



## **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA  
(LIMNOLOGÍA)

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

### **Variación estacional de rotíferos sésiles monogonontos (Rotifera) en el sitio Ramsar, Lago de Xochimilco, (México) durante un ciclo anual (2015-2016)**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS**

**PRESENTA:**

BIÓL. MARCO ANTONIO JIMÉNEZ SANTOS

**TUTOR PRINCIPAL:**

DR. SINGARAJU SRI SUBRAHMANYA SARMA  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA (UNAM)

**MIEMBROS DEL COMITÉ TUTORAL:**

DR. JOSÉ LUIS GAMA FLORES  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA (UNAM)

DRA. PATRICIA BONILLA LEMUS  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA (UNAM)

DR. ALFONSO LUGO VÁZQUEZ  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA (UNAM)

DR. MARCELO SILVA BRIANO  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES  
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA

MÉXICO, CIUDAD DE MÉXICO. ENERO 2017



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.



**Variación estacional de rotíferos sésiles monogonontos  
(Rotifera) en el sitio Ramsar, Lago de Xochimilco,  
(México) durante un ciclo anual (2015-2016)**

**T E S I S**

Que para obtener el grado académico de

**Maestro en Ciencias**

(Limnología)

Presenta:

**Biól. Marco Antonio Jiménez Santos**

**Director de Tesis:**

Dr. Singaraju Sri Subrahmanya Sarma

**Comité Tutorial:**

Dr. José Luis Gama Flores

Dra. Patricia Bonilla Lemus

Dr. Alfonso Lugo Vázquez

Dr. Marcelo Silva Briano

México, Ciudad de México. Enero 2017

## Mario Benedetti ¿Qué les queda a los jóvenes?

¿Qué les queda por probar a los jóvenes  
en este mundo de paciencia y asco?  
¿sólo grafitti? ¿rock? ¿escepticismo?  
también les queda no decir amén  
no dejar que les maten el amor  
recuperar el habla y la utopía  
ser jóvenes sin prisa y con memoria  
situarse en una historia que es la suya  
no convertirse en viejos prematuros

¿qué les queda por probar a los jóvenes  
en este mundo de rutina y ruina?  
¿cocaína? ¿cerveza? ¿barras bravas?  
les queda respirar / abrir los ojos  
descubrir las raíces del horror  
inventar paz así sea a ponchazos  
entenderse con la naturaleza  
y con la lluvia y los relámpagos  
y con el sentimiento y con la muerte  
esa loca de atar y desatar

¿qué les queda por probar a los jóvenes  
en este mundo de consumo y humo?  
¿vértigo? ¿asaltos? ¿discotecas?  
también les queda discutir con dios  
tanto si existe como si no existe  
tender manos que ayudan / abrir puertas  
entre el corazón propio y el ajeno /  
sobre todo, les queda hacer futuro  
a pesar de los ruines de pasado  
y los sabios granujas del presente.

## **Dedicatoria**

A mi familia por todo el apoyo y cariño que me proporcionan, además de ser mi principal motivación. A mis padres por que han dado todo lo que tienen y la libertad de elegir mi camino, sé que donde estoy ha sido gracias a ellos y este escrito es para ellos, para que conozcan y vean lo que han formado en mí y que sepan que ha valido el esfuerzo. A mis hermanos para que al leerlo vean que alguien tan cercano a ellos, puede hacer lo que muchas personas comentan que es difícil y que tengan en mente que, con dedicación se puede alcanzar y lograr las metas que cada uno se propone, saben cuánto le dedico a esto y que con lo que he hago he logrado muchas cosas a lo cual también aspiran. Espero que un día lean esto y entonces comprendan que en la vida habrá dificultades, pero la alegría al final de todo es incomparable.

A quien me alegra y sorprende cada día y durante esta etapa que culmina, a quien es parte importante de mi vida, a quien le tengo un gran afecto, respeto y admiración, que ha sabido escuchar y ha tenido la confianza de ver en mí a alguien con quien compartir lo bueno y lo no tan bueno, porque admiro su capacidad y responsabilidad en el trabajo y sé que las pláticas que hemos tenido han provocado una gran motivación para no detenerme y seguir dando todo lo que tengo para este camino, pues me ha hecho ver que realmente quiero seguir en esto junto a ella. Para ti Michael Figueroa, que refleja este trabajo mis ganas de seguir aprendiendo, de seguir buscando y querer explicar qué y por qué hay bichos donde los podemos ver y así poder seguir hablando contigo de ellos y me digas tus especulaciones y tus ideas de lo que sabes y que me complementa.

## **Agradecimientos**

A la UNAM, la FES Iztacala y en particular al Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología por todo el apoyo y trabajo que se realiza constantemente a favor del conocimiento, desarrollo y crecimiento de los integrantes del posgrado.

A CONACyT y las personas que fueron responsables de otorgarme la beca con número de apoyo 406417.

A la Dra. Gloria Vilaclara Fatjó y a la actual coordinadora del Posgrado: Dra Ruth Cecilia Venegas Pérez, así como a su grupo de trabajo: M. en C. Diana Juárez Bustos, Mtra. Chantal G. Ruiz Guerrero, Guadalupe Godoy Medina, Gabriela Almaraz Mejía. Gracias por su gran empeño y atención a cada duda que hubo durante este tiempo.

Al Dr. Sarma por dirigir y permitir el desarrollo de este trabajo y a la Dra. Nandini por su apoyo en el laboratorio de Zoología acuática en la FES Iztacala. A ambos por sus valiosos consejos, por los conocimientos que comparten, por el esfuerzo que hacen en mantener el laboratorio, por preocuparse de sus alumnos en todo momento, por acercarnos a investigadores de alto nivel y por una gran lista de actividades más.

A la UAM-Xochimilco y al Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco (CIBAC) que a través del Biol. Fernando Arana Magallón y al Fis. Arturo Villa facilitaron el transporte en los alrededores de los canales de Xochimilco.

A los integrantes del comité tutorial que siempre estuvieron presentes y dispuestos a escucharme y dar su crítica sobre el trabajo para que este se realizara de la mejor manera posible, por las observaciones, correcciones y consejos en cada semestre y hasta el final del trabajo; a la Dra. Patricia Bonilla Lemus, al Dr. Alfonso Lugo Vázquez, al Dr. José Luis Gama Flores y al Dr. Marcelo Silva Briano.

Al Dr. Robert Lee Wallace por sus observaciones, comentarios y por facilitar algunas publicaciones difíciles de conseguir. Además, por ayudar y confirmar la determinación de las especies del presente trabajo.

Al laboratorio de Zoología acuática (FES-I), a Jorge Jiménez, Cristian Espinosa, Ligia Rivera, Alma Nuñez, Gerardo García, Sergio García, Cesar Zamora, Rosa Moreno, Brenda Almaraz, Antonio Guevara, Jair García, Dalia Quiñonez, José Ponce y a quienes me disculparán por dejar entre renglones. A todos por la compañía, por hacer ameno el lugar, por enseñar a compartir un área de trabajo, por su amabilidad y empatía, así como sus consejos, comentarios, sugerencias y toda la ayuda brindada en todo este tiempo.

A Aldo y Yael por su amistad y ayuda brindada en este periodo y por siempre estar al pendiente del avance y culminación del trabajo.

A Manuel Muñoz por brindar su ayuda en todos los muestreos de Xochimilco además de todos los que estuvieron dispuestos a conocer el trabajo, a Juanote, Marce Negrete, Montse Serrano, Brenda González, Izumy, a mis hermanos por acompañarme en el muestreo prospectivo y a los del laboratorio.

Y a todas las personas con las que he platicado, escrito y convivido que no las nombré pero que saben agradezco su amistad.

# Índice

<b>Resumen</b>	<b>1</b>
<b>Introducción</b>	<b>2</b>
<b>Justificación</b>	<b>6</b>
<b>Pregunta de investigación</b>	<b>7</b>
Objetivo General:	7
Objetivos particulares:	7
<b>Área de estudio</b>	<b>8</b>
<b>Materiales y métodos</b>	<b>10</b>
Muestreo en campo y variables físicas y químicas	10
Trabajo de laboratorio	11
<b>Resultados</b>	<b>13</b>
Riqueza taxonómica	13
Dominancia y abundancia de especies	17
Índice de diversidad	20
Variables físicas y químicas	22
Análisis de Correspondencia Canónica	25
<b>Discusión</b>	<b>28</b>
Riqueza taxonómica	28
Dominancia y abundancia de especies	30
Índice de diversidad	32
Variables físicas y químicas	34
Análisis de correspondencia canónica	35
<b>Conclusiones</b>	<b>37</b>
<b>Galería fotográfica</b>	<b>38</b>
<b>Anexos</b>	<b>46</b>
<b>Referencias</b>	<b>49</b>

## Resumen

En México hay lagos someros dinámicos, siendo uno el *Sitio Ramsar Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco*, característico por su biodiversidad, tanto de especies endémicas como introducidas. Aunque se espera una baja diversidad de especies acuáticas por la eutrofia del lago, reportes indican lo contrario en rotíferos. Estos estudios se enfocan a especies nadadoras mediante muestras fijas, excluyendo a especies sésiles asociadas a macrófitas, debido a esto, el objetivo del trabajo fue determinar la diversidad de rotíferos sésiles y su relación con parámetros ambientales en el sitio Ramsar de Xochimilco, con muestreos mensuales durante un año (2015 a 2016). Se recolectaron raíces de *Eichhornia crassipes* y se determinó la riqueza y abundancia de los rotíferos y se midieron algunas variables físicas y químicas del agua. Se obtuvo 18 especies siendo 11 nuevos registros para el país. En septiembre se presentó la mayor riqueza (16 especies) y se estimó una densidad promedio anual de 630 ind/ml RD. De acuerdo al análisis de Olmstead-Tukey, las especies de la familia Collotheceidae fueron dominantes, *Sinantherina socialis* fue temporal y *Ptygura beauchampi* fue común en el sistema; el índice de Shannon-Wiener fue constante en el año, en secas cálidas se presentó la mayor diversidad (2.8), mientras que en secas frías disminuyó (1.3) debido a la dominancia de *Collotheca ornata*; de acuerdo al análisis BEST y de correspondencia canónica, las principales variables correlacionadas a los rotíferos sésiles fueron: temperatura, oxígeno disuelto, pH, turbidez y transparencia, así como una correlación tanto positiva o negativa con las especies: *C. ambigua*, *C. coronetta*, *C. ornata*, *C. campanulata*, *C. tenuilobata*, *Stephanoceros millsii*, *Beauchampia crucigera*, *Limnias melicerta* *L. ceratophylli*, *P. crystallina*, *P. melicerta* y *Sinantherina ariprepes*. El Lago de Xochimilco mantiene su estado de eutrofia, por lo que es importante este estudio ya que muestra la dominancia de otro grupo de rotíferos poco estudiado dependientes de un sustrato, los cuales estarán expuestos a la polución, reflejando la capacidad del sistema de soportar una gran diversidad de especies como los rotíferos que han sido ampliamente usados para el monitoreo de la calidad de agua y en ecotoxicología.



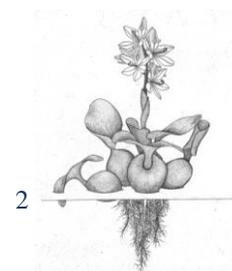
## Introducción

México tiene una gran cantidad de lagos poco profundo (menores a 3 m) (De la Lanza y García, 2002), en estos cuerpos de agua la dinámica de nutrientes y la diversidad del plancton es diferente en comparación con lagos profundos, como la circulación de nutrientes la cual es continua, aumentando la dinámica del lugar (Timotius y Goltenboth, 1995).

En la delegación de Xochimilco (Distrito Federal, México) se encuentra el sitio Ramsar “Ejidios de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”, cuenta con algunos cuerpos de agua interconectados a canales, lo cual cubre aproximadamente 190 ha (Stephan-Otto, 2003). En estos canales y lagos se encuentra una gran diversidad de flora y fauna tanto introducida como endémica, tal es el caso de los peces tilapia (*Oreochromis niloticus*) y carpa (*Cyprinus carpio*) que afectan a especies endémicas como al ajolote (*Ambystoma mexicanum*) (Zambrano *et al.*, 2003).

En los canales de Xochimilco existe una gran presión por parte de la urbanización sobre el estado trófico, provocando la eutrofia e hipertrofia y aunque en cuerpos de agua eutróficos se espera una baja diversidad de especies, estudios previos han demostrado que existe una alta diversidad del zooplancton principalmente de rotíferos (Nandini *et al.*, 2005).

El zooplancton forma parte importante en la cadena trófica de los cuerpos de agua, permitiendo así un flujo de energía en los diferentes niveles tróficos. Su riqueza y abundancia varía en el tiempo y el espacio, debido a los cambios en las condiciones bióticas y abióticas del sistema, además su composición está sujeta a cambios en la diversidad y abundancia del fitoplancton (Armengol, 1982; Folt & Burns, 1999; Wetzel, 2001). Por lo que el estudio de la diversidad del zooplancton proporciona información relevante acerca del estado trófico, los procesos de productividad y como indicadores de calidad en los ecosistemas acuáticos. No obstante, los estudios limnológicos tienen como objetivo principal, la caracterización de aspectos hidrológicos generales, siendo así, en menor medida los trabajos sobre la fauna del plancton como los rotíferos (Suárez *et al.*, 1991; Suárez-Morales *et al.*, 1993).



