El Manantial fue significativamente diferente con el lago Norte (Duncan = 26.6 $P < 0.05$), el lago Centro (Dunn = 33.2 $P < 0.05$) y el lago Sur (Dunn = 42.3 $P < 0.05$); el Vaso Regulador fue significativamente diferente al lago Sur (Dunn = 27.7 $P < 0.05$) y al lago Centro (Dunn = 18.6 $P < 0.05$) (Fig. 14).

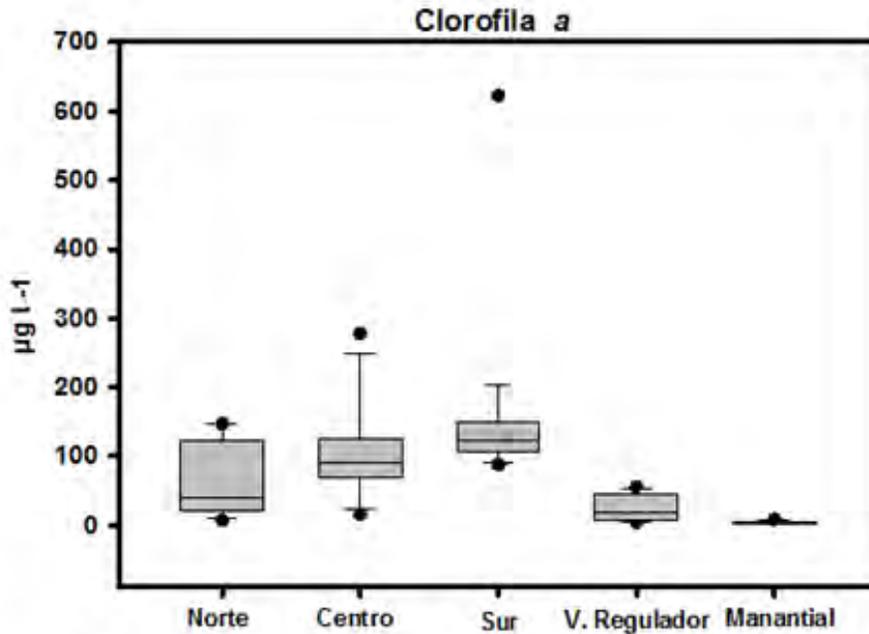


Fig. 14. Diagrama de caja y bigote de las concentraciones de Clorofila a en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente. El símbolo • representa datos extremos.

Las concentraciones de fósforo total (P-total) medidas en el año de muestreo mostraron que el Manantial obtuvo los valores más bajos, al igual que el Vaso Regulador con un promedio de 0.15 y 0.16 mg l⁻¹ respectivamente. Para el lago Sur la concentración promedio fue la mayor con 0.57 mg l⁻¹, seguido del lago Centro con 0.41 mg l⁻¹. Para el lago Norte el promedio fue de 0.30 mg l⁻¹. De acuerdo al análisis estadístico hay diferencias significativas entre los lagos ($K_{(60,4)} = 32.1$) ($P < 0.000$). El Manantial fue significativamente diferente al lago Norte (Duncan = 17.3 $P < 0.05$), Centro (Dunn = 24.4 $P < 0.05$) y Sur (Dunn = 31.2 $P < 0.05$), de la misma manera el Vaso Regulador fue igualmente diferente al lago Norte (Dunn = 17.5 $P < 0.05$), lago Centro (Dunn = 24.6 $P < 0.05$) y lago Sur (Dunn = 31.5 $P < 0.05$) (Fig. 15).

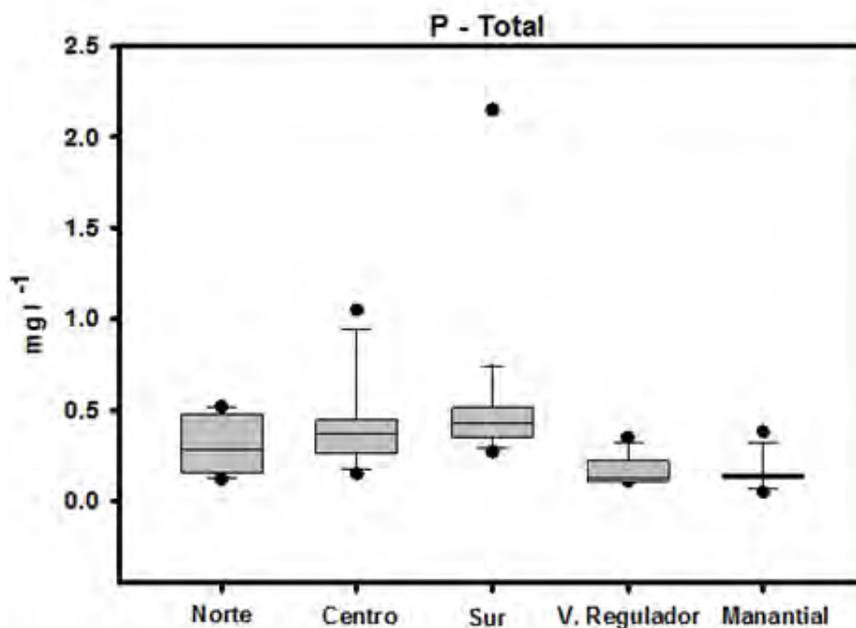


Fig. 15. Diagrama de caja y bigote de las concentraciones de Fósforo total medidas en los cinco cuerpos de agua de la cantera oriente. El símbolo ● representa datos extremos.

Las concentraciones de Nitrógeno total (N-total) mostraron que el Manantial presentó un intervalo de 6.23 a 9.32 mg l⁻¹, el Vaso regulador de 6.8 a 8.61 mg l⁻¹, el lago Sur 4.68 a 12.87 siendo este lago en donde se registró el valor más alto. El lago Centro registró de 5.23 a 9.74 mg l⁻¹ y finalmente en el lago Norte se registraron valores de 4.29 a 7.82 mg l⁻¹, siendo las concentraciones más bajas. El análisis de Kruskal-Wallis arrojó diferencias significativas entre los ccuerpos de agua ($K_{(60,4)} = 18.5$) ($P < 0.001$).

El lago Norte fue significativamente diferente al Vaso Regulador (Dunn= 28.4 $P < 0.05$) y Manantial (Dunn= 17.8 $P < 0.05$) y el lago Sur fue significativamente diferente al Vaso Regulador (Dunn= 21.7 $P < 0.05$) (Fig. 16).

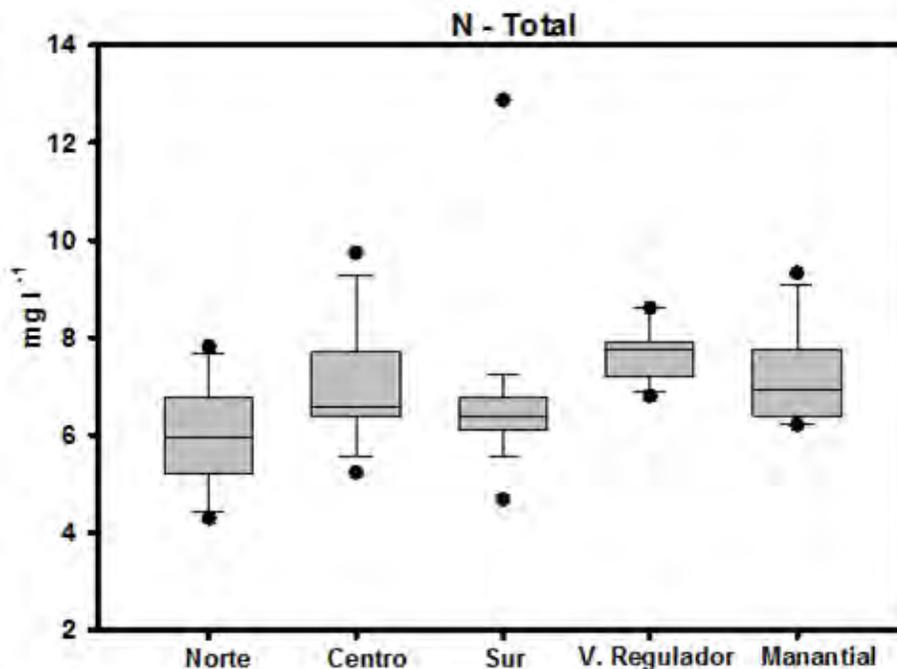


Fig.16. Diagrama de caja y bigote de las concentraciones de Nitrógeno total en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente. El símbolo • representa datos extremos.

ESTADO TRÓFICO

De acuerdo al índice propuesto por Carlson (1977) se determinó el estado trófico de los cuerpos de agua de la Cantera Oriente, utilizando el promedio de los valores de visibilidad del disco de Secchi y de concentración de clorofila a (según Ejsmont-Karabin 2012). Los valores del índice variaron entre 28 y 63 unidades, ubicando a los cuerpos de agua entre el estado mesotrófico y el eutrófico. Los valores del índice para los lagos Norte, Centro y Vaso Regulador señalaron una variación del estado trófico desde mesotrofia hasta eutrofia. Para el lago Sur siempre se encontraron condiciones eutróficas, mientras que el Manantial fue siempre mesotrófico. Sin embargo, tomando en cuenta el promedio anual de los cuerpos de agua, el índice nos muestra que los lagos Norte, Centro y Sur son eutróficos con un promedio de 66, 71 y 77 unidades, mientras que el Vaso Regulador y Manantial fueron mesotróficos con un promedio de 58 y 54 unidades (Fig.17).