Los estudios de diversidad de rotíferos se han enfocado en los organismos planctónicos de vida libre, dejando a un lado a las especies de rotíferos sésiles (100 aproximadamente), las cuales están asociadas principalmente a macrófitas (Wallace *et al.*, 2006) y que suelen recibir poca atención en estos estudios de diversidad (Wallace y Smith, 2013), aunado a esto, la complejidad de las macrófitas se convierte en un actor que limita el estudio y la determinación de la rotiferofauna asociada a éstas (Wallace, 1980).

Los rotíferos sésiles se agrupan en las familias Atrochidae, Collothecidae y Flosculariidae, suelen ser abundantes ( $> 6 \text{ ind.mm}^2$ ), forman parte de la zona litoral y se pueden encontrar en lagos, estanques y ríos donde tienen una vida principalmente epifítica sobre macrófitas, aunque se pueden encontrar en otros substratos como algas filamentosas, animales como esponjas, entre otros (Pejler y Berzins, 1993; Wallace y Snell, 2010).

La biología de los rotíferos sésiles es similar a la de los organismos de vida libre la cual se conoce mejor, son animales no segmentados y son invertebrados con simetría bilateral (Figura 1) (Wallace y Smith, 2013). El tamaño de estos organismos sésiles puede alcanzar tallas de hasta  $3550 \mu\text{m}$  (*Pentatrocha gigantea*) (Segers y Shiel, 2008). El cuerpo de estos organismos está compuesto por la corona, un tronco y un pie como en todos los rotíferos, presenta características distintivas del filo como: la corona en la parte anterior está compuesta generalmente de dos anillos ciliados llamados trocas y cingulo que es útil en la locomoción de los rotíferos planctónicos, función que no tiene en los rotíferos sésiles pero que funciona principalmente para llevar el alimento a su interior; a diferencia de los rotíferos de vida libre, los rotíferos sésiles presentan un estadio larval, el cual tiene una morfología diferente al adulto, ya que la corona está poco desarrollada y tiene la capacidad de nadar, lo cual le permite buscar el sitio en el que se fijará (Wallace, 1975).

Un segundo carácter taxonómico importante es el mástax, formado por el conjunto de músculos y dientes que forman el trofi; existen diversos tipos de trofi, siendo de utilidad en la identificación de algunas especies, los de tipo maleorramado y uncinado son los que se encuentran presentes en los rotíferos sésiles (Wallace *et al.*, 2006).



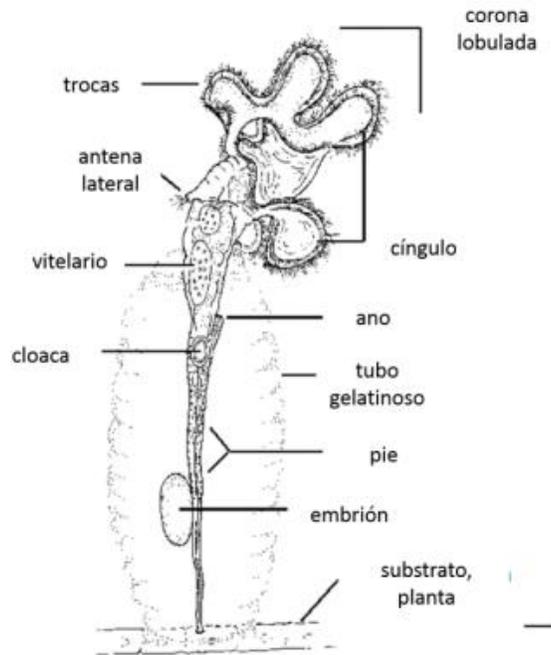
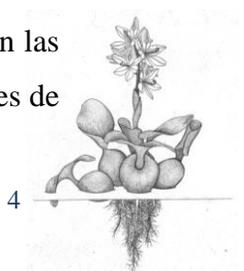


Figura 1. Esquema representativo de un rotífero sésil (modificado de Wallace y Snell, 2010).

Las larvas de los rotíferos sésiles se fijan a un sustrato dependiendo de las características físicas y químicas del sitio y del agua (Kutikova, 1995; Wallace, 1980). El rotífero sésil adulto tiene la capacidad de formar una estructura alrededor del cuerpo, la cual varía según la especie, puede ser de un material translucido y gelatinoso (*Collotheca* y *Stephanoceros*), o de aspecto granuloso debido a las partículas presentes en el agua o a la asociación con otros organismos, como protozoos, (*Ptygura* y *Beauchampia*); algunos adhieren en el tubo gelatinoso, pequeñas bolas de poco tamaño (17  $\mu\text{m}$ ) formadas por restos fecales y detritus (*Floscularia*, *Ptygura*) o pueden construir un tubo rígido al cual se adhiere materia suspendida (*Limnias*) (Fontaneto *et al.*, 2003). En general, se cree que la característica de construir un tubo puede tener la función de protección para evitar la depredación (Wallace y Snell, 2010).

El interés por los rotíferos sésiles en el mundo está en aumento. En Australia Segers y Shiel (2008) tomando sedimento de un par de meandros, eclosionaron en el laboratorio huevos de resistencia obteniendo 48 especies de rotíferos, de las cuales 22 fueron sésiles, de éstos, 3 se registraron como nuevas especies además de un nuevo género. En Cambodia (Asia), en las macrófitas *Hydrilla verticillata* y *Utricularia* sp. describieron una riqueza de 23 especies de

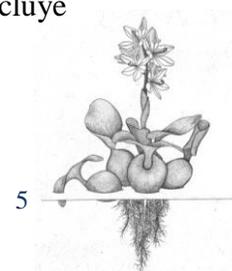


rotíferos sésiles, de las cuales 3 fueron nuevas especies (Segers *et al.*, 2010). En Tailandia con muestreo de 15 plantas acuáticas fueron encontradas 44 especies de rotíferos sésiles, describiendo así, un nuevo género con una especie, además de una nueva especie y la recolocación taxonómica de un rotífero sésil (Meksuwan *et al.*, 2011). En el 2013 se reportó a partir de muestreo en 15 cuerpos de agua en Tailandia, 13 especies de rotíferos sésiles de la familia Collotheacidae, de las cuales 1 se describió como nueva especie (Meksuwan *et al.*, 2013).

En general el estudio de los rotíferos en México se encuentra en aumento, en Xochimilco se han realizado diversos estudios sobre la rotiferofauna en diversos puntos de esta zona y se han registrado 54 especies, siendo una especie nuevo registro para el país (Flores-Burgos *et al.*, 2003), 62 especies en 19 familias en total durante el estudio (Nandini *et al.*, 2005), 79 especies en 17 familias (Jiménez, 2007) y 49 especies reportando la eutrofia en el sistema (Enríquez *et al.*, 2009), sin embargo los rotíferos sésiles no han sido considerados a pesar de ser un sitio con presencia de plantas acuáticas como substrato.

En Xochimilco se puede encontrar una gran variedad de plantas acuáticas como *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Junco hydrophytos*, *Nymphaeaceae mexicana*, entre otras (DOF, 2010, Rzedowski y Rzedowski, 2001), las cuales proporcionan una estructura a la comunidad acuática, creando microhábitats que directamente afectan la abundancia y diversidad de organismos que llegan a colonizarlas, tanto macroinvertebrados (insectos, crustáceos) como microinvertebrados del zooplancton, por ejemplo rotíferos de vida libre y sésiles (Van Donk y Van de Bund, 2002; Rocha-Ramírez *et al.*, 2014).

Conocer y entender el funcionamiento de los sistemas acuáticos de acuerdo a las interacciones entre la riqueza de especies y su ambiente, permite mejorar el monitoreo y mantenimiento de los cuerpos de agua, lo que favorecería el cuidado y protección de reservorios de los que se obtiene agua para diversos usos (Dodson, 2001; Danielsdottir y Brett, 2007). Además, los estudios de diversidad zooplanctónica en la Limnología, son importantes para la predicción de los efectos provocados por el cambio climático que incluye la pérdida de la biodiversidad (Nyman *et al.*, 2005).



## Justificación

Xochimilco es un sitio de gran importancia cultural, económica, turística, antropológica y biológica, pero se encuentra impactado por la creciente demanda de recursos naturales debido al aumento del asentamiento urbano, siendo un lugar de gran importancia se debe de contar con elementos disponibles que indiquen la necesidad del cuidado y conservación de los cuerpos de agua presentes en esta zona, por lo que estudios sobre el zooplancton forman parte de esta necesidad de conocer y entender lo que ocurre en un sitio tan atrayente y así aportar conocimiento a la comunidad (Zambrano *et al.*, 2012).

Se conoce en especies de organismos planctónicos el efecto que tienen las variables físicas y químicas sobre su comportamiento en los cuerpos de agua, pero considerando las plantas acuáticas y la fauna que alberga alrededor o sobre éstas es escaso, sin embargo, se sabe que en la zona litoral en presencia de macrófitas, se puede esperar una alta diversidad en comparación con la zona pelágica y que la dinámica en estos sitios es compleja y poco entendida (Ruttner-Kolisko, Nogrady *et al.*, 1993; Van Donk y Van de Bund, 2002).

La información derivada del presente trabajo de investigación, tanto de los rotíferos como los parámetros físicos y químicos, formarán parte del acervo bibliográfico que permitirá en un futuro tomar en cuenta este tipo de estudios y conocer más sobre la importancia de las comunidades zooplanctónicas asociadas a macrófitas y así seguir desarrollando nuevos trabajos para el manejo, mantenimiento y conservación de los cuerpos de agua.



## **Pregunta de investigación**

En el lago de Xochimilco, ¿El lirio acuático, tendrá como fauna asociada a los rotíferos sésiles y la distribución de éstos tendrá alguna relación con los parámetros físicos y químicos del agua?

## **Objetivo General:**

Evaluar la diversidad espacio-temporal de rotíferos sésiles en el sitio Ramsar de Xochimilco.

## **Objetivos particulares:**

- 1- Determinar la riqueza taxonómica de rotíferos sésiles del Sitio Ramsar Lago de Xochimilco.
- 2- Conocer la distribución espacial y temporal de los rotíferos sésiles durante un ciclo anual en el sitio seleccionado.
- 3- Determinar la densidad específica temporal durante un ciclo anual.
- 4 - Estimar la diversidad de la comunidad de rotíferos sésiles.
- 5- Caracterizar el sitio de estudio mediante las variables físicas y químicas del agua.

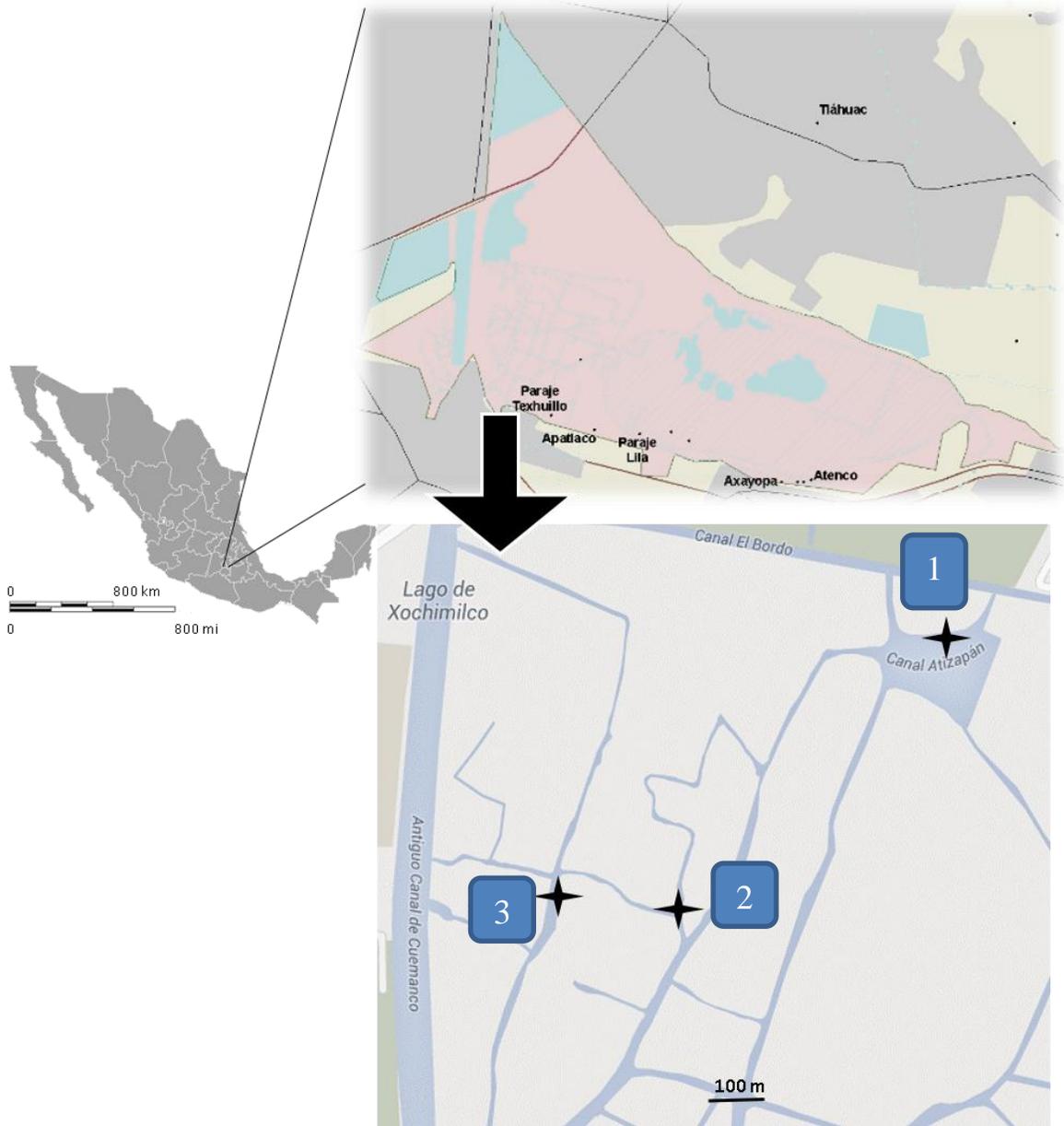


## Área de estudio

Se realizó el presente trabajo en el lago de Xochimilco, que se encuentra dentro del Sitio Ramsar “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco” (figura 2) que se ubica en la delegación de Xochimilco, Ciudad de México, y representa cerca del 7.9 % de la superficie del Distrito Federal (INEGI, 2006). Las coordenadas geográficas son: 19°15'11'' y 19°19'15'' latitud Norte, 99°00'58'' y 99°07'08'' longitud Oeste. Tiene una altitud promedio de 2240 msnm y de acuerdo a la clasificación de Köppen modificado por García (1988), el clima es templado sub-húmedo con lluvias en verano (C(w)). Presenta una temperatura media anual entre 12 y 18°C y una precipitación media anual de 600 mm, siendo junio y septiembre los más lluviosos (INECOL, 2002).

Esta área es de gran importancia debido a que alberga a una gran diversidad de flora y fauna, siendo el hábitat de especies endémicas como el ajolote (*Ambystoma mexicanum*), la rana Moctezuma (*Lithobate montezumae*) y el pato mexicano (*Anas platyrhynchos diazi*), sin embargo algunas de las especies presentes se encuentran en alguna categoría de riesgo según la NOM-059-ECOL-2010, también sirve de refugio temporal para la una gran diversidad de aves que migran cuando la temporada de invierno se ubica en otra zona geográfica, logrando encontrar hasta 163 especies de aves tanto locales como migratorias (DOF, 2010).





*Figura 2. Ubicación del sitio Ramsar Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco (mapa superior derecho) u los 3 sitios de muestreo.*



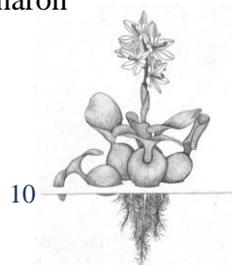
## Materiales y métodos

### *Muestreo en campo y variables fisicoquímicas*

La Universidad Autónoma Metropolitana, en su Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuernavaca (CIBAC) permitió el acceso al canal de Atizapán, proporcionando a través del Biól. Fernando Arana y el Fis. Arturo Villa, el uso de trajineras para el recorrido entre los canales hacia los sitios de muestreo Fig. 2, que fueron seleccionados por la facilidad de acceso y la presencia de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*).

En los órdenes Flosculariaceae y Collothecaceae se encuentran los rotíferos sésiles, los cuales se examinan a partir de muestras vivas para observar estructuras que ayudan a su determinación taxonómica a nivel de especie, debido a que, con muestras fijas no son visibles (Clifford, 1991, Segers *et al.*, 2010). Se recolectaron raíces de la macrófita presente en el humedal, únicamente de *E. crassipes*, las cuales se trasladaron al laboratorio de Zoología acuática de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala (UNAM), en frascos transparentes de plástico con capacidad de 350 ml añadiendo agua del sitio de recolecta. El muestreo se realizó mensualmente comprendiendo un ciclo anual entre marzo de 2015 y abril de 2016.

Se determinaron las siguientes variables físicas y químicas en los puntos de muestreo seleccionados por separado y en intervalos mensuales a lo largo de un año, *in situ*: la temperatura, Oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación de oxígeno se utilizó un oxímetro modelo YSI 55, la Conductividad específica ( $K_{25}$ ) se tomó con un conductímetro modelo Conductronic CL8, para el pH se utilizará un medidor de pH HI 991001, la transparencia se registró utilizando el disco de Secchi, la clorofila se midió por flourometría en vivo usando un fluorómetro modelo Aquaflor marca Turner Designs. Durante el muestreo en campo se recolectó muestra de agua en frascos ámbar de 900 ml manteniéndolos en frío hasta llegar al laboratorio y medir diversas variables como: dureza mediante la técnica titulométrica con EDTA, se midió la turbidez con un turbidímetro 11150-220V y los nutrientes como nitrógeno en forma de nitratos ( $N-NO_3$ ) y fosforo en forma de fosfatos ( $PO_4-P$ ) se determinaron utilizando un sistema fotométrico modelo YSI 9100.



### *Trabajo de laboratorio*

La determinación de las especies se realizó en el laboratorio de Zoología acuática de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, utilizando microscopio estereoscópico y microscopio óptico, se tomaron fotos utilizando una cámara Motic 3000. Para determinar la riqueza específica se utilizaron las claves taxonómicas de Edmondson (1949), Koste (1978) y Segers (2007). En algunos casos fue necesario observar el trofi, el cual se obtuvo mediante el uso de hipoclorito de sodio comercial concentrado, se usó un gotero y gota por gota para deshacer los organismos hasta que el trofi fue visible. Para determinar la abundancia del zooplancton se tomó raíz de la macrófita (*Eichhornia crassipes*) y se cuantificaron los individuos presentes en 5 raíces tomadas al azar en cada sitio respectivamente, además se realizó el método de volumen desplazado (Rocha-Ramírez *et al.*, 2007), obteniendo individuos por mililitro de raíz desplazada (Rd).

Se realizaron diagramas de Olmstead-Tukey para jerarquizar la dominancia de las especies de rotíferos sésiles encontrados en el sistema, usando los datos de frecuencia y abundancia (Sokal & Rohlf, 1981) mediante el programa Sigmaplot v11.0.

La diversidad se calculó con el índice de Shannon-Wiener (1949) ampliamente usado.

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

Donde:  $\sum$  = es el número de especies (Riqueza específica),  $p_i$  = proporción de individuos de la especie,  $i$  = total de individuos (abundancia relativa de la especie),  $s$  = número total de especies presentes en la muestra.

Además, se realizó un análisis exploratorio con un Escalamiento Multidimensional (MDS) para determinar las similitudes de los sitios de muestreo, se hizo mediante el índice de Bray-Curtis para datos biológicos y a partir de una matriz de distancias euclidianas para datos ambientales, además se evaluó mediante un ANOSIM con el programa PRIMER-E 6 (Clarke y Warwick, 1994; Legendre y Legendre, 1998; Borg y Groenen, 2005).



Para conocer qué factor puede explicar el patrón de la composición de los rotíferos sésiles, se realizó una correlación entre la fauna de rotíferos y los parámetros físicos y químicos del agua, para esto se utilizó la herramienta BEST (Bio-Env) con el programa PRIMER-E 6, el cual arroja una lista de variables principales que se correlacionan con la biota (Clark y Warwick, 2001; Pomerleau *et al.*, 2011).

Con las variables obtenidas del análisis BEST y las abundancias de especies se realizó un análisis de correspondencia canónica con el programa CANOCO v.4.5 para obtener una representación gráfica del comportamiento de las distintas variables y su efecto sobre las especies de zooplancton encontradas, las correlaciones entre los parámetros y las abundancias se determinaron mediante una correlación de Pearson (Ekhande *et al.*, 2013; Paturej *et al.*, 2016).



## Resultados

### *Riqueza taxonómica*

Durante el periodo de abril (2015) a marzo (2016), se registraron un total de 18 especies de rotíferos sésiles, pertenecientes a 3 familias y 8 géneros, además, mientras que el total de especies fueron nuevos registros para el sitio de estudio, 11 especies fueron para el País,

De acuerdo a una curva de acumulación de especies (Fig. 3), desde el primer mes de muestreo (abril 2015) se reconocieron 13 especies de rotíferos sésiles y a partir del décimo mes, el número de registros nuevos aumentó a 18, los cuales se mantuvieron hasta el final de estudio.

Mediante un análisis de escalamiento multidimensional (MDS) de la composición taxonómica y su abundancia (Anexo 2, Fig. 1), no presentó diferencias de acuerdo al sitio de muestreo (Anexo 2, Fig. 2), por lo que se consideraron en conjunto los tres sitios para los siguientes análisis.

Los rotíferos sésiles tuvieron una ocurrencia heterogénea a lo largo del año, en promedio se registraron 13 especies mensualmente, y en septiembre hubo la mayor riqueza (16 especies). La mayoría de especies (72 %) estuvieron presentes durante todo el estudio salvo algunas excepciones que se encontraron inclusive en 1 solo mes (tabla 2).

En el lago de Xochimilco, se presentó una densidad media anual de rotíferos sésiles de 629 ind ml<sup>-1</sup> de raíz desplazada (Rd), durante la temporada de secas cálidas, se observó la menor densidad (300 ind ml<sup>-1</sup> Rd), mientras que a inicios de lluvias (junio) y durante secas frías (diciembre) se presentaron altas densidades (1039 y 1167 ind ml<sup>-1</sup> Rd respectivamente) (Fig. 4a). Debido a que los rotíferos sésiles están bien representados en 3 familias, se consideraron en conjunto para su análisis, así que se estimó una densidad media anual de 227 ind ml<sup>-1</sup> Rd en el caso de Flosculariidae que además presentó su mayor densidad (406 ind ml<sup>-1</sup> Rd) a inicios de lluvias, Collothecidae (401 ind ml<sup>-1</sup> Rd en promedio anual) tuvo su más alta densidad hacia la temporada de secas frías (890 ind ml<sup>-1</sup> Rd) y Atrochidae fue alrededor de 1 ind ml<sup>-1</sup> Rd (Fig. 4).

En la Fig. 5 se observa la variación en porcentaje de las familias de rotíferos durante el año de estudio, Collothecidae estuvo representada todo el año (60 % media anual) siendo en secas frías cuando estuvieron en mayor proporción; Flosculariidae (39 %) dominó solo en secas cálidas.



Tabla 1. Riqueza específica de rotíferos sésiles del sitio Ramsar Lago de Xochimilco.

<b>Superorden Gnesiotrocha</b>	
<b>Orden</b>	<b>Orden</b>
<b>Flosculariaceae</b>	<b>Collothecaceae</b>
<b>Familia</b>	<b>Familia</b>
<b>Flosculariidae</b>	<b>Collothecidae</b>
1. <i>Beauchampia crucigera</i> (Dutrochet, 1812) *	12. <i>Collothea ambigua</i> (Hudson, 1883) *
2. <i>Floscularia melicerta</i> (Ehrenberg, 1832) *	13. <i>Collothea campanulata</i> (Dobie, 1849) *
3. <i>Limnias ceratophylli</i> Schrank, 1803	14. <i>Collothea coronetta</i> (Cubitt, 1896) *
4. <i>Limnias melicerta</i> Weisse, 1848	15. <i>Collothea ornata</i> (Ehrenberg, 1832)
5. <i>Ptygura beauchampi</i> Edmondson, 1940. *	16. <i>Collothea tenuilobata</i> (Anderson, 1889) *
6. <i>Ptygura crystallina</i> (Ehrenberg, 1832) *	17. <i>Stephanoceros millsii</i> (Kellicott, 1885) *
7. <i>Ptygura furcillata</i> (Kellicott, 1889)	<b>Familia</b>
8. <i>Ptygura cf. longicornis</i> (Davis, 1867) *	<b>Atrochidae</b>
9. <i>Ptygura melicerta</i> Ehrenberg, 1832 *	18. <i>Cupelopagis vorax</i> (Leydi, 1857)
10. <i>Sinantherina ariprepes</i> Edmondson, 1939	
11. <i>Sinantherina socialis</i> (Linnaeus, 1758)	

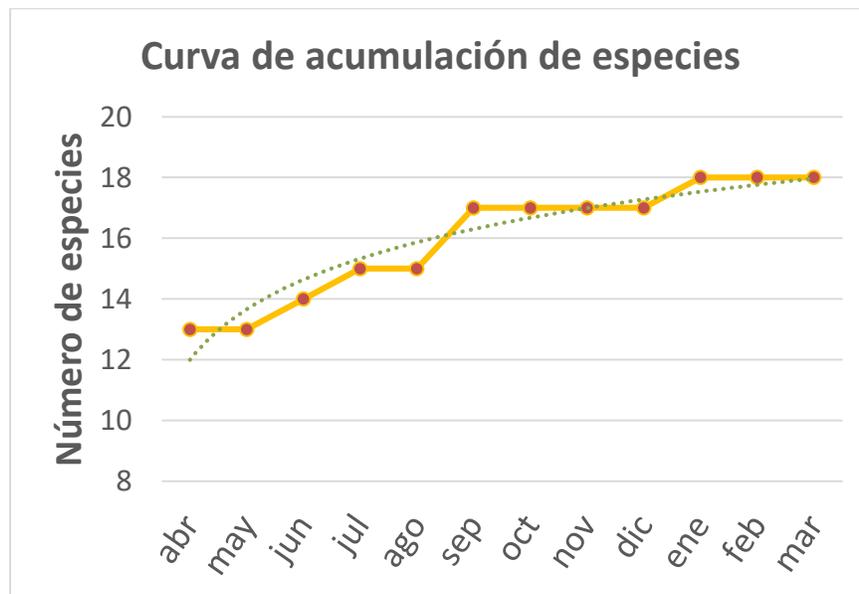


Figura 3. Curva acumulativa de especies durante el estudio en el sitio Ramsar Lago de Xochimilco.



Tabla 2. Presencia y ausencia de las especies de rotíferos sésiles a lo largo de un año (abril de 2015 a marzo de 2016) en el sitio Ramsar Lago de Xochimilco.