En los resultados obtenidos del índice propuesto por Ejsmont-Karabin (2012), basados en la abundancia de rotíferos totales, los cuerpos de agua de la Cantera

Oriente se encontraron dentro de 3 estados tróficos: mesotrófico, meso-eutrófico y eutrófico. El lago Norte estuvo entre mesotrófico y eutrófico; los lagos Centro y ISur fueron de meso-eutróficos a eutróficos, mientras que el Vaso Regulador y Manantial variaron de mesotróficos a meso-eutróficos. Considerando el valor del promedio anual de los cuerpos de agua, el índice nos indica que el lago Norte es meso-eutrófico con un promedio de 51 unidades, los lagos Centro y Sur son eutróficos con 58 y 57 unidades, mientras que el Vaso regulador y Manantial están en el estado mesotrófico con 40 y 35 unidades (Fig.18).

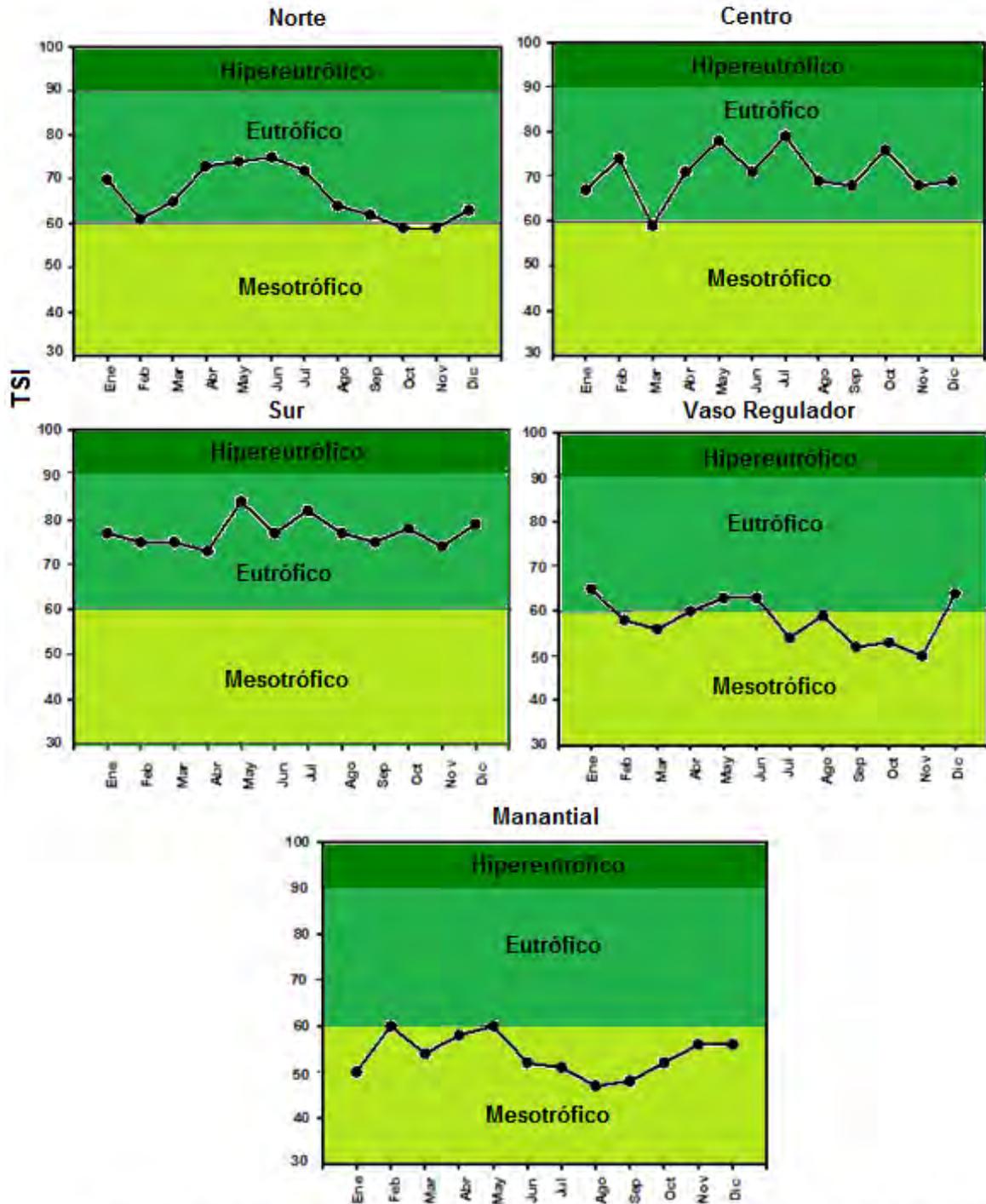


Fig. 17. Índice del estado trófico de Carlson (1977) de los cuerpos de agua de la Cantera Oriente. Escala de valores: Oligotrófico <30, Mesotrófico 30-60, Eutrófico 60-90, Hipereutrófico 90-100

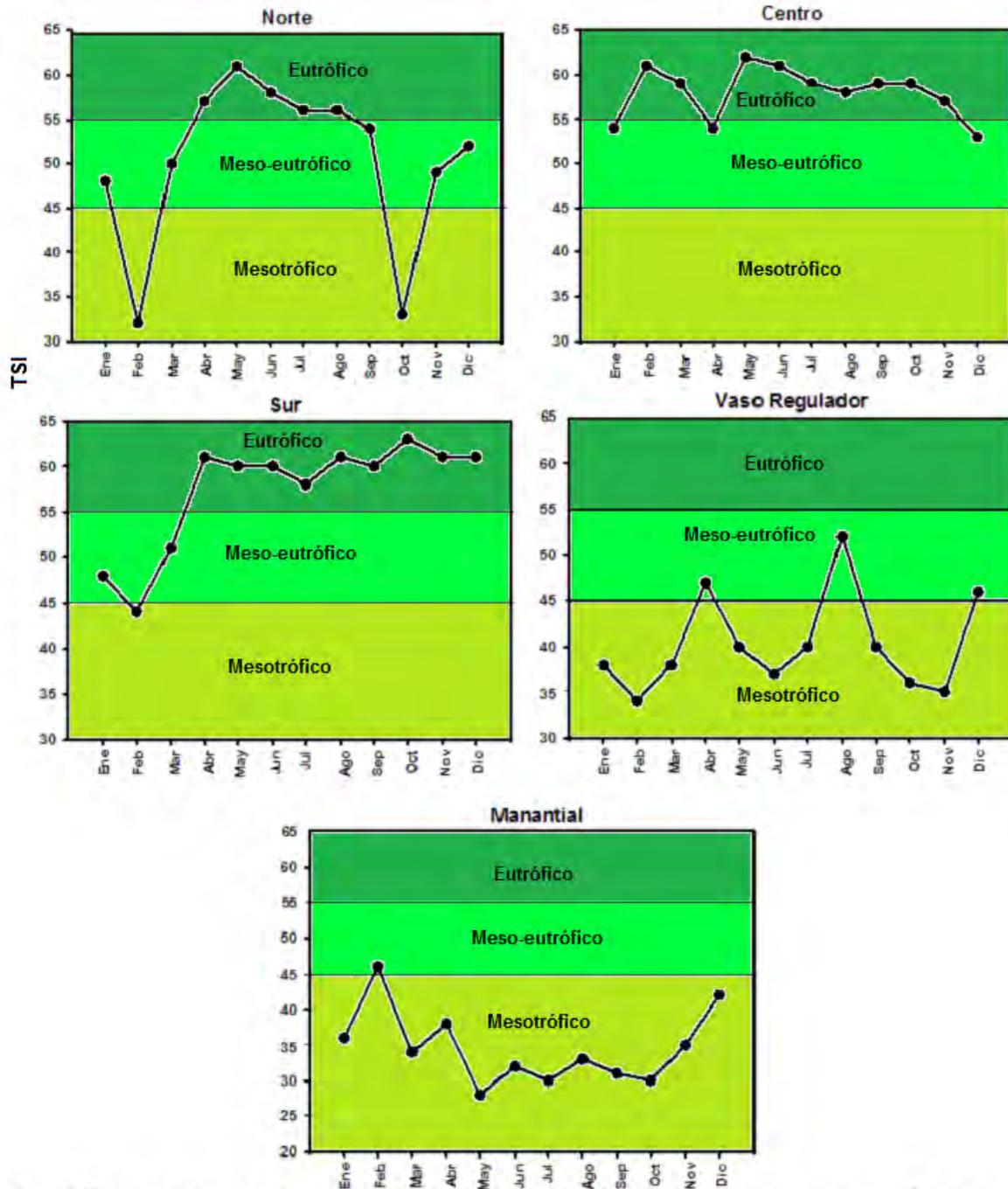


Fig. 18. Índice del estado trófico de Ejsmont – Karabin (2012) de los cuerpos de agua de la Cantera Oriente. Escala de valores: Mesotrófico <math>< 45</math>, Meso-eutrófico 45-55, Eutrófico 55-65, Hipereutrófico >65.

ANALISIS ESTADISTICOS

Para la comparación de la composición taxonómica de la comunidad del zooplancton en los cinco cuerpos de agua se aplicó el índice de similitud de Morisita, el cual mostró que el lago Norte y el lago Centro tienen la mayor similitud, seguidos del lago Sur con el lago Centro y lago Norte, y los lagos que presentaron la menor similitud fueron el Vaso Regulador y el Manantial, este último siendo el de mayor diferencia con el resto de los lagos (Fig. 19).