Especie	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
<i>Beacuchampia crucigera</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12
<i>Floscularia melicerta</i>	X												1
<i>Limnias ceratophylli</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12
<i>Limnias melicerta</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12
<i>Ptygura beauchampi</i>	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	11
<i>Ptygura crystallina</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12
<i>Ptygura furcillata</i>						X							1
<i>Ptygura longicornis</i>				X	X	X	X	X	X		X		7
<i>Ptygura melicerta</i>										X	X	X	3
<i>Sinantherina ariprepes</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	11
<i>Sinantherina socialis</i>						X			X	X	X	X	5
<i>Stephanoceros millsii</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	11
<i>Collothea ambigua</i>			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	10
<i>Collothea campanulata</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12
<i>Collothea coronetta</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12
<i>Collothea ornata</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12
<i>Collothea tenuilobata</i>	X	X	X	X	X	X	X	X				X	9
<i>Cupelopagis vorax</i>	X					X		X			X		4
Total	13	11	12	13	12	16	13	14	13	13	13	14	



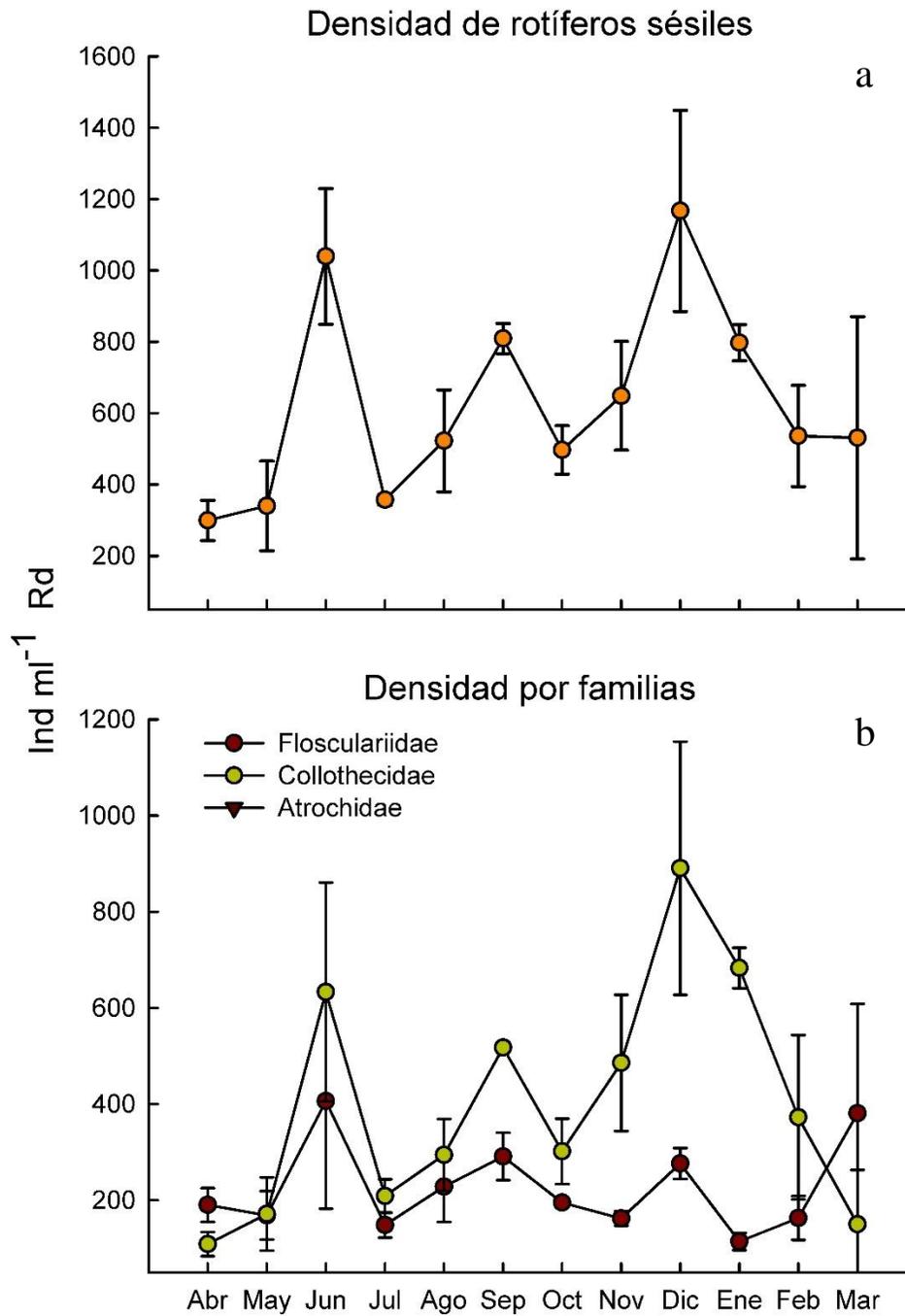


Figura 4. Densidad promedio de rotíferos sésiles, total (a) y por familias (b) entre abril de 2015 a marzo de 2016 del sitio Ramsar Lago de Xochimilco. Las barras indican el error estándar derivado de los 3 sitios de muestreo.



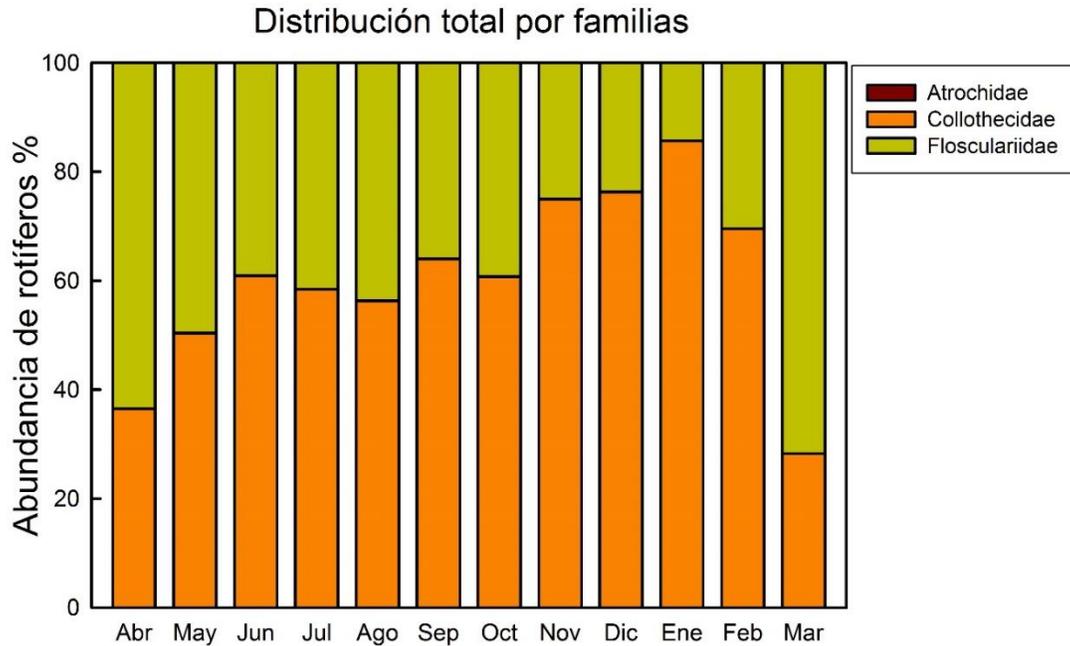


Figura 5 Distribución de las familias de rotíferos sésiles en el sitio Ramsar Lago de Xochimilco.

#### *Dominancia y abundancia de especies*

De acuerdo a la abundancia y la frecuencia de los rotíferos sésiles (diagrama de Olmstead-Tukey), en el sitio Ramsar Lago de Xochimilco, las especies dominantes, es decir, con alta abundancia y alta frecuencia, fueron todas las especies de la familia Collothecidae (6 especies), junto con algunas especies de rotíferos de la familia Flosculariidae (5 especies); como una especie temporal (alta abundancia y baja frecuencia) el rotífero *Sinanotherina socialis*. Con alta frecuencia pero poca abundante, *P. beauchampi* fue una especie común y finalmente, *Ptygura longicornis*, *P. melicerta*, *P. furcillata*, *Floscularia melicerta* y *Cupelopagis vorax* fueron raras por su baja frecuencia y abundancia (Fig. 6).

Las densidades de las especies dominantes fluctuaron durante el año de estudio y entre las que tuvieron una mayor densidad en la temporada de secas cálidas se encontró a *B. crucigera* (33 ind ml<sup>-1</sup> Rd) y *P. crystallina* (89 ind ml<sup>-1</sup> Rd); en lluvias a: *S. ariprepes* (160 ind ml<sup>-1</sup> Rd) y *C. tenuilobata* (54 ind ml<sup>-1</sup> Rd); y en secas frías: *C. ornata* (606 ind ml<sup>-1</sup> Rd), *C. coronetta* (148 ind ml<sup>-1</sup> Rd), *C. campanulata* (314 ind ml<sup>-1</sup> Rd) y *C. ambigua* (32 ind ml<sup>-1</sup> Rd) (Fig. 7)



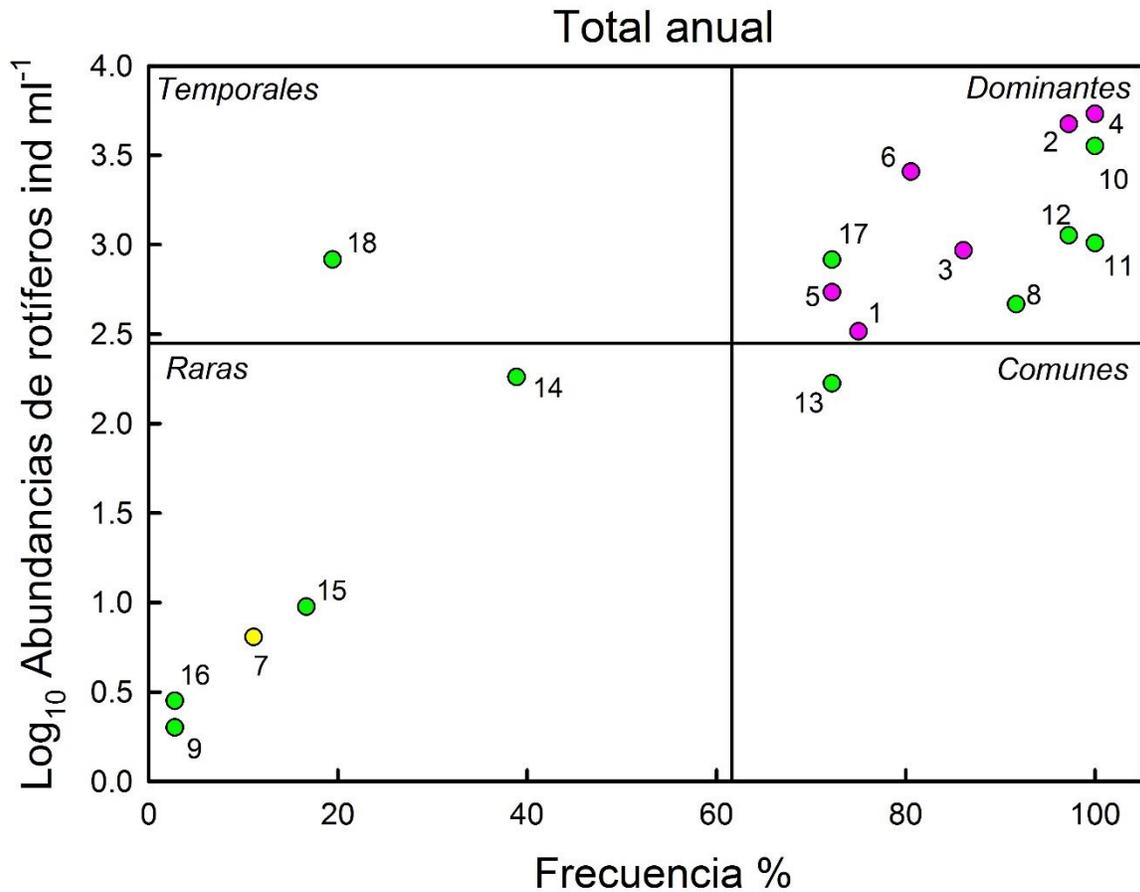


Figura 6. Dominancia de las especies de rotíferos sésiles encontrados en el sitio Ramsar Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco a lo largo de un año (abril de 2015 a marzo de 2016). Dominantes: 1= *Collotheca ambigua*, 2= *C. campanulata*, 3= *C. coronetta*, 4= *C. ornata*, 5= *C. tenuilobata*, 6= *Stephanoceros millsii*, 8= *Beauchampia crucigera*, 10= *Limnias ceratophylli*, 11= *L. melicerta*, 12= *Ptygura crystallina*, 17= *Sinantherina ariprepes*; comunes: 13= *P. beauchampi*; temporales: 18= *Sinantherina socialis* y raras: 7= *Cupelopagis vorax*, 9= *Floscularia melicerta*, 14= *P. longicornis*, 15= *P. melicerta*, 16= *P. furcillata*, Familia Collotheceidae (círculos rosas), familia Flosculariidae (círculos verdes), familia Atrochidae (círculo amarillo)



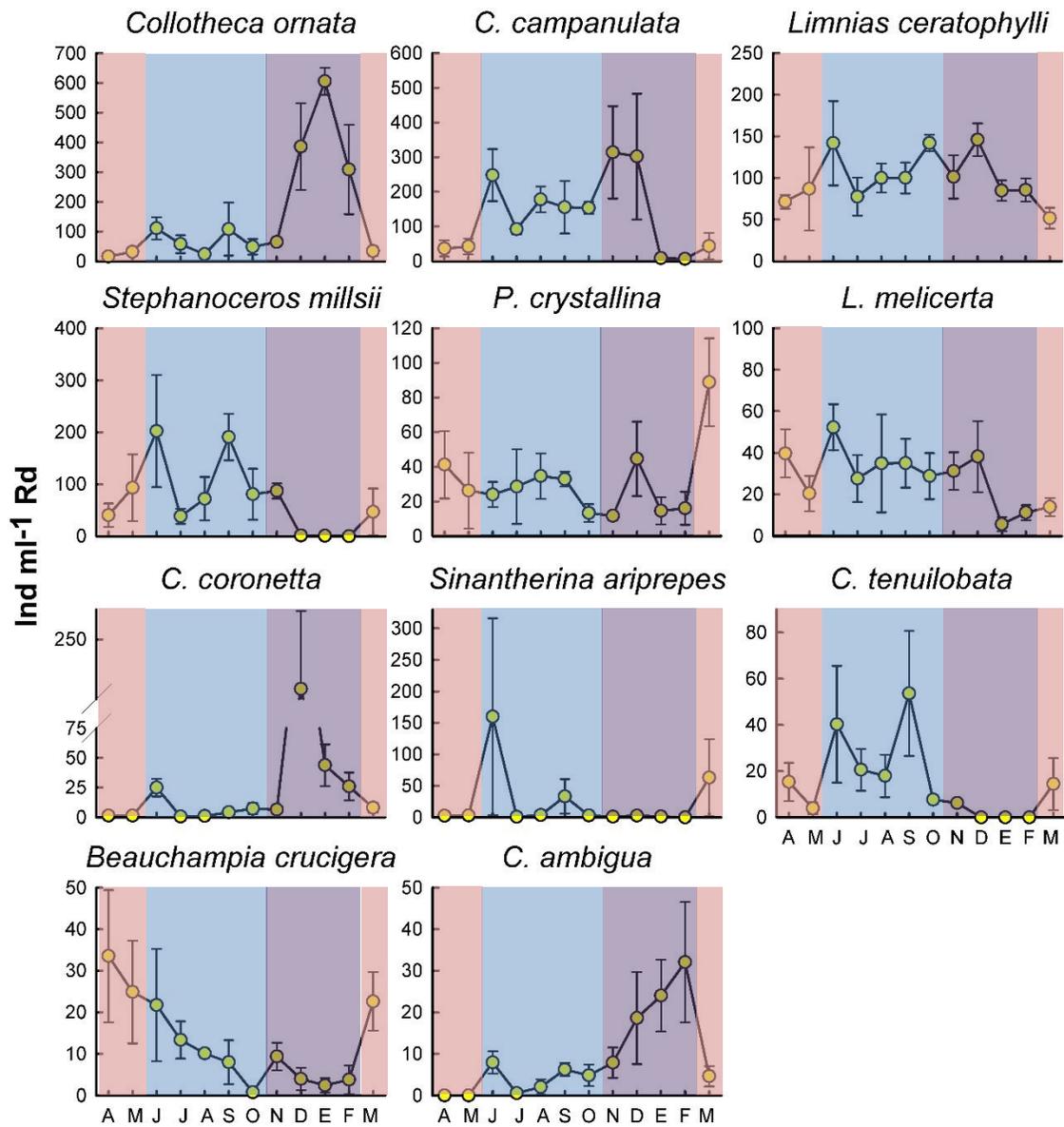


Figura 7 Distribución específica de las especies dominantes, ■ = secas cálidas, ■ = lluvias y ■ = secas frías.



## Índice de diversidad

La diversidad de acuerdo al índice de Shannon-Wiener que ha sido utilizado ampliamente en estudios con rotíferos, tuvo durante secas cálidas la mayor diversidad (2.8 bits ind<sup>-1</sup>), posteriormente osciló por arriba del promedio (2.27 bits ind<sup>-1</sup>) y en temporada de secas frías disminuyó hasta 1.3 bits ind<sup>-1</sup> (Fig. 8). Además, en el mes de alta diversidad, la distribución en las densidades de las especies fue heterogénea en contraste con el mes de baja diversidad en el que se estimó que hubo dominancia por *Collotheca ornata* (Fig. 9).

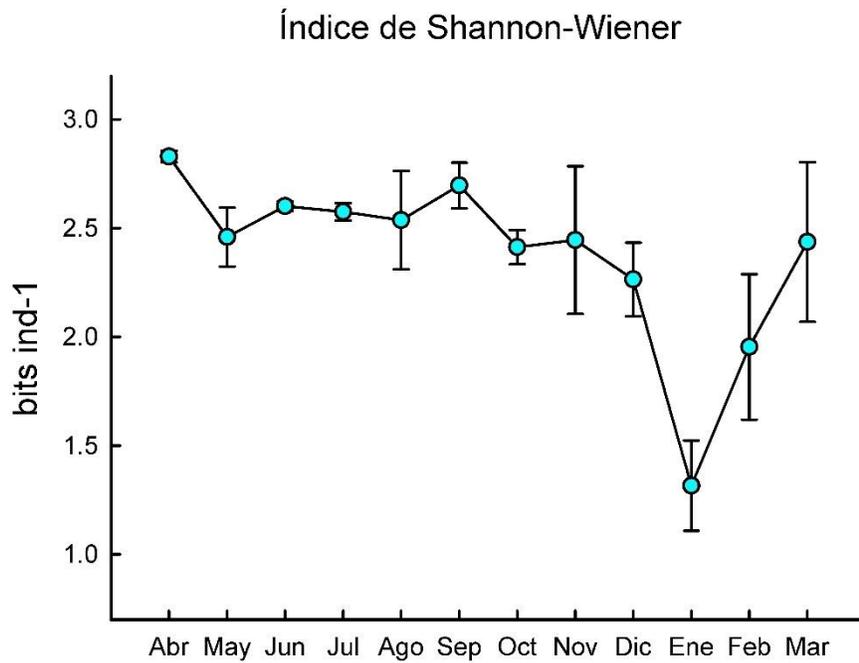


Fig. 8. Variación mensual promedio del índice de diversidad Shannon-Wiener durante el año de estudio en el sitio Ramsar Lago de Xochimilco. Las barras indican el error estándar derivado de los 3 sitios de muestreo.



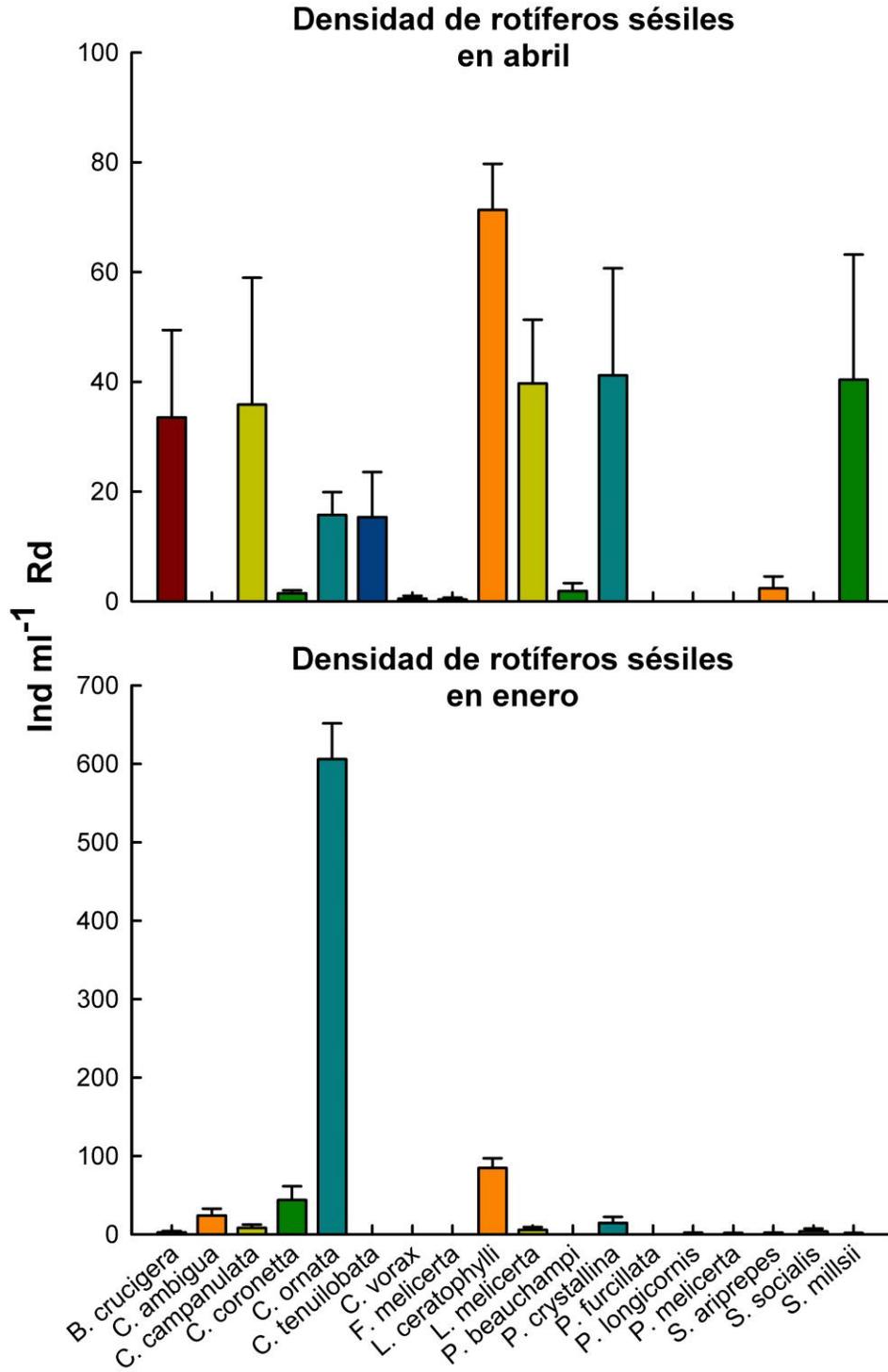


Fig. 9. Densidad de las especies presentes en el mes de abril y enero.



## *Variables físicas y químicas*

Al igual que la estructura poblacional de los rotíferos sésiles mencionado antes, y la similitud que se presentó entre sitios de muestreo, en cuanto a los parámetros ambientales y el análisis de escalamiento multidimensional (Anexo 2, Fig. 14), fueron los tres sitios similares significativamente (Anexo 2, Fig. 15) por lo que se consideraron de manera conjunta en los resultados siguientes.

La temperatura se midió *in situ* entre las 10 y las 12 am mensualmente durante un año (abril de 2015 a marzo de 2016); el promedio anual que se registró fue de 19 °C y osciló entre 13.5 °C y 21.2 °C, siendo en enero la menor temperatura y abril la más alta. En cuanto al oxígeno disuelto en el agua, se registró un promedio anual de 8.7 mg L<sup>-1</sup>, presentándose en julio la menor cantidad (2.6 mg L<sup>-1</sup>) y en temporada de secas frías, el mayor valor de oxígeno disuelto (17.8 mg L<sup>-1</sup>). El porcentaje de saturación de oxígeno presentó variaciones entre 28.2 % en el mes de julio hasta 161.3 % en diciembre, con un promedio anual de 91 % de saturación. Una manera de medir la cantidad de sales disueltas en el agua o de los iones inorgánicos disueltos, es mediante la conductividad, en el presente trabajo se obtuvo un promedio anual de 875 µS cm<sup>-1</sup> de conductividad (K<sub>25</sub>), en mayo fue bajo (685 µS cm<sup>-1</sup>), mientras que hubo un comportamiento bimodal en los valores altos de conductividad a inicios y finales de lluvias se registró 1231 y 1263 µS cm<sup>-1</sup> respectivamente. El Lago de Xochimilco tuvo características alcalinas, con un promedio anual de pH de 8, variando desde un pH de 7, con una tendencia a aumentar hacia la época de secas frías (9.5). La transparencia, medida a partir del disco de Secchi, tuvo un promedio anual de 28 cm de profundidad y durante el año hubo 2 momentos donde la transparencia se redujo, el primero fue en mayo (21.1 cm) y el segundo a finales de secas frías en febrero (16.7 cm), por otra parte, los valores altos de transparencia se presentaron en temporada de lluvias (entre 34 y 36 cm). Por medio de la turbidez se midió la cantidad de partículas suspendidas presentes en el agua. La turbidez del sistema osciló alrededor de 11 NTU como promedio anual, a finales de secas cálidas y final de secas frías donde se presentó la mayor turbidez (17.6 y 28 NTU respectivamente) y en diciembre se vio la más baja turbidez de hasta 5 NTU (Fig. 23). La composición de los cationes tales como CaCO<sub>3</sub> medidos indirectamente a partir de la dureza total, mostró que la composición de cationes



caracterizó a Xochimilco como un lago de aguas duras, ya que se obtuvo como promedio anual de  $254 \text{ mg L}^{-1}$  ( $\text{CaCO}_3$ ); en temporada de secas se obtuvo una baja dureza (entre  $152$  y  $195 \text{ mg L}^{-1}$  ( $\text{CaCO}_3$ )) y al contrario los valores altos fueron durante lluvias ( $333 \text{ mg L}^{-1}$  y  $413 \text{ mg L}^{-1}$  ( $\text{CaCO}_3$ )). Por último, el Lago de Xochimilco presentó valores altos en nutrientes. El nitrógeno en forma de nitratos tuvo un promedio anual de  $4.5 \text{ mg L}^{-1}$ ; al inicio de la temporada de lluvia y al final se presentaron los valores elevados ( $8.8$  y  $10.5 \text{ mg L}^{-1}$ ), mientras que en los demás meses osciló entre el promedio. En cuanto a los fosfatos, se mantuvo oscilando entre el promedio anual ( $4.4 \text{ mg L}^{-1}$ ), presentándose solo a inicio de lluvias un pico de  $14.4 \text{ mg L}^{-1}$ , y en noviembre se registró el valor más bajo ( $3.9 \text{ mg L}^{-1}$ ) (Fig. 10).