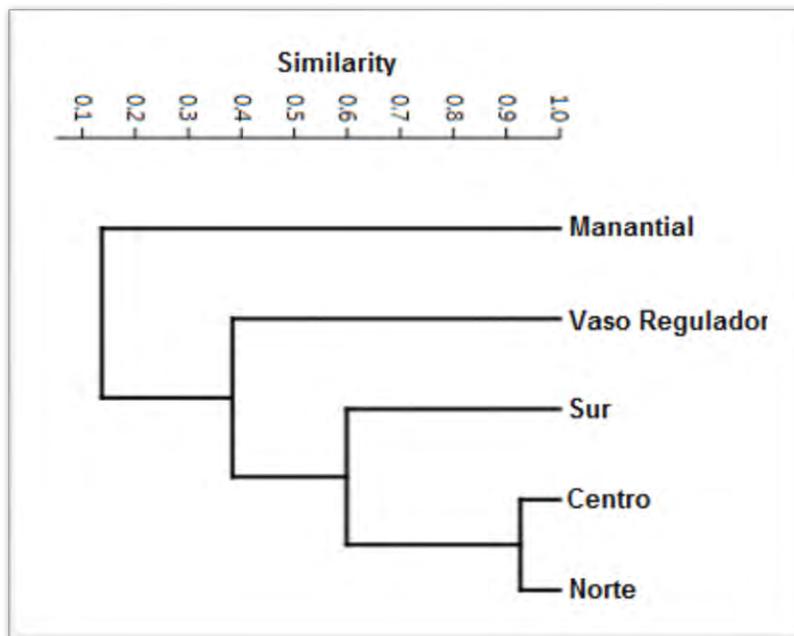


Fig. 19. Diagrama de similitud (Morisita) de las abundancias de rotíferos y cladóceros en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente. Enlace simple.

Por otro lado se elaboró un dendrograma jerárquico para asociar a las especies de rotíferos y cladóceros observadas, con base en sus densidades (Fig.20). El agrupamiento obtenido tuvo fuerte relación con las condiciones del estado trófico en que proliferan las especies. Las especies que están agrupadas en la parte azul corresponden a organismos asociados a condiciones poco productivas como las que existieron en el Manantial y Vaso Regulador, entre las cuales se encuentran 15 rotíferos y 1 cladóceros. Este cladóceros (*S. armata freyi*) únicamente se observó habitando en el Manantial. El grupo de color verde claro son especies que

estuvieron ampliamente distribuidas es decir que se encontraron en la mayoría de los sitios pero con bajas densidades, y por lo tanto su presencia no señala un estado trófico particular. Este grupo se formó por 15 especies de rotíferos y 4 cladóceros. Finalmente, el grupo de color verde intenso incluye especies que están asociadas a condiciones eutróficas y muy eutróficas en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente, integrado por 10 rotíferos y 2 cladóceros.

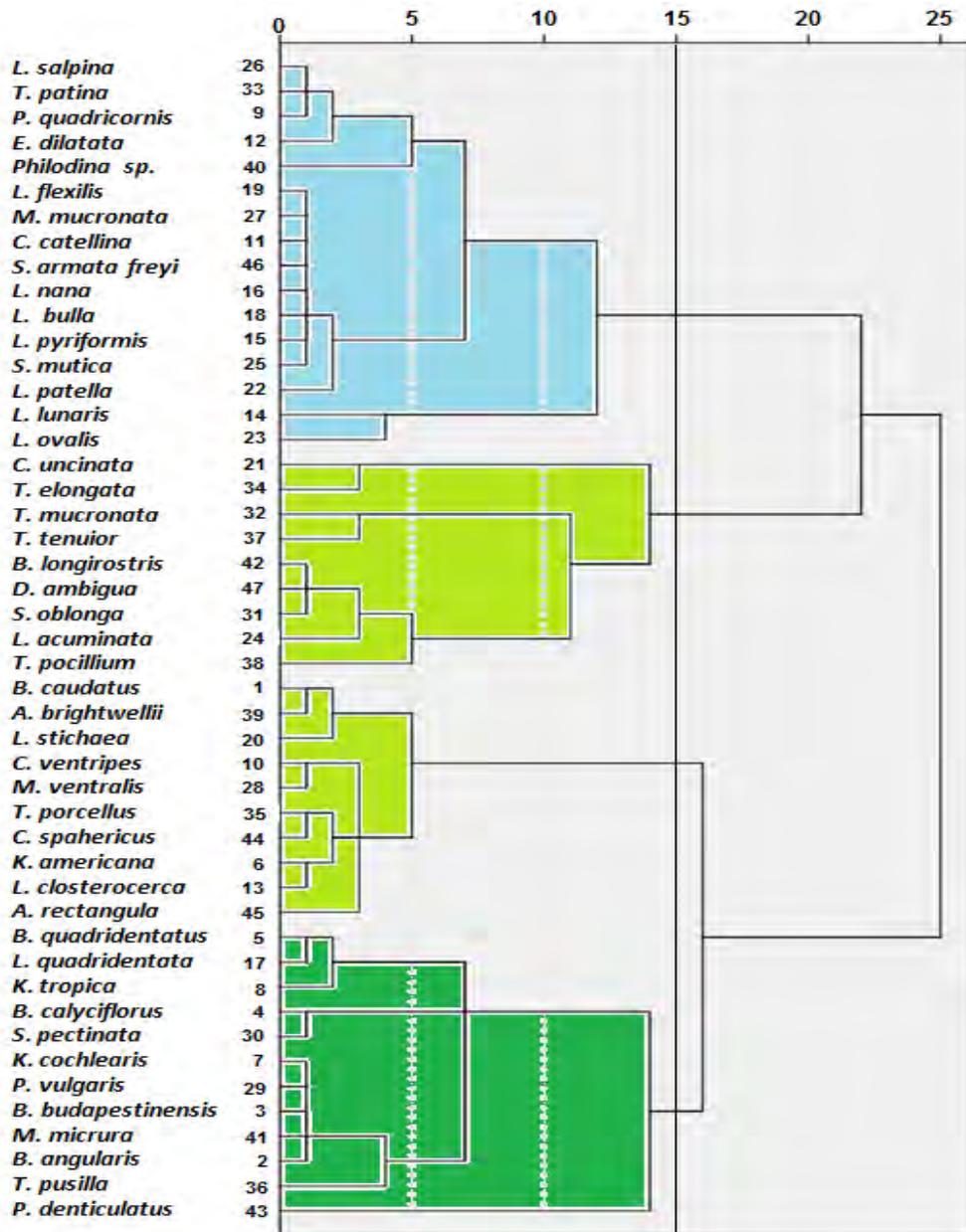


Fig. 20. Dendrograma de clasificación jerárquica de las especies de rotíferos y cladóceros de la Cantera Oriente. Similitud: Coeficiente de Correlación de Pearson. Método de agrupación de variación intergrupos.

Para la comparación de las condiciones físicas y químicas entre los lagos, se realizó un análisis de clasificación jerárquica mediante el coeficiente de correlación de Pearson, del cual tuvo un resultado similar al obtenido con los datos biológicos y el índice de Morisita (Fig.21). Los resultados mostraron que el lago Norte y el lago Centro son los de mayor similitud (98%) y a ese grupo se une, con un grado menor de similitud (96%), el lago Sur; un segundo grupo lo componen el Vaso Regulador y el Manantial, los cuales no muestran un parecido tan elevado (90%) entre ellos, pero el grupo que forman es bastante diferente (76%) al de los tres lagos restantes.

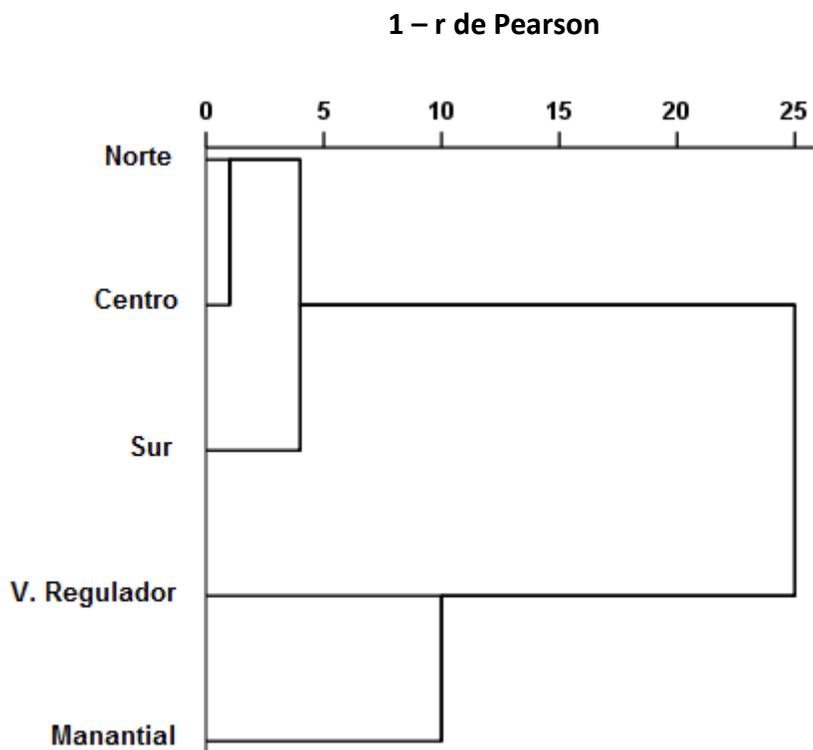


Figura. 21. Dendrograma de clasificación jerárquica de los lagos de la Cantera Oriente con base en los datos de los parámetros físicos y químicos. Similitud: Coeficiente de Correlación de Pearson. Método de agrupación: variación intergrupos.