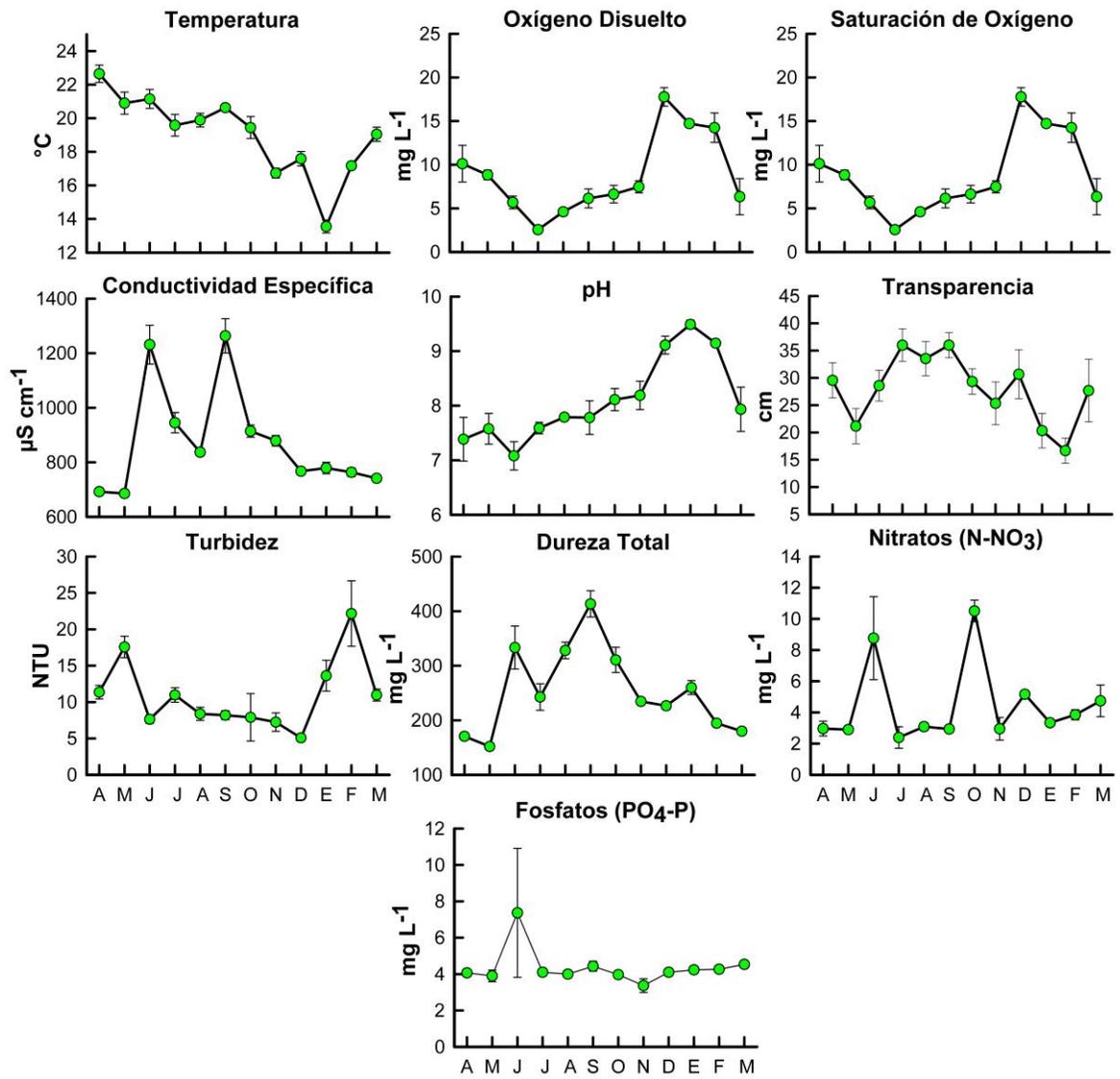


Fig. 10. Parámetros físicos y químicos del sitio Ramsar Lago de Xochimilco.



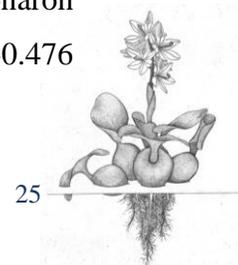
### *Análisis de correspondencia canónica*

En cuanto al análisis de correspondencia canónica, se consideró realizar el análisis a nivel de género considerando la relación que existe entre la forma de vida sésil y que están bien representados en 3 familias de rotíferos sésiles, además se consideró la correlación entre las variables físicas y químicas del agua y las abundancias, que expliquen su comportamiento en el sistema. Aunque se obtuvo 80 % de la variación acumulada que explicaba hasta con un 80% la variación de los organismos, al graficarlos no se encontró una clara representación del análisis, por lo que se trabajó a nivel de especie, obteniendo una explicación del 85 % de la variación acumulada en los dos primeros ejes de ordenación.

Además, se determinaron los parámetros físicos y químicos que mejor explican el patrón en la composición de rotíferos sésiles, el análisis de BEST arrojó 5 variables con una correlación de 0.602, también se encontró que la variación mensual de alguno de los rotíferos sésiles presentes en el Lago de Xochimilco puede ser explicada con una correlación de Pearson significativa ( $p < 0.05$ , 0.001) (Anexo1). Entre las variables que mejor explican el comportamiento de los rotíferos sésiles del Lago de Xochimilco, se encontraron: temperatura, oxígeno disuelto, pH, turbidez y la transparencia a partir del disco de Secchi.

De la familia Collotheceidae, cuyas especies fueron dominantes en el sistema, se diferenciaron en dos grupos, el primero relacionado positivamente con el oxígeno disuelto y el pH: *C. ambigua* (0.415 y 0.545 respectivamente), *C. coronetta* (0.555 y 0.518) y *C. ornata* (0.473 y 0.655) y a su vez de manera negativa a la temperatura (-0.601, -0.507 y -0.615 respectivamente). Otro grupo de especies que se observó fue debido a la correlación negativa al oxígeno disuelto y el pH: *C. campanulata* (-0.479 y -0.432 respectivamente), *C. tenuilobata* (-0.716 y -0.791) y *S. millsii* (-0.630 y -0.773), estas dos últimas especies además tuvieron una correlación positiva con la temperatura (0.536 y 0.499 respectivamente).

Entre las especies de la familia Flosculariidae no se observaron grupos, sin embargo, se presentaron algunas correlaciones significativas: *B. crucígera* y *L. melicerta* se relacionaron con la temperatura (0.420 y 0.465 respectivamente) y el pH (-0.565 y -0.476



respectivamente), además esta última especie con la transparencia (0.457) y junto con *L. ceratophylli* de manera negativa a la turbidez (-0.375 y -0.359 respectivamente), *P. crystallina* se correlacionó con la transparencia (0.355), *P. melicerta* a la temperatura (-0.452) y *S. ariprepes* al pH (-0.415) y a la transparencia (0.425) (Fig. 27).



## Análisis de Correspondencia Canónica

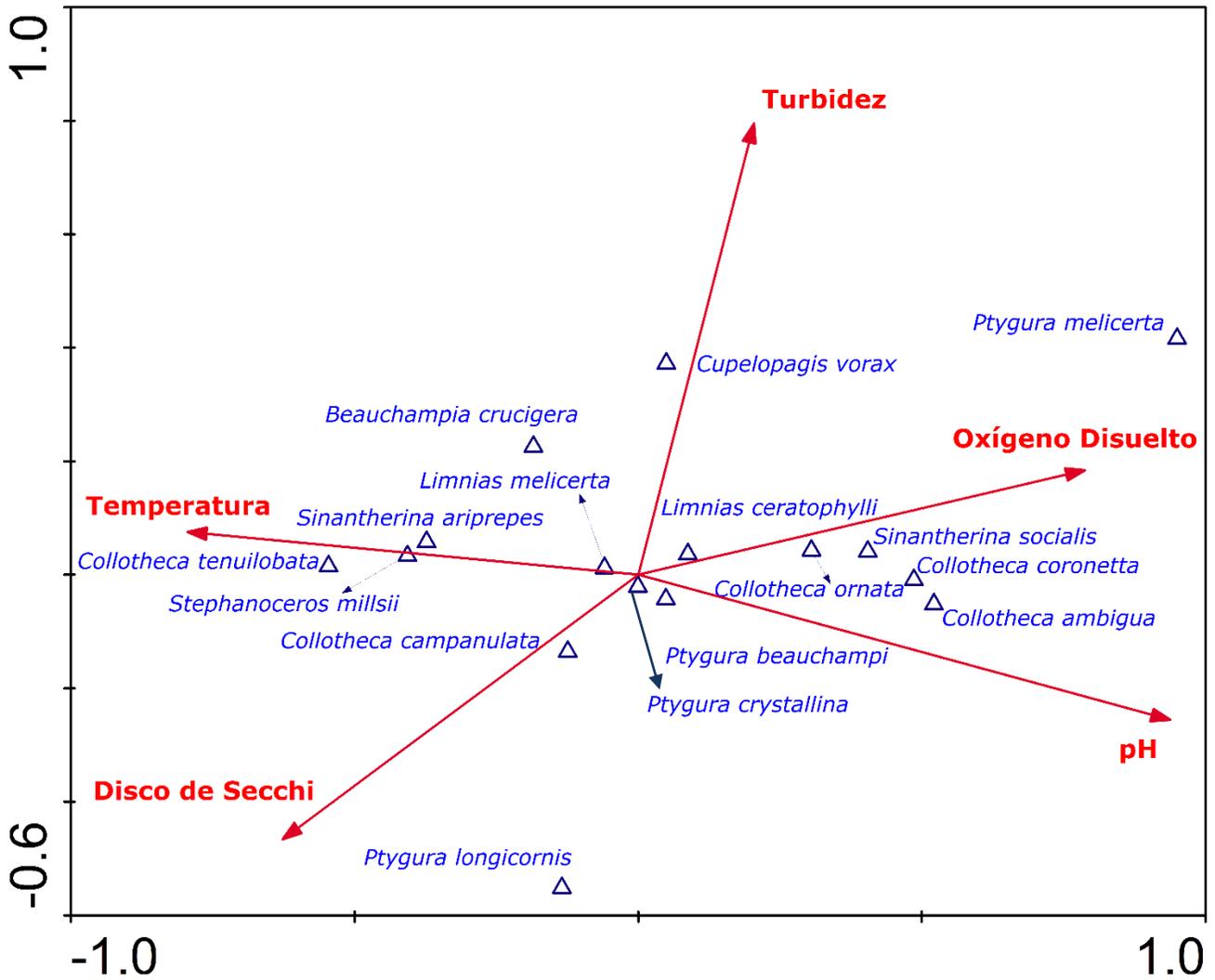


Fig. 11. Análisis de Correspondencia Canónica entre las especies de rotíferos sésiles y las variables físicas y químicas presentes en todo el sistema a lo largo de un año (abril de 2015 a marzo de 2016) en el Sitio Ramsar Lago de Xochimilco



## Discusión

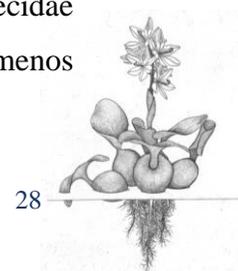
### *Riqueza taxonómica*

Aunque son poco los estudios acerca de los rotíferos sésiles, se tiene registro en el mundo aproximadamente de 100 especies pertenecientes a 3 familias (Wallace *et al.*, 2006) y a pesar de ser un número bajo en comparación con los demás rotíferos de la clase Monogononta (1400 especies) los registros de su distribución muestran por ejemplo, alta riqueza en el Norte de América; Edmondson (1940) en 95 sitios de muestreo (Wisconsin), encontró alrededor de 50 especies de rotíferos sésiles, de los cuales más del 50% de las especies, correspondieron a la familia Flosculariidae. También, Edmondson (1944) en EU registró un total de 43 especies de rotíferos sésiles. Wallace (1977) en un estanque en New Hampshire (EU), registró 17 especies de rotíferos sésiles asociados a macrófitas.

Posteriormente los trabajos se enfocaron a la taxonomía, teniendo nuevos registros y especies para algunas localidades como Tailandia (Banik y Kar, 1995; Banik, 1996, Meksuwan *et al.*, 2011, 2013) Australia (Segers, 2008) Sureste de Asia (Segers *et al.*, 2010) y Brasil (Garraffoni y Lourenço, 2012).

Un trabajo importante como referencia para el presente trabajo, es el artículo publicado por Koste (1975) en Tailandia. A partir de raíces de *Eichhornia crassipes*, reportó un total de 71 especies de rotíferos, de las cuales 3 fueron nuevas especies; además, el trabajo incluyó rotíferos de vida libre, bdelloides y sésiles, estos últimos con un total de 19 especies, además de que la familia Flosculariidae representó más del 70 % de los rotíferos sésiles; en el presente trabajo en raíces de *E. crassipes* fueron encontradas una cantidad muy similar de rotíferos sésiles y de igual forma Flosculariidae se presentó con mayor número de especies. Koste (1975) indica densidades de hasta 1000 ind cm<sup>3</sup>, siendo similar a lo encontrado en el presente trabajo durante la temporada de lluvias.