DISCUSION

En México, hasta el año 2005 se han reportado 27 familias de rotíferos, con 68 géneros y 283 especies (Serranía, 2006). En el presente estudio se encontraron 40 especies de rotíferos pertenecientes a 18 géneros y 12 familias lo que corresponde a nivel de familias el 44.4 %, géneros 26.4 % y especies al 14.1% respectivamente. Para el grupo de los cladóceros aproximadamente se han registrado 150 especies en nuestro país, aunque debe considerarse que del total de las cuencas hidrográficas presentes en el territorio nacional se han analizado menos del 1% (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008).

En la ciudad de México se han estudiado cuerpos de agua urbanos donde se han realizado diversos trabajos, entre estos los relacionados con la diversidad de rotíferos. Entre los estudios realizados sobresalen los del lago de Chapultepec, el lago del Parque Tezozomoc y los canales de Xochimilco, entre otros. En el presente trabajo sobre los cuerpos de agua en la Cantera Oriente los rotíferos fueron el grupo del zooplancton con mayor abundancia y riqueza ya que se encontró un total de 40 especies, lo que corresponde a una riqueza alta en comparación con otros cuerpos de agua urbanos. Serranía (2006) analizó la riqueza de especies de rotíferos en cinco cuerpos de agua de la Ciudad de México: en el Club España registro 37 especies, en el lago artificial del parque Tezozomoc 21 taxa, en la pista de canotaje de Cuernavaca 15 y en el lago de Chapultepec sólo registró 5 especies. En contraste, en los canales de Xochimilco determinó 52 especies, mientras que Nandini *et al.*, (2005) encontraron 62 especies y Enríquez-García *et al.*, (2009) registraron 46 especies en el lago Huetzalin, también en Xochimilco. La riqueza específica de rotíferos planctónicos en la Cantera Oriente se encontraría en un sitio intermedio entre los datos registrados en los cuerpos de agua anteriormente mencionados. Debe tomarse en cuenta que los cuerpos de agua de la Cantera Oriente son muy jóvenes (menos de 30 años de haberse formado) y a pesar de ello presentan una alta riqueza específica en varios grupos de organismos, entre otros en los protozoos y las algas (Lot, 2007).

Por otro lado, en un estudio realizado en el mismo sitio por González (2015) reporta para los cuerpos de agua de la Cantera Oriente 67 especies de rotíferos, de las cuales 34 especies coinciden en este trabajo, lo que corresponde al 60 % de la riqueza encontrada por este autor. También cabe mencionar que dentro de las especies registradas en este estudio está la presencia de los géneros *Synchaeta* y *Asplanchna* los cuales no son mencionados por González (2015) ya que las especies de estos géneros son típicamente planctónicas (Marce *et al.*, 2005) y los muestreos realizados por este autor fueron en la parte litoral. Gracias a la mayor diversidad de nichos, favorecidos por la presencia de varias especies de macrofitas acuáticas, la riqueza de especies de rotíferos en la zona litoral es mayor que en la pelágica (Lampert & Sommer, 1997; Lot, 2007).

Los cuerpos de agua de la Cantera Oriente presentaron una temperatura promedio anual de 16.6°C a 18.8°C por lo que de acuerdo con Bermúdez (2010) se consideran como aguas subtropicales; por su ubicación latitudinal podrían clasificarse como cuerpos de agua tropicales pero por su altitud, y por la influencia de la baja temperatura que presentan los manantiales, las temperaturas que presentan pueden estar cercanas a las de los cuerpos de agua templados (Lewis, 1996). Sin embargo, la caracterización ambiental de la Cantera Oriente es similar a diversos lagos en México, con características subtropicales y tropicales (Bermúdez, 2010), tales como las presentes en el lago de Xochimilco (Nandini *et al.*, 2005; Jiménez, 2007 y Enríquez-García, 2009), lago de Chapultepec (Muro, 1994), lago del parque de Tezozomoc (Guzmán, 2012), ya que en estos estudios se han presentado temperaturas desde los 14 hasta los 20°C parecidas a las registradas en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente, además el pH, la profundidad y las condiciones de eutrofización son semejantes (Tabla 3).

Los rotíferos dominan el zooplancton en lagos tropicales y subtropicales, y geográficamente representan el grupo más extendido por tener estrategias como la reproducción partenogenética, ciclo de vida corto, tamaño pequeño, lo que les permite una distribución amplia y la posibilidad de colonizar rápidamente ambientes perturbados (Gallardo-Pineda, 2013).

En el presente estudio las especies dominantes fueron *Keratella cochlearis*, *Polyarthra vulgaris*, *Synchaeta oblonga*, *Brachionus budapestinensis*, *Brachionus calyciflorus*, *Keratella americana*, *Keratella tropica* y *Trichocerca pusilla*. La mayoría de estas especies pertenecen a la familia Brachionidae, la cual es considerada como una familia común en cuerpos de agua de México (García-Morales y Elías-Gutiérrez, 2004). Sládeček (1983) menciona que ciertas especies de la familia Brachionidae están restringidas a climas cálidos, por lo que los géneros *Brachionus* y *Keratella* suelen ser típicamente dominantes en cuerpos de agua tropicales (Merayo y González, 2010; Lewis, 1996), además de mencionar que en zonas tropicales, el zooplancton es más abundante.

Por otro lado, algunos géneros de rotíferos son considerados como indicadores de la calidad y del estado trófico de los cuerpos de agua. El género *Brachionus* incluye numerosas especies típicas de ambientes eutróficos (Figuroa-Sánchez *et al.*, 2014), además de que una riqueza alta de especies de este género puede ser considerada como un indicador biológico de aguas eutróficas (Sládeček (1983); por lo que se considera que la presencia del género *Brachionus* en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente es un indicador de condiciones eutróficas, siendo dominante en los cuerpos de agua más productivos.

También se ha observado que el género *Keratella*, en especial *K. cochlearis*, se encuentra relacionada al estado trófico, como lo mencionan Castellanos *et al.*, (2014) y Marce *et al.*, (2005), ya que por su fácil adaptación a las condiciones ambientales se encuentra comúnmente en ambientes eutróficos (Margalef, 1983); además, Bastida-Navarro y Mondenutti, 2007 (en Arora & Mehra, 2003) mencionan que esta especie está asociada a las concentraciones de nutrientes y clorofila *a* y se ha observado que prefiere alimentarse de bacterias, flagelados y pequeñas algas verdes.

Las especies del género *Keratella* observadas en la Cantera Oriente mostraron una presencia sucesiva a lo largo del año. En la época cálida y lluviosa *K. cochlearis* y *K. americana* fueron más abundantes, mientras que *K. tropica* presentó abundancias mayores en la época seca fría. Margalef (1983) menciona que *K.*

cochlearis es un especie planctónica común en regiones templadas, sin embargo Jiménez (2007) y Enríquez-García *et al.* (2009) la han reportado en regiones tropicales, además de ser muy común en cuerpos de agua de México. Aguilar (2013) menciona que las temperaturas más cálidas favorecen la presencia de algunas especies y que solo se presentan en una época, por lo que al igual que en los lagos templados, existen cambios sucesionales que están asociados a determinadas épocas climáticas; esto podría explicar el comportamiento de las especies de *Keratella*, donde una especie se mantiene muy abundante mientras que las otras presentan densidades bajas.

Con respecto a *P. vulgaris* es una especie de amplia distribución y que se encuentra durante todo el año (Trejo, 2012); sin embargo, cabe mencionar que a pesar de que se encontró abundantemente durante todo el muestreo, esta especie estuvo inversamente relacionada con la presencia de *K. cochlearis*, ya que cuando *K. cochlearis* aumentaba su abundancia *P. vulgaris* se encontraba en abundancias bajas, lo cual es similar a lo mencionado por Bastida-Navarro y Mondenutti (2007) quienes atribuyen esta situación a una competencia por el alimento.

Para el caso del género *Trichocerca*, sus especies se han utilizado como indicadores del estado trófico y su dominancia en un cuerpo de agua indica condiciones de eutrofia (Figueroa, 2015); sin embargo, según Sládeček (1983) este género se encuentra relacionado con la oligotrofia y el número de especies de *Trichocerca* se emplea como un factor de condiciones oligotróficas en el índice trófico propuesto por este mismo autor. Se ha observado que algunos rotíferos de este género están asociados a ambientes enriquecidos orgánicamente, es decir ambientes eutróficos; sin embargo, se observan también en hábitats oligotróficos por lo que son consideradas como especies tolerantes; tal es el caso de *Trichocerca pusilla* a la cual Arora (1964) e Imobee & Adeyinka (2010) asocian a condiciones eutróficas y que Guzmán (2012) encontró con gran abundancia en mesocosmos del lago hipertrófico Tezozomoc. En contraparte, apoyando la asociación que hace Sládeček (1983) del género *Trichocerca* con condiciones oligotróficas, se encontró

a la especie *Trichocerca elongata* exclusivamente en el Vaso Regulador, cuerpo de agua con baja producción primaria.

S. oblonga fue una de las especies más abundantes del género *Synchaeta*, en la Cantera Oriente. Esta es una especie de amplia distribución que se encuentra en aguas con condiciones eutróficas (De Manuel, 2000); Serranía, (1996) menciona que este género se encuentra en regiones templadas, siendo *S. oblonga*, *S. pectinacta* y *S. tremula* las especies más representativas; sin embargo también hay registros del género *Synchaeta* en ambientes tropicales (Immobé & Adeyinka, 2010).

En general, las especies dominantes encontradas en este estudio son típicas de ambientes enriquecidos, ya que algunas de estas especies también se han encontrado en cuerpos de agua eutróficos por Jiménez (2007) y Nandini *et al.*, (2005) que registraron a *K. cochlearis*, *K. tropica*, *P. vulgaris*, *B. budapestinensis* y *B. calyciflorus* en los canales de Xochimilco, así como también Castellanos *et al.*, (2014) que registran a *K. tropica* y *B. budapestinensis*; Enríquez-García, *et al.*, (2009) encontraron a *B. calyciflorus* y *P. vulgaris* como las especies más abundantes en lago Huetzalin de Xochimilco, y también Guzmán (2012) registró a *P. vulgaris*, *B. calyciflorus* y *T. pusilla* en el parque Tezozomoc, y Figueroa (2015) a *K. cochlearis* y *P. vulgaris* en el lago de Zumpango.

En México el número de especies conocidas de los cladóceros del zooplancton sigue en fase de crecimiento, ya que los trabajos con relación a la densidad y distribución de cladóceros han sido muy escasos; algunos autores reportan entre 5 y 10 especies por cuerpo de agua, con abundancias que van desde 1 a 100 ind l⁻¹ (Figueroa, 2015). En el presente trabajo se registraron 7 especies, por lo que este valor es mayor con respecto a los trabajos realizados anteriormente en los cuerpos de la Cantera Oriente por Villalobos *et al.*, (2007) y Bermúdez, 2010, quienes registraron 5 y 6 especies, de las cuales solo tres coinciden en este trabajo. Para otros lagos del D.F., Muro (1994) registró 5 especies en los tres lagos de Chapultepec y Nandini *et al.*, (2005) encontraron 7 taxa en el lago de Xochimilco,

por lo que podemos considerar que los cuerpos de la Cantera Oriente tienen una riqueza alta en cuanto a este grupo.

La especie con mayor abundancia y presencia más amplia durante el periodo de estudio fue *Bosmina longirostris*, lo cual coincide con lo registrado por Bermúdez (2010) quien la reporta como una de las especies más abundantes para el mismo sitio. También se ha observado su presencia abundante en otros cuerpos de agua similares, como la laguna de Zumpango (Domínguez, 2006).

El crecimiento de esta especie se ve favorecido, ya que tiene preferencia por climas tropicales y subtropicales (Bermúdez, 2010) por lo que esto se relaciona con los cuerpos de agua de la Cantera Oriente ya que se encuentran dentro de esa categoría.

Margalef, (1983) y Marce *et al.*, (2005) consideran a *B. longirostris* como una especie de amplia distribución, ubicada en el plancton limnético y propia de ambientes eutrofizados; González (1987) y Margalef (1983) mencionan que el grupo de los Bosmínidos es importante ya que pueden llegar a ser importantes indicadores de condiciones limnológicas, pues se ha observado que cuando las aguas son más oligotróficas predomina *Eubosmina coregoni* y el proceso de eutrofización de muchos lagos va acompañado de la sustitución progresiva de *Eubosmina coregoni* por *B. longirostris*, evidencia que indica que *B. longirostris* es típica de ambientes eutróficos.

En los cuerpos de agua eutróficos es muy común encontrar organismos zooplanctónicos de talla pequeña (Jurgens, 1994). En este trabajo se pudo observar que durante todo el lapso de muestreo los rotíferos fueron el grupo que predominó, presentando sus máximas densidades en la época cálida; por el contrario, los cladóceros fueron más abundantes en la época fría. En cuanto al grupo de los rotíferos de acuerdo a lo mencionado por Palacios-Albarran (2013), la temperatura constituye un factor importante para su reproducción y las temperaturas óptimas oscilan entre 15 y 20 °C, Por otro lado, Zhao & Han (2006) mencionan que la estructura de la talla de los organismos se debe a factores como la temperatura, el estado trófico y la depredación por peces planctívoros, sin embargo se ha reportado

que el estado trófico juega un papel importante en sistemas eutróficos ya que favorece la dominancia de organismos de talla pequeña como los rotíferos (Wallace *et al.*, 2006). En el caso del grupo de los cladóceros es considerado uno de los grupos más vulnerables ante la depredación por peces, principalmente en lagos tropicales y subtropicales (Iglesias *et al.*, 2008) En los lagos de la Cantera Oriente se han encontrado dos especies de peces: la carpa común (*Carassius auratus*) y el mezcaltique de Zempoala (*Girardinichthys viviparus*) (Espinoza, 2007). Esta última especie, de tamaño pequeño, podría ser un depredador importante de los cladóceros, aunque algunos estudios la consideran principalmente entomófaga (Trujillo y Espinosa de los Monteros, 2006). Espinoza (2007) menciona que es abundante especialmente en los meses de mayo a julio, lo cual podría explicar las bajas densidades de cladóceros en la época cálida. También los alevines de la carpa podrían estar depredando a los cladóceros.

En cuanto a los parámetros físicos, la profundidad puede ser un parámetro esencial que tiene efectos en el comportamiento de la mayoría de los parámetros físicos, químicos y biológicos en el sistema y de acuerdo a esto podemos conocer el grado de eutrofización de un lago, ya que diversos autores como Lampert & Sommer (1997) relacionan a los lagos profundos con la oligotrofia y a los lagos poco profundos con la eutrofia. En los cinco sitios de muestro en la Cantera Oriente se registraron profundidades menores a los 1.5 m por lo que los cuerpos de agua de la Cantera Oriente son considerados lagos someros (Jiménez, 2007). La transparencia medida a través del disco de Secchi mostró que el lago Sur fue el que registró la menor transparencia a lo largo del año de muestreo (17.5– 50 cm), esta disminución de la transparencia se debió a la elevada cantidad de fitoplancton (con los consecuentes valores elevados de clorofila a) que existió en ese cuerpo de agua. Por otro lado el Vaso Regulador mostró la mayor transparencia (100-140 cm) ya que durante los muestreos se observó escasa cantidad de material en suspensión, además de que este cuerpo de agua presenta la mayor profundidad, por lo que no hubo limitación al paso de la energía luminosa hacia el fondo. En el caso del Manantial la penetración de la luz siempre alcanzó el fondo del cuerpo de agua, sin

embargo sus valores son menores a los del Vaso Regulator debido a que la profundidad de este sitio es menor al del Vaso.

Con relación a otros estudios realizados en cuerpos de agua urbanos como en los canales de Xochimilco y en el lago Huetzalin se han observado profundidades no mayores a los 1.5 m de profundidad y con valores de transparencia menores a los 90 cm (Jiménez, 2007; Enríquez - García *et al.*, 2009) incluso en otros lagos como el lago de Zumpango o los lagos de Chapultepec se han reportado valores menores a 20 cm (Domínguez, 2006; Alcocer & Bernal-Brooks, 2010).

Con respecto a la clorofila *a* los valores promedio van desde los 3.2 $\mu\text{g l}^{-1}$ hasta los 165.5 $\mu\text{g l}^{-1}$; estos valores fueron variables dependiendo el sitio de muestreo, donde las menores concentraciones se registraron en el Manantial y las más altas en el lago Sur, lo que resulta similar a lo encontrado por González (2015) en el mismo sitio de estudio donde registra valores desde 0.38 a 126.9 $\mu\text{g l}^{-1}$. Estas variaciones en las concentraciones de clorofila *a* pueden deberse a la ubicación de los cuerpos de agua, donde el lago Sur se encuentra más expuesto a la radiación solar, por lo tanto durante todo el muestreo se observó la presencia de microalgas dándole un color verdoso; sin embargo el Manantial se encuentra en una zona donde hay poca radiación solar debido a la vegetación arbórea que se encuentra a su alrededor. Para otros cuerpos de agua como el parque Tezozomoc (López, 2012) se han registrado valores que oscilan entre 117.8 $\mu\text{g l}^{-1}$ a 135.1 $\mu\text{g l}^{-1}$ y Oliva *et al.*, 2008 para el mismo sitio registraron valores que oscilan desde los 100 $\mu\text{g l}^{-1}$ a 1320 $\mu\text{g l}^{-1}$ y la laguna de Zumpango que ha registrado hasta los 100 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Domínguez, 2006). De acuerdo a los valores registrados en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente y en comparación con otros cuerpos de aguas similares Oliva *et al.*, (2008) mencionan que valores que sobrepasan los 100 $\mu\text{g l}^{-1}$ son considerados cuerpos de agua hipertróficos.

En cuanto a los nutrientes, se ha reportado que la concentración del fósforo total en los cuerpos de agua de México oscila de 0.008 a 2.0 mg l^{-1} (Alcocer y Bernal-Brooks, 2010). En los cuerpos de agua de la Cantera Oriente se obtuvieron valores de 0.15 mg l^{-1} a 0.52 mg l^{-1} , los cuales se encuentran dentro del intervalo mencionado

anteriormente, además de ser similares a los registrados para otros cuerpos de agua como el lago de Xochimilco donde Jiménez (2007) registra valores de 0.5 a 0.8 mg l⁻¹; López (2012) obtuvo valores de 1.85 a 2 mg l⁻¹ en el lago Tezozomoc, y en la laguna de Zumpango, Domínguez (2006) registra concentraciones de 0.51 a 2.40 mg l⁻¹. De acuerdo con lo anterior las concentraciones de fósforo total en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente se encuentran en valores intermedios.

Para el nitrógeno total, las concentraciones que se midieron a lo largo del muestreo fueron de 6.23 a 9.32 mg l⁻¹, lo que resulta más alto respecto a lo registrado en el lago Xochimilco con valores de 1 a 3 mg l⁻¹ por Jiménez (2007), sin embargo Nandini *et al.*, (2005) registran para el mismo sitio hasta 7.8 mg l⁻¹ y López (2012) registra para el lago Tezozomoc valores similares de 3.91 a 10.25 mg l⁻¹.