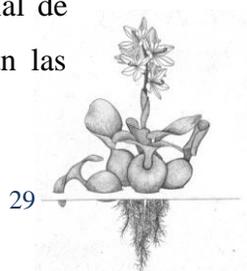
Como ya se mencionó en la mayoría de los casos las familias Flosculariidae o Collotheceidae suelen estar bien representadas en comparación de Atrochidae (pues ésta cuenta con menos



de 5 especies). En el presente trabajo, la familia que dominó fue Collothecidae y en el extenso monográfico de Edmondson (1944) se menciona que esta diferencia en las proporciones de las familias de rotíferos sésiles, puede deberse a los hábitos alimenticios, ya que difieren fuertemente; por un lado Flosculariidae genera corrientes de agua con los cilios de la corona atrayendo el alimento, tal y como: cianobacterias, algas flageladas y bacterias; mientras que Collothecidae carece de una ciliatura que genere corrientes y presenta una corona modificada con largos cilios para la depredación, además presenta un infundíbulo que permanece abierto y al contacto de alguna presa, cierra la corona y dirige la presa hacia el estómago, algunos pequeños ciliados como *Coleps*, algas flageladas, bacterias y pequeños rotíferos suelen ser su alimento, por lo que de acuerdo a las variables físicas y químicas pueden favorecer la presencia de una u otra familia. También menciona que la distribución de los rotíferos sésiles es afectada principalmente por los factores asociados al tamaño del hábitat, como la vegetación presente, por ejemplo: Meksuwan *et al.* (2011) en Tailandia encontraron 44 especies de rotíferos relacionados a 15 plantas acuáticas, sin embargo, las densidades de las especies fueron omitidas; y Segers *et al.* (2011) reportaron 23 especies encontradas en 2 especies de macrófitas. Sin embargo, estos estudios se han enfocado en la descripción taxonómica de las especies, por lo que se conoce poco de la ecología que determina su distribución.

De manera general el sitio Ramsar Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, tuvo una riqueza representada por las 3 familias de rotíferos sésiles, puesto que el estudio se enfocó a organismos fijados a macrófitas y en estos se suele encontrar una mayor diversidad en comparación con zonas planctónicas (Wallace, 1978; Basinska y Kuczynska-Kippen, 2009).

Además, en Xochimilco se conoce la composición del zooplancton, en especial de rotíferos, de los cuales se tiene registro de aproximadamente 80 especies, de acuerdo al nivel de enfoque taxonómico del trabajo. Es importante el lago en cuestión de la rotiferofauna mexicana porque se ha encontrado que representa cerca del 90% de especies registradas en diferentes estados del centro del País, aunado a esto, el presente trabajo aporta cerca de 20 especies más al listado taxonómico total del Lago de Xochimilco, y con el potencial de encontrar una mayor diversidad debido a todos los microhábitats que proporcionan las



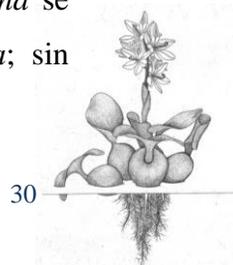
macrófitas presentes en el lago; de acuerdo a la acumulación de especies nuevas que se registraron a lo largo del año de estudio, demuestra la importancia de los estudios a largo plazo para una mejor determinación de los patrones de distribución local y temporalmente, aunado a esto, conocer la diversidad zooplanctónica, permitirá realizar trabajos de monitoreo que puedan indicar el grado de perturbación presente en el lago a partir de los listados taxonómicos (Nandini *et al.*, 2005; Jiménez-Contreras, 2007; Enríquez-García *et al.*, 2009; Castellanos-Páez *et al.*, 2014; Nandini *et al.*, 2016; Stamou *et al.*, 2016)

### *Dominancia y abundancia de especies*

La familia Collothecidae mantuvo una alta frecuencia y abundancia en el sistema de estudio, Banik (1995) encontró en Tripura (India) que algunas especies de rotíferos sésiles principalmente Collothecidae, alcanzaban altas densidades de acuerdo a la época del año, siendo en invierno las mayores densidades que el autor observó (no menciona la cantidad). En Tailandia (Meksuwan *et al.*, 2013) reportó 13 especies y 1 variedad, pertenecientes a Collothecidae.

En el presente trabajo se registró una mayor riqueza de la familia Flosculariidae y pocas especies fueron dominantes a lo largo del año, mientras que en Collothecidae la riqueza de especies fue menor, pero todos los integrantes de la familia dominaron el Lago de Xochimilco.

Especies de la familia Flosculariidae como *Limnias ceratophylli* y *L. melicerta* se han reportado al norte y sur de México, pero no existen datos sobre su abundancia; no obstante, estas especies han sido reportadas en una gran cantidad de trabajos alrededor del mundo (Edmondson, 1944; Koste, 1975; Wallace, 1977; Turner y da Silva, 1992; García-Morales, 2004; Segers *et al.*, 2008; Wallace *et al.*, 2008; Meksuwan *et al.*, 2011). *Beauchampia crucigera*, se ha observado generalmente con alta abundancia (Edmondson, 1945), además de que se ha reportado en asociación con las raíces de *Eichhornia*, ya que probablemente ésta le provee de refugio ante la depredación (Arora y Mehra, 2003). *Ptygura crystallina* se considera cosmopolita y ha sido abundante en macrófitas del género *Utricularia*; sin



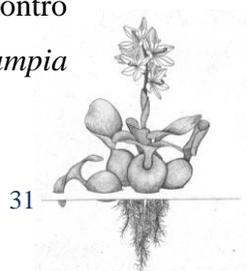
embargo, no hay datos cuantitativos (Segers *et al.*, 2011). *Sinantherina socialis*, es una especie sésil que forma colonias y se ha reportado con una baja frecuencia relativa (17 %) en São Paulo (Nascimento, 2008) pero en ocasiones este género colonial, puede presentar elevadas abundancias de hasta 3500 individuos (Wallace, 1987), lo cual también podría explicar su comportamiento como especie temporal en Xochimilco.

*Ptygura beauchampi* se ha reportado con alta especificidad en la selección de substrato, tanto en campo como en experimentos de laboratorio, en particular con la planta acuática *Utricularia aurea* (Wallace, 1978); sin embargo, también existe la opinión de que se trata de una especie cosmopolita (Segers, 2007) que puede presentar altas densidades sobre *Utricularia sp.* (Segers *et al.*, 2010; Meksuwan *et al.*, 2011). En el presente trabajo se encontró sobre *Eichhornia crassipes* y tuvo una ocurrencia constante durante el año de estudio (abril de 2015 a marzo de 2016).

Las especies que se consideraron como raras, podrían estar influenciadas por el tipo de substrato y por las condiciones del cuerpo de agua, ya que se ha reportado a estas especies con una alta frecuencia sobre algún substrato en especial: *Ptygura longicornis* y *P. melicerta* sobre algas epifíticas (70 al 100 %, respectivamente) y a *C. vorax* sobre macrófitas como *Nymphae odorata* (89 %) (Wallace, 1977).

En la última revisión de rotíferos sésiles de Wallace (1980), da énfasis en la distribución de algunas especies de acuerdo a la selección del substrato por la larva; sin embargo, no menciona trabajos de campo y tampoco la variación temporal en las abundancias de las especies; posterior a esta revisión solo unos pocos trabajos se han ocupado de este tema, algunos de los cuales se mencionarán a continuación.

Como se mencionó anteriormente, especies del género *Collotheca* han mostrado tener altas densidades en invierno (Banik, 1995), lo cual concuerda con el presente trabajo ya que se observó una alta densidad en la época fría, entre los meses de diciembre y febrero en las especies dominantes: *Collotheca ornata* y *C. campanulata*. Edmondson (1945) encontró *Collotheca gracilipes* (sinónimo de *C. campanulata*), *Floscularia conífera* y *Beauchampia*



*crucigera* como especies dominantes sobre *Utricularia* estimando cantidades totales de hasta 25 000 individuos por litro de agua equivalente al volumen de hojas de ésta macrófita. Poco es lo que se sabe de estos organismos a pesar de poder presentar altas densidades, además las técnicas para su determinación son limitadas y este estudio muestra que los organismos pueden estar bien representados y en densidades tan elevadas como las reportadas en otros trabajos.

En algunas especies dominantes, fue posible observar un tipo de sucesión de especies, puesto que *C. ornata* presentó sus mayores densidades en enero y febrero, bajando al siguiente mes para dar continuidad *S. millsii* quien presentó sus menores abundancias entre diciembre y febrero, esto puede deberse a competencia o al efecto de la depredación como, en el caso de *Conochilus unicornis* por *C. dossuarius* como fue observado en el lago Catemaco (Torres-Orozco y Zanatta, 1998) en donde observan que estas 2 especies presentan una sucesión; estos organismos forman colonias en la zona planctónica y dichos autores mencionan la presencia de depredadores como posibles responsables de esta sustitución, por lo que en el presente trabajo puede deberse a la competencia por espacio o a las características de historia de vida de estos organismos, puesto que, están asociados a un substrato en particular y de este depende la respuesta reproductiva y de supervivencia de los rotíferos sésiles (Wallace, 1980).

### *Índice de diversidad*

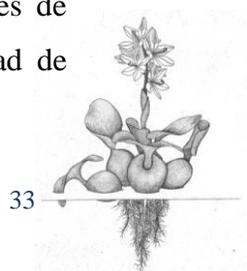
Uno de los índices más utilizados en el estudio de la diversidad de rotíferos, es el índice de Shannon-Wiener, el cual, en el presente estudio indicó una diversidad promedio anual de 2.3 bits  $\text{ind}^{-1}$ , siendo un índice que puede variar de 0 a 5 bits  $\text{ind}^{-1}$ . Los rotíferos sésiles son considerados como organismos “*epifíticos no móviles*”, sin embargo, sobre las macrófitas se encuentran otros rotíferos que tienen la capacidad de desplazarse libremente, a los cuales se les ha considerado como organismos “*epifíticos móviles*” o más aceptado y de mayor uso debido a la confusión que puede haber con los términos anteriores, como: organismos perifíticos (Duggan, 2001). Sulehria *et al.*, (2013) aplicaron el índice de diversidad de Shannon-Wiener, junto con los de dominancia y equitatividad de Simpson, para conocer el



comportamiento de 33 rotíferos asociados a macrófitas que denominaron como epifíticos, aunque solo 2 especies fueron rotíferos sésiles; ellos indican un índice de diversidad, entre 3.45 y 3.47, junto con un índice de dominancia bajo, explicando así la heterogeneidad en la variación de rotíferos a lo largo de su estudio.

En el presente trabajo el sistema estudiado presentó amplias variaciones a lo largo del año, desde 0.9 hasta 3 bits ind<sup>-1</sup>, lo cual nos puede indicar un estado de alteración muy fuerte o que hubo una alta dominancia por alguna especie, como lo que se observó en enero, el mes de más baja diversidad, cuando *C. ornata* presentó un aumento en su densidad y además una disminución en la riqueza y la densidad de las especies que se presentaron en ese mes.

De acuerdo a la diversidad de algunos canales de Xochimilco, en previos trabajos, Nandini *et al.*, (2005) reportó altos índices de diversidad (3-4 bits ind<sup>-1</sup>) para los rotíferos planctónicos y que este puede variar desde 0.5 hasta 5 de acuerdo a la profundidad y la estación de muestreo (Enríquez-García *et al.*, 2009, Nandini *et al.*, 2016). Y aunque se espera que haya una menor diversidad debido al estado eutrófico del Lago de Xochimilco (Nandini *et al.*, 2005), los reportes demuestran lo contrario; si consideramos los valores del índice de saprobiedad específica de los rotíferos sésiles (tabla 1. Sladeczek, 1983), corresponden desde la oligosaprobiedad ( $S_i=1$ , *C. coronetta* y *L. melicerta*) hasta organismos correspondientes a betamesosaprobiedad con aguas ligeramente sucias, que puede usarse en el riego y la pesca (de la Lanza-Espino *et al.*, 2000) ( $S_i=1.51-2.5$ , *C. ambigua*, *C. campanulata*, *L. ceratophylli*, *P. beauchampi*, *S. socialis*, *P. longicornis*, *C. vorax*, *B. crucigera*, *P. melicerta*, *P. crystallina* y *C. ornata*), esto podría estar asociado principalmente a la alta productividad primaria y la gran cantidad de materia orgánica presente en el sistema, lo cual se traduce en una alta cantidad de recursos alimenticios como bacterias, microalgas, ciliados y detrito, disponible para la gran diversidad de rotíferos sésiles y la diversificación de nichos ecológicos como la forma de alimentación de Flosculariidae por formación de corrientes, y Collothecidae y Atrochidae por ser depredadores raptorales, aunado a esto la presencia de macrófitas que tendrán un rol importante proporcionando refugio al zooplancton y como competidores de nutrientes del agua que se relaciona en el crecimiento o control de las poblaciones de fitoplancton, aunque se sabe, en el Lago de Xochimilco existe una gran diversidad de

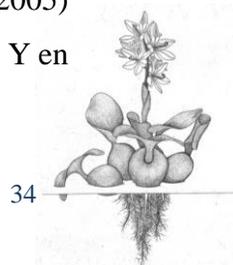


fitoplancton (Edmondson, 1944, 1045; de la Lanza-Espino *et al.* 2000; López-Mendoza *et al.*, 2015; Figueroa-Torres *et al.*, 2015; Montiel-Martínez *et al.*, 2015).

### *Variables físicas y químicas*

Las variaciones físicas y químicas de algunos canales y lagos del Sitio Ramsar Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco son conocidas, ya que ha sido un lugar ampliamente estudiado. Sin embargo, el efecto sobre el estado trófico provocado por la urbanización de la zona aledaña y la descarga de aguas residuales tratadas es muy significativo y mantiene condiciones eutróficas, además de la presencia de otros contaminantes. Todo esto se refleja en una baja calidad del agua (Zambrano, 2012, Nandini *et al.*, 2016).