La importancia de los nutrimentos como el fósforo y el nitrógeno es el efecto directo sobre la producción primaria ya que su escasez limita la fotosíntesis del fitoplancton, además de que su concentración puede determinar la distribución y abundancia de los organismos en el agua (Margalef, 1983), por lo que de acuerdo a Conde-Porcuna, *et al.* (2004) algunas especies del zooplancton, al recibir una dieta limitada en carbono y fósforo, son afectadas en su crecimiento y su reproducción. Por otra parte Raike *et al.*, (2003) mencionan al fósforo como un factor relacionado con la clorofila *a*, por ser un nutrimento importante en el desarrollo de las algas y plantas acuáticas; a lo largo del muestreo estos dos parámetros resultaron altos en algunas ocasiones; sin embargo no necesariamente donde se presenta la máxima concentración de un parámetro ocurre lo mismo con el otro (Ortiz y Ruvalcaba, 2005).

El estado trófico de los sistemas acuáticos resulta de la interacción de factores externos y de diversos procesos internos que involucran el agua, la biota y los sedimentos (Carpenter & Pace, 1997). Para clasificar el estado trófico de los cuerpos de agua de la Cantera Oriente se utilizó el índice propuesto por Carlson (1977), en el cual valores menores de 30 corresponden a condiciones oligotróficas; entre 30 y 60 a un estado mesotrófico, de 60 a 90 a eutrófico y mayores de 90 corresponden a hipereutrófico (Carlson, 1977). Con los valores obtenidos por el

índice de Carlson, los cuerpos de agua de la Cantera Oriente se sitúan entre mesotróficos y eutróficos; esto es atribuible a las elevadas concentraciones de nutrimentos en el agua, los cuales provienen principalmente del agua del manto freático que aflora en los manantiales que abastecen de agua a los lagos, como lo demostraron los valores medidos en el Manantial. Es posible afirmar que el lago Sur en algunas ocasiones alcanzó la hipertrofia, ya que se observaron ocasionalmente natas flotantes en la superficie, transparencia muy disminuida y elevadas densidades de algas; todas estas son señales claras de hipertrofia (Fig. 17) (Ortiz y Ruvalcaba, 2005) .

Aunque los efectos directos de la eutrofización son bien conocidos, los efectos indirectos son muy poco conocidos (Lodi *et al.*, 2011). En condiciones eutróficas el zooplancton es dominado por organismos filtradores de tamaño pequeño, tales como ciliados y rotíferos. La aparición de cladóceros de gran tamaño o de copépodos puede tener un efecto importante sobre el zooplancton pequeño y sobre el consumo de fitoplancton, mejorando las condiciones de transparencia del agua (Jurgens, 1994), por lo que la composición y estructura de la comunidad del zooplancton tienen un valor potencial como indicadores de condiciones tróficas. Ejsmont-Karabin (2012) propuso un índice trófico similar al de Carlson, pero en lugar de utilizar las variables físicas y químicas toma en cuenta los datos de la abundancia y composición de la asociación de rotíferos planctónicos. Es por esto que en el presente trabajo se utilizó la modalidad de este índice que maneja la densidad total de rotíferos. Los resultados de ambos índices señalan la variación en las condiciones tróficas de los lagos de la Cantera Oriente entre mesotróficos y eutróficos. La coincidencia entre los resultados de ambos índices es bastante buena. Ambos señalan como claramente eutróficos a los lagos Centro y Sur. El lago Norte es eutrófico según el índice de Carlson, pero varía de mesoeutrófico a eutrófico según el de Ejsmont-Karabin. El Vaso Regulador es mesotrófico la mayor parte del tiempo según Carlson y varía de mesotrófico a meso-eutrófico según Ejsmont-Karabin, 2012. Finalmente, el Manantial es el que tiene el menor estado trófico según ambos índices, coincidiendo en que presenta condiciones mesotróficas. Como puede verse, a pesar de que el índice de Ejsmont-Karabin se

fundamenta en datos obtenidos en cuerpos de agua europeos que corresponden principalmente a condiciones templadas, su aplicación para evaluar el estado trófico de los cuerpos de agua de la Cantera Oriente arrojó resultados correctos y similares a los obtenidos con el índice de Carlson. Hay que tomar en cuenta que, aunque por su ubicación latitudinal la Cantera Oriente corresponde a la región tropical del planeta, su considerable altitud (> 2000 m.s.n.m.) hace que las temperaturas no sean tan elevadas como en la zona tropical. Si se analizan las temperaturas medidas en los lagos estudiados, se llega a la conclusión que son bajas.

Las variaciones en el estado trófico determinadas por los índices pueden explicarse ya que los cuerpos de agua de la Cantera son considerados cuerpos de agua someros por presentar valores de profundidad menores a un metro, pero sobre todo por ser particularmente vulnerables a la eutrofización (Conde-Porcuna *et al.*, 2004) considerándose como sistemas productivos favorecidos por la relación entre la masa del agua y los materiales del fondo, además de que son altamente vulnerables a la acción del viento y las oscilaciones de las condiciones climáticas (Sousa *et al.*, 2008). Por lo tanto, la variación del estado trófico, puede representar un importante factor selectivo para las especies que logran colonizar estos cuerpos de agua.

La comunidad de zooplancton es un sistema dinámico que responde rápidamente a los cambios ambientales; para comprender dichos cambios y establecer comparaciones entre los cuerpos de agua de la cantera Oriente se realizaron análisis por medio de índices de similitud de Morisita y del Coeficiente de correlación de Pearson, donde los parámetros físicos, químicos y la comunidad del zooplancton (rotíferos y cladóceros) mostraron ser similares en el lago Norte y lago Centro, seguido del lago Sur, pero siendo diferentes el Vaso Regulador y Manantial. También se pudo clasificar a las especies que prefieren condiciones oligotróficas, mesotróficas y eutróficas, por lo que podemos considerar que hay una relación general entre los parámetros y los organismos presentes en los sitios de muestreo. Arora y Mehra (2003), mencionan que las comunidades del zooplancton son influenciadas por la variación de los parámetros físicos y químicos y de los factores biológicos; del mismo modo, la frecuente modificación del estado trófico, y la

consecuente variación de la transparencia del agua pueden representar factores importantes que son selectivos para las especies que logran colonizar este tipo de medios, ya que su presencia puede indicar alguna alteración que pueden repercutir en el cuerpo de agua (Sousa *et al.*, 2008). Figueroa (2015) menciona que la estructura de la comunidad del zooplancton difiere en riqueza y densidad de especies de acuerdo a cada sistema acuático, lo que se encuentra estrechamente relacionado con los factores físicos, químicos y biológicos.

Existen numerosas especies de rotíferos y cladóceros que son considerados buenos indicadores del estado trófico en los lagos (Imoobe y Adeyinka, 2010). Los resultados del presente trabajo permiten agrupar a las especies encontradas (Fig. 20) según el estado trófico (oligotrófico, mesotrófico y eutrófico). El Manantial y el Vaso Regulador se pueden considerar como cuerpos oligotróficos, ya que estos dos sitios presentan la mayor transparencia y concentraciones de clorofila *a* bajas; sin embargo, las concentraciones de nitrógeno y fósforo en ocasiones pueden llegar a ser altas: lo que provoca que en ocasiones el índice trófico señale la presencia de condiciones mesotróficas.

Scapholeberis armata freyi fue una especie de cladóceros cuya presencia únicamente se observó en el Manantial, indicando que prefiere condiciones poco productivas. Sládeček (1983) menciona que este género se encuentra en ambientes oligotróficos. Esta especie es la única del género registrada para México (Ciros-Pérez y Elías-Gutiérrez, 1996), aunque Bermúdez (2010) en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente y Nandini *et al.*, (2005) en los canales de Xochimilco, reportaron la presencia de *Scapholeberis kingi*. Según el criterio de Elías-Gutiérrez *et al.* (2008) la identificación de *Scapholeberis kingi* en México sería un error, y Dumont y Pensaert (1983) apoyan esta visión pues afirman que la distribución de esta especie se encuentra limitada a una parte de Europa, además de mencionar que puede ser confundida con *Scapholeberis armata* que se encuentra solamente en América. Con base en la clave para la determinación taxonómica de cladóceros de México elaborada por Elías-Gutiérrez *et al.* (2008) las características de los organismos encontrados en el Manantial corresponden con las de la especie

Scapholeberis armata freyi, por lo que el reporte de la presencia de la especie *Scapholeberis kingi* en la Cantera Oriente no coincide con el resultado de este trabajo, aunque no se descarta que *S. kingi* pueda estar presente en México.

En el caso de los rotíferos encontrados en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente se han presentado especies que bajo las condiciones que se les encontró pueden ser consideradas como indicadores de aguas oligotróficas y meso-eutróficas. Sin embargo de acuerdo con Sládeček (1983) algunas especies como *K. cochlearis*, *P. vulgaris* y *S. oblonga* son consideradas como especies indicadoras de eutrofia. Por otra parte se tiene que *S. mutica* y *T. patina* son consideradas como especies indicadoras de oligotrofia. Por lo cual podemos observar que algunas especies mencionadas anteriormente coinciden con las condiciones en que fueron observadas en este trabajo.

En el dendograma de clasificación jerárquica (Fig. 20) se puede observar las especies agrupadas en la parte eutrófica, en la cual se reúnen todas las especies de rotíferos pertenecientes al género *Brachionus* y al género *Keratella*, los cuales de acuerdo a Serranía (1996) y Castellanos *et al.*, (2014) son muy abundantes en cuerpos de agua poco profundos, además de ser considerados como géneros típicos de condiciones eutróficas. Estos resultados confirman que el proceso de eutrofización puede llegar a ejercer un fuerte efecto sobre las comunidades del zooplancton, en este caso sobre los rotíferos y los cladóceros (Lodi *et al.*, 2011).

En general, a pesar del considerable potencial del zooplancton como indicadores del estado trófico y su importancia fundamental en la transferencia de energía y en el ciclo de nutrientes de los cuerpos acuáticos, las comunidades del zooplancton no han sido ampliamente reconocidas y utilizadas como indicadores de los cuerpos de agua (Imoobe y Adeyinka, 2010). Es por esto que en este trabajo se buscó darle la utilidad y promover su uso como buenos indicadores del estado trófico de los cuerpos de agua. Adicionalmente, se considera que el zooplancton es un componente importante dentro de la estructura trófica de los lagos de la Cantera Oriente, aunque los cladóceros podrían estar sometidos a una fuerte presión de depredación por parte de los peces

CONCLUSIONES

- Se determinaron un total de 47 especies (rotíferos y cladóceros) las cuales todas han sido registradas previamente para México y el D.F.
- Se encontró que la mayor riqueza de especies fue en el Manantial mientras que la menor se registró en el lago Centro.
- La variación de rotíferos y cladóceros a lo largo del año fue diferente para cada cuerpo de agua; sin embargo pudo observarse que, en general los rotíferos fueron más abundantes especialmente en la época cálida y los cladóceros en la época fría.
- Las especies más abundantes registradas en este estudio, han sido encontradas principalmente en cuerpos de agua con condiciones eutróficas.
- De acuerdo a los índices del estado trófico, los cuerpos de agua de la Cantera Oriente presentaron un estado que varió de mesotrófico a eutrófico, aunque se considera que algunas veces pueden llegar a la hipertrofia, como en el caso del lago Sur.
- El índice de Ejsmont-Karabin basado en la densidad de organismos mostró ser un buen índice para determinar las variaciones del estado trófico en los cuerpos de agua y coincidió cercanamente con lo obtenido mediante la aplicación del índice de Carlson basado en disco de Secchi y concentración de clorofila a.
- Las especies de rotíferos de los géneros *Brachionus* y *Keratella* se confirmaron como indicadores de condiciones eutróficas, al contrario del cladóceros *S. armata freyi* que bajo las condiciones encontradas puede considerarse como indicador de aguas poco productivas.
- La riqueza específica de rotíferos y cladóceros en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente se encuentra en un sitio intermedio en comparación con los datos de otros cuerpos de agua con condiciones eutróficas similares.

- La composición taxonómica del zooplancton en la Cantera Oriente fue similar a la de otros lagos con condiciones tróficas similares como el lago Tezozomoc, Xochimilco y Zumpango.
- Los estudios en lagos urbanos y someros deben ser ampliados para comprender y conocer la dinámica de las diferentes comunidades, en este caso al zooplancton.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilar, C.R. 2013. Estudio de la comunidad del zooplancton (Rotíferos, Cladóceros y Copépodos) en la zona litoral de la Presa Iturbide, Estado de México. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. UNAM.
- Alcocer, J. y F.W. Bernal-Brooks. 2010. Limnology in Mexico. *Hidrobiologia* 644: 15-68.
- Arar, J.E. & B.G. Collins (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.
- Arora, C. 1964. Rotifers as indicator of trophic nature of environments. *CPHERI Bull.* 147-159.
- Arora, J. & N.K. Mehra, 2003. Seasonal dynamics of rotifers in relation to physical and chemical conditions of the river Yamuna (Delhi), India. *Hydrobiologia*. 491: 101-109.
- Arredondo, J.L., G.D. Zavaleta y J.T.P. Palafox. 2007. Limnología de las presas mexicanas: aspectos teóricos y prácticos. Primera edición. AGT Editor, S.A. y UAM Iztapalapa. México. 923p.
- Bastidas-Navarro, M. y B. Mondenutti, 2007. Efecto de la estructuración por macrófitas y por recursos alimentarios en la distribución horizontal de tecamebas y rotíferos en un lago andino patagónico. *Rev, Chilena Hist. Nat.* 80: 345-362.
- Bermúdez, J.R. 2010. Diversidad del orden Cladóceras (Crustacea: Branchiopoda: Phyllopoada) de las pozas de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Ciudad Universitaria, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 67 p.
- Birch, S. & J. McCaskie, 1999. Shallow urban lakes: a challenge for lake management. *Hydrobiologia* 395/396: 365-377.
- Carlson, R.E. 1977. Trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22: 361-369.
- Carpenter, S.R. & M.L. Pace. 1997. Dystrophy and eutrophy in lake ecosystems: implications of fluctuating inputs. *Oikos* 78: 3-14.
- Castellanos-Páez, M.E., G. M. Zamora, M. I. Díaz, M. G. Garza, y R.A. Contreras. 2014. Abundancia y biomasa de la comunidad de rotíferos y su relación con parámetros ambientales en tres estaciones del Canal Cuemanco, Xochimilco. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*. Vol. 14: 27. 30.

- Ciros-Perez, J. y M. Elías-Gutiérrez. 1996. Nuevos registros de cladóceros (Crustacea: Anomopoda) en México. *Rev. Biol. Trop.* 44(1):297-304.
- Conde-Porcuna, J.M., E. Ramos-Rodríguez y R. Morales-Baquero. 2004. El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos. *Ecosistemas* 13 (2): 23-29.
- Crisci, J.V. y M.F. López-Armengol. 1983. Introducción a la teoría y práctica de la Taxonomía Numérica. Organización de los Estados Americanos, Washington, D.C. Serie Biología. 132 pp.
- Daniel, W.W. 2002. Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. 4ª. Ed. Limusa-Wiley. México.
- De Manuel, J. 2000. The rotifers of Spanish Reservoirs: Ecological, Systematical and Zoogeographical Remarks. *Limnetica* 19: 91-167.
- Deepthi, S. & M.Y. Sadanand. 2014. Water quality index and abundance of zooplankton in Varuna, Madappa and Giribettethe lakes of Mysore, Karnataka State, India. *Internat, J, of Environ.. Sci.* 4: 683-693
- 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. UNAM. 75 pp.
- Dumont H.J. & J. Pensaert. 1983. A revision of the Scapholeberinae (Crustacea: Cladocera). *Hydrobiologia* 100: 3-45.
- Ejsmont-Karabin, J. 2012. The usefulness of zooplankton as lake ecosystem indicators: rotifer trophic state index. *Pol. J. Ecol.*, 60 (2): 339-350.
- Elías-Gutiérrez, M. y E. Suárez-Morales. 2003. Estado actual del conocimiento de los cladóceros de México. En: Barreiro-Güemes, Ma. T., M. E. Meave del Castillo, M. Signoret y M.G. Figueroa-Torres (eds.). 2003. Planctología Mexicana. Sociedad Mexicana de Planctología, La Paz, B.C.S. pp. 171-184
- Elías-Gutiérrez, M., E. Suarez-Morales, M.A. Gutiérrez-Aguirre, M. Silva-Briano, J.G. Granados-Ramírez y T. Garfias-Espejo. 2008. Cladóceros y Copépodos de las aguas continentales de México. Guía ilustrada. UNAM, ECOSUR, CONABIO y SEMARNAT. México. 322 pp.
- Enríquez-García, C., S. Nandini y S.S.S. Sarma. 2009. Seasonal dynamics of zooplankton in Lake Huetzalín, Xochimilco (Mexico City, Mexico). *Limnológica* 39: 283-291
- Espinoza, P.H. 2007. Peces. En Lot, A. (coord.). Guía Ilustrada de la Cantera Oriente. Caracterización Ambiental e Inventario Biológico. Coordinación de la Investigación Científica, Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, UNAM, México. pp. 193-202

- Figueredo, C.C. & A. Gianni. 2001. Seasonal variation in the diversity and species richness of phytoplankton in a tropical eutrophic reservoir. *Hydrobiologia*, 455: 165-174.
- Figueroa, M.A. 2015. Determinación de la estructura de la comunidad del zooplancton en presencia de cianobacterias: Impacto de peces piscívoros sobre el zooplancton como alternativa en el manejo de sistemas dulceacuícolas en México. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM.
- Figueroa-Sánchez, M.A., S. Nandini & SSS. Sarma. 2014. Zooplankton community structure in the presence of low levels of cyanotoxins: a case study in high altitude tropical reservoir (Valle de Bravo, México). *J. Limnol.* 73:157-166.
- Gallardo-Pineda, V. 2013. Composición y abundancia del zooplancton en el bordo Huitchila, Mor. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. 87 p.
- García-Morales, A.E. & M. Elías-Gutiérrez. 2004. Rotifera from Southeastern México, New Records and Comments on Zoogeography. *Anales del Instituto de Biología. UNAM. Ser. Zoología* 75 (1): 99-120.
- 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 en Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. 118 pp.
- González, I.M. 1987. Algunos aspectos de la biología de los bosminidos del embalse Danxhó Estado de México. Tesis de Licenciatura. FES Iztacala. UNAM. 71 pp.
- Granados-Ramírez, J.G. & E. Suarez-Morales. 2003. A new Hesperodiptomus Light (Copépoda, Calanoida, Diaptomidae) from México with comments on the distribution of the genus. *J. Plank. Res.* 25(11): 1383-1395.
- Gutkowska, A., E. Paturej & E. Kowalska. 2013. Rotifer trophic state índices as ecosystem indicators in brackish coastal waters. *Oceanologia.* 55 (4): 887-899.
- 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. FES Iztacala. UNAM. 67 pp.
- Hernández, M.O., A. Quiroz, P. Ramírez-García y A. Lot. 2007. Paisaje Lacustre: Ecología de la Vegetación Acuática. 45-59 p. En: A. Lot (coord.) Guía ilustrada de la Cantera Oriente: caracterización ambiental e inventario biológico. Coordinación de la Investigación Científica, Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria. México. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Iglesias, C., N. Mazzeo., G. Goyenola, C. Fosalba, F. Teixeira de Mello, S. García & E. Jeppesen. 2008. Field and experimental evidence of the effect of *Jenysia multidentata*, a small omnivorous-planktivorous fish on the size distribution of zooplankton in subtropical lakes. *Freshwater Biol.* 53: 1797-1807
- Imoobe, T.O.T. & M.L. Adeyinka. 2010. Zooplankton-based assessment of the trophic state of a tropical forest river. *Internat. J. Fish.. Aquaculture* Vol. 2(2): 64-70
- Jiménez, C.J. 2007. Diversidad y densidades de rotíferos Monogonontos en algunos canales del Lago de Xochimilco. Tesis de Licenciatura. FES Iztacala. UNAM. 48 pp.
- Jürgens, K. 1994. Impact of *Daphnia* on planktonic microbial food webs—A review. *Mar. Microb. Food Webs*, 8, 295–324.
- Koste, W. 1978. Rotatoria Borntraeger Berlín. 673 pp.
- Krebs, C.J. 1985. *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. Third Edition. Harper and Row, New York. 800 pp.
- Lampert, W. & U. Sommer. 1997. Limnoecology: The ecology of lakes and streams. Oxford University Press. New York. 382 pp.
- Lewis, W.M. 1996. Tropical Lakes: How latitude makes a difference. En: Schiemer, F. y Boland, K. T. (Eds). *Perspectives in Tropical Limnology*. SPB Academic Publishing. 43-64.
- Lodi, S., L.C. Vieira, L.F. Velho, C.C. Bonecker, P. de Carvalho & L.M. Bini. 2011. Zooplankton community metrics as indicators of eutrophication in urban lakes. *Naturaleza & Conservação* 9: 87-92
- López S.G. 2012. Estudio experimental del impacto de *Poecilia reticulata* (Guppy) y de las condiciones ambientales sobre el ensamblado de rotíferos en el Lago Urbano Tezozomoc. Tesis de Licenciatura. FES Iztacala. UNAM. 57 pp.
- Lot, A. 2007. Guía ilustrada de la Cantera Oriente. Caracterización ambiental e inventario biológico. Coordinación de la Investigación Científica, Secretaria Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, UNAM, México.
- Marcé, R., M. Comerna, J.C. García, J. Gomá & J. Armengol. 2005. The zooplankton community in a small, hypertrophic mediterranean reservoir (Foix reservoir, NE Spain). *Limnetica*, 24 (3-4): 275-294.
- Margalef, L.R. 1983. Limnología. Omega. Barcelona. 1010pp.

- Martínez, B.B. 1993. Contribución al conocimiento de cladóceros y copépodos del lago Nabor Carrillo, Estado de México. Tesis de licenciatura (Biología). Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM. México.
- Mercado-Salas, N. y Álvarez-Silva, C. 2013. A new Acanthocyclops Kiefer, 1927 (Cyclopoida: Cyclopinae) from an ecological reserve in Mexico City. *J. Nat. Hist.* 47: 499-515
- Merayo, S. y E.J. González, E. 2009. Variaciones de abundancia y biomasa del zooplancton en un embalse tropical oligo-mesotrófico del norte de Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* 58 (2): 603-619.
- Moss, B. 1999. Ecological challenges for lake management. *Hydrobiologia* 395/396:3-11.
- Muro, C.G. 1994. Contribución al conocimiento de la distribución y abundancia de los cladóceros en los tres lagos de Chapultepec. Tesis de Licenciatura (Biología). Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM. México.
- Nandini, S., P. Ramirez-Garcia & S.S.S. Sarma. 2005. Seasonal variations in the species diversity of planktonic rotifers in Lake Xochimilco, México. *J. Freshwater. Ecol.* 20(2): 287-294.
- Novelo, E., E. Ponce, R. Ramírez y M. Ramírez. 2007. Algas. 63-95 p. En: A. Lot (coord.) Guía ilustrada de la Cantera Oriente: caracterización ambiental e inventario biológico. Coordinación de la Investigación Científica, Secretaria Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria. México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Oliva, M.G., A.R. Rodríguez, A. Lugo y M.R Sánchez. 2008. Composición y dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico. *Hidrobiológica* 18 (1 Suplemento): 1-13.
- Ortiz-Pérez, M.A., J.M. Figueroa-Mah Eng, M.P. Salazar-Enciso, G. Parada Colín, y L. Castillo-Téllez. 2007. Unidades Ambientales. En Lot, A. (coord). Guía Ilustrada de la Cantera Oriente. Caracterización Ambiental e Inventario Biológico. Coordinación de la Investigación Científica, Secretaria Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, UNAM, México, 15-44pp.
- Ortiz, J.B. y Ruvalcaba, G. A. 2005. Evaluación del estado trófico del Lago de Xochimilco, Méx. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza. UNAM. 47 pp.
- Palacios, I.A. 2013. Zooplancton en los sistemas acuáticos "Amate Amarillo y los Planes", en el Estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza. UNAM, 104 pp.

- Räike, O.A., P. Pietiläinen, S. Rekolainen, P. Kauppila, H. Pitkänen, J. Niemi, A. Raateland & J. Vuorenmaa. 2003. Trends of phosphorus, nitrogen and chlorophyll a concentrations in Finnish rivers and lakes in 1975-2000. *Sci. Total Environ.* 310: 47-59.
- Retana, R.J. y G.D. Vázquez. 2015. Importancia ecológica y abundancia del zooplancton, en el microreservorio Huitchila en el estado de Morelos, México. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza.UNAM. 98 pp.
- Ruttner-Kolisko, A. 1975. Planktonic rotifers. Biology and taxonomy. *Die binnengewässer.* 1-146.
- Ryding, S. & W. Rast. 1992. El control de la eutrofización en los lagos y pantanos. Ed. Pirámide. Madrid, España.
- Sarma, S.S.S. y J. Martínez-Figueroa. 2000. Morfometría de *Filinia cornuta* (Weisse, 1847) (ROTIFERA: FILINIDAE) en el estanque del Parque Tezozómoc (México). *Tlp Rev. Esp. Cienc Quím. Biol.* 3 (2): 75 – 78.
- Schueler, T. & J. Simpson. 2003. Why Urban Lakes Are Different? *Watershed. Prof.Tech.*3:747-750.
- Serranía, C.R. 1996. Diversidad de Rotíferos Monogonontos en algunos sistemas acuáticos del Estado de México. Tesis de Licenciatura. FES Iztacala. UNAM.
- Serranía, C.R. 2006. Diversidad de rotíferos Monogonontos de la parte central de México. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas. UNAM. 117 pp.
- Sládeček, V. 1983. Rotifers as indicators of water quality. *Hydrobiologia.* 100: 169-201.
- Sokal, R.R. y F.J. Rohlf. 1981. Biometry. The principles and practice of statistics in biological research. 2a. ed. W.H. Freeman, San Francisco. 859 pp.
- 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. UNAM. 50 p.
- Sousa, V., J.L. Attayde, R.E. Da Silva & E.M. Eskinazi-Santana. 2008. The response of zooplankton assemblages to variations in the water quality of four man-made lakes in semi-arid northeastern Brazil. *J. Plankton.Res.* Vol. 30(6): 699-708.
- Torres-Orozco, R.E & S.A. Zanatta. 1998. Species composition, abundance and distribution of zooplankton in a tropical eutrophic lake: Lake Catemaco, México. *Rev. Biol. Trop.* 46.

- Trejo, A.R. 2012. Variación del zooplancton en el Lago de Zempoala, Morelos, México. Tesis de Maestría. Biología de Sistemas y Recursos Acuáticos. UNAM.
- Trujillo, J.P. y Espinosa de los Monteros, V.E. 2006. La ecología alimentaria del pez endémico *Girardinichthys multirradiatus* (Cyprinodontiformis: Goodeidae), en el Parque Nacional Lagunas de Zempola, México. *Rev. Biol. Trop.* 54(4): 1247-1255
- Valderrama, J.C. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorous in natural waters. *Mar. Chem.* 10: 109-122
- Verma, S.R., P.R. Chaudhari, R.K. Singh & S.R. Wate. 2011. Studies on the ecology and trophic status of an urban lake at Nagpur City, India. *Rasayan J. Chem.* 4: 652-659
- Villalobos, J.L., F. Álvarez-Noguera y A. Botello-Camacho. 2007. Crustáceos. En Lot, A. (coord.). Guía Ilustrada de la Cantera Oriente. Caracterización Ambiental e Inventario Biológico. Coordinación de la Investigación Científica, Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, UNAM, México. pp. 161-178
- Wallace R.L, T.W. Snell, C. Ricci & T. Nogrady. 2006. Rotifera part 1: biology, Ecology and Systematics. Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world. Kenobi Productions Gent/ Backhuys, The Netherlands.
- Wetzel, R.G. 2001. Limnology. Lake and River Ecosystem. 3a. Ed. Academic Press, Nueva York.
- Wetzel, R.G. y Likens, G.E. 2000. Limnological Analyses. 3a. Ed. Springer-Verlag. Nueva York. 679 pp
- Williamson, G.E. & J.W. Redi, 2001. Copepoda. In Thorp, J.H. & A.P. Covich (eds). Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. Academic Press, Washington. 849-910pp.
- Zhao, S.Y. & Han, B.P. 2006. Size structure of the metazoan zooplankton community in a tropical lake: Xinghu Lake, South China. *Acta Ecol. Sinica* 26:8, 2646-2654.