La temperatura se ha mantenido como en años anteriores entre 12 y 25 °C (Enríquez-García *et al.*, 2009), siendo éste junto con el oxígeno disuelto y el pH, factores que se han asociado principalmente a la regulación de la diversidad y densidad del zooplancton (Berzins and Pejler, 1987, 1989). El oxígeno disuelto varió entre 2.5 y 17.8 mg L<sup>-1</sup>, considerando que el estudio se realizó junto a macrófitas, ya que se ha reportado en zonas con macrófitas desde 0.3 mg L<sup>-1</sup> hasta 14 mg L<sup>-1</sup> en zonas abiertas (Enríquez-García *et al.*, 2009), además recientemente Nandini *et al.*, (2016) reportan valores de hasta 19.3 mg L<sup>-1</sup>. La alcalinidad del sistema se ha mantenido dentro de los valores reportados para los canales de Xochimilco puesto que se ha reportado entre 6.5 y 12 de pH (Enríquez-García *et al.*, 2009) y más recientemente en agua superficial hasta 9.14 (Castellano Páez *et al.*, 2014) y al igual que el presente trabajo, hasta 9.5 de pH (Nandini *et al.*, 2016); la conductividad aumentó de acuerdo a previos registros, ya que se tiene reportado valores entre 500-1000 µS cm<sup>-1</sup> (Enríquez-García *et al.*, 2009) y <1100 µS cm<sup>-1</sup> (Nandini *et al.*, 2016); el disco de Secchi se ha utilizado para determinar la transparencia en los canales Xochimilco (Enríquez-García *et al.*, 2009), reportando entre 9 y 65 cm de profundidad, siendo este un indicador de perturbación puesto que la transparencia disminuyó debido posiblemente a un aumento en la productividad primaria asociada a la eutrofización. Las concentraciones de nutrientes han ido en aumento: el nitrógeno en forma de nitratos se ha reportado entre 3 a 7.8 mg L<sup>-1</sup> (Nandini *et al.*, 2005) mientras que en el presente estudio se registraron valores más altos de hasta 10 mg L<sup>-1</sup>. Y en



cuanto al fósforo en forma de fosfatos al igual que el nitrógeno como parte de los nutrientes, se sabe que en los lagos someros el ciclo de nutrientes es relativamente rápido, además de que la mezcla en la columna de agua favorece que los nutrientes se mantengan presentes (Timotius and Goltenboth, 1995). En el presente trabajo se registró hasta  $14 \text{ mg L}^{-1}$  de fósforo en forma de fosfatos mientras que se ha reportado de  $2.5$  a  $7.8 \text{ mg L}^{-1}$  (Nandini *et al.*, 2016).

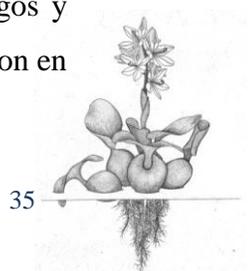
#### *Análisis de correspondencia canónica*

El análisis de correspondencia canónica que se reporta en el presente trabajo es el primero que se genera con datos de campo y aunque existen trabajos con rotíferos de vida libre donde integran una gran cantidad de variables tanto abióticas y bióticas como depredación y explican con más de 60 % de la variación acumulada en los dos primeros ejes (Devetter, 1998), en este trabajo fueron suficientes las variables utilizadas para explicar el mismo porcentaje.

La dureza, el pH, el oxígeno disuelto y la temperatura tuvieron una mayor influencia sobre la distribución de los rotíferos tal y como se ha mencionado con anterioridad (Berzins and Pejler, 1987, 1989). Sin embargo, estas relaciones no solo son positivas sino también en el sentido opuesto, entre los rotíferos asociados a la alta temperatura como fue *B. crucigera*, *L. melicerta*, *C. tenuilobata* y *S. millsii*, se han reportado para zonas con temperaturas de hasta  $29 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Segers *et al.*, 2011).

Otra especie dominante como *C. ornata* (Fig. 15) se relacionó con el oxígeno disuelto, lo cual se observa claramente en la temporada de secas frías donde se registra un aumento en el oxígeno disuelto (Enríquez-García *et al.*, 2009) y *C. ornata* tiene su mayor pico de abundancia tal y como se ha reportado en otras partes en condiciones similares (Sladeczek, 1983; Banik, 1996)

Se determinaron algunas especies correlacionadas al pH como *C. ambigua* junto con *C. ornata*, las cuales se han observado, presentan cierta ocurrencia a presentarse en lagos y cuerpos de agua con pH alrededor de 8 en el Norte de América tal y como se presentaron en



el presente trabajo, además de que está reportado el efecto que tiene el pH sobre la distribución de los rotíferos (Wallace, 1977; Bêrziņš & Pejler, 1987).

De manera general, hubo una gran limitación en el estudio de los rotíferos sésiles dado la baja cantidad de información sobre su distribución y las condiciones en las que estos pueden ser encontrados a lo largo de un año, a pesar de la alta riqueza específica y las abundancias que pueden llegar a presentar, así como la gran variedad de hábitats en los que se pueden encontrar, como son las algas epifíticas y filamentosas, macrófitas, esponjas, briofitas y como parte de la fitotelmata de algunos lugares como las bromelias, sin embargo se puede relacionar de manera general la dominancia de especies de Collothecidae a la gran cantidad de recursos disponibles para su alimentación como bacterias y ciliados, además de que se distribuirán otros recursos como bacterias, detrito y fitoplancton hacia Flosculariidae que genera corrientes para atraer su alimento.



## Conclusiones

- La riqueza taxonómica estuvo representada por 18 especies, pertenecientes a las 3 familias de rotíferos sésiles y 8 géneros, además, 11 de estas especies se agregaron a la rotiferofauna mexicana.
- Durante el año de estudio la riqueza taxonómica fue constante y sólo al final de la temporada de lluvias se registró el mayor número de especies.
- La familia Flosculariidae fue la más diversa, Atrochidae solo presentó 1 especie y Collothecidae dominó a inicio de lluvias y durante secas frías, lo cual estuvo relacionado principalmente con las variaciones de temperatura, oxígeno disuelto y pH.
- La diversidad de rotíferos fue constante durante el año de estudio, en secas cálidas se estimó una alta heterogeneidad de especies, y en secas frías se presentó la menor diversidad debido a la dominancia de *Collotheca ornata* asociada a una baja temperatura y altos valores de oxígeno disuelto y pH.
- El Lago de Xochimilco se mantiene como un cuerpo de agua eutrófico de acuerdo a las variables ambientales seleccionadas.



## Galería fotográfica

Fotografías de las especies de rotíferos sésiles encontrados en el Lago de Xochimilco. \*= nuevo registro para México.

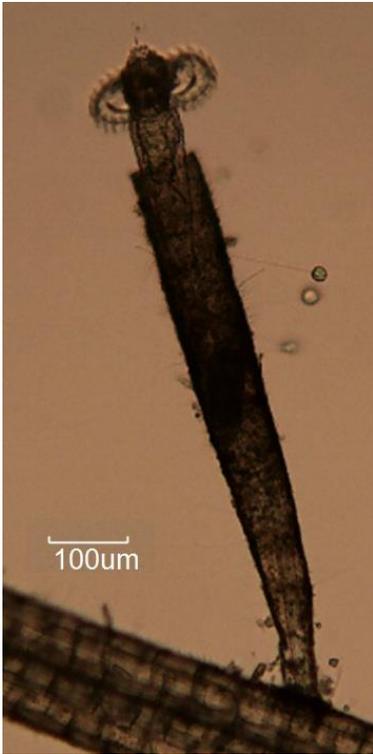


Fotografía 1 y 2. *Beauchampia crucígera*\*



Fotografía 3 y 4. *Floscularia melicerta*\*





Fotografía 5. *Limnias ceratophylli*



Fotografía 6. *Limnias melicerta*

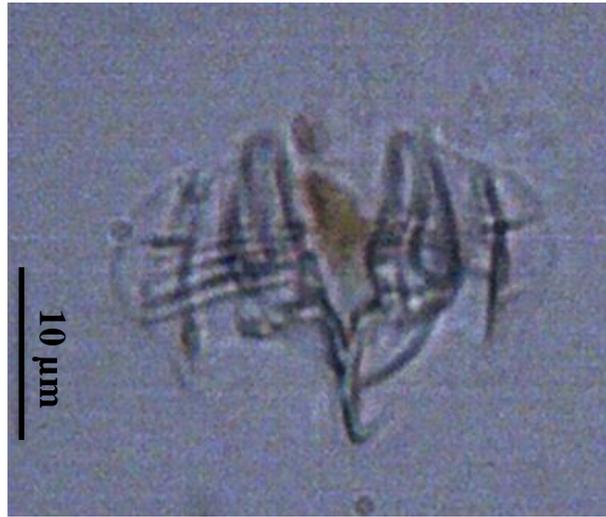


Fotografía 7 y 8. *Ptygura beauchampi*\*

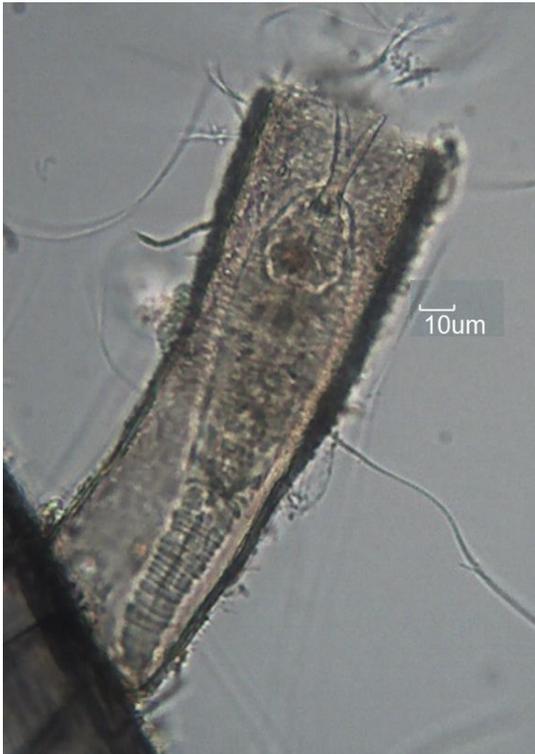




Fotografía 9. *Ptygura crystallina\**



Fotografía 10. Trofi de *Ptygura crystallina*



Fotografía 11 y 12. *Ptygura furcillata*



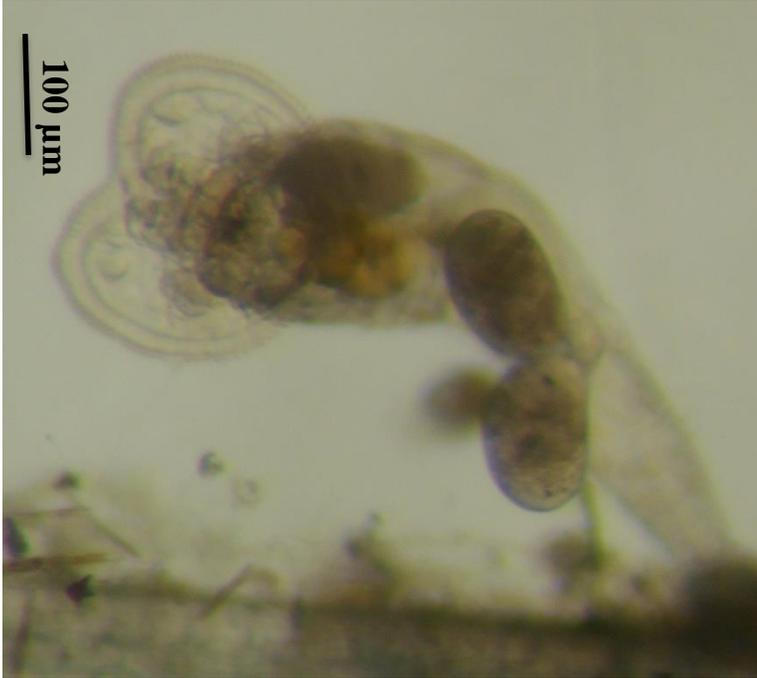


Fotografía 13 y 14. *Ptygura longicornis* \*

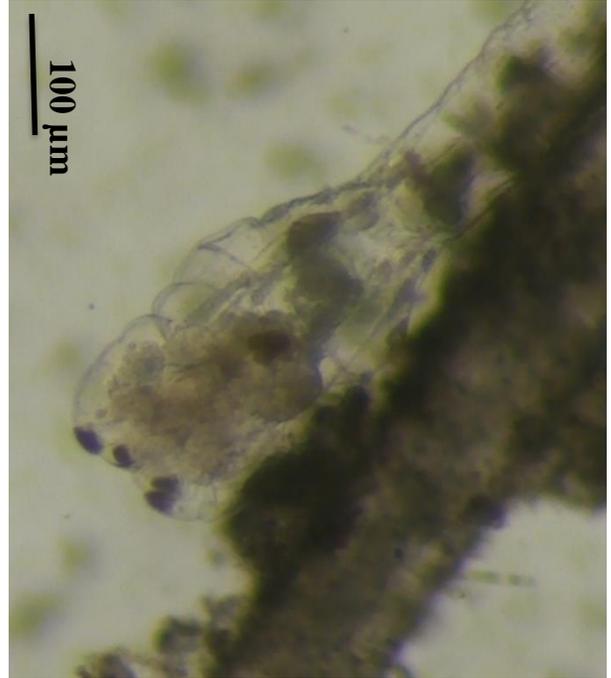


Fotografía 15 y 16. *Ptygura melicerta* \*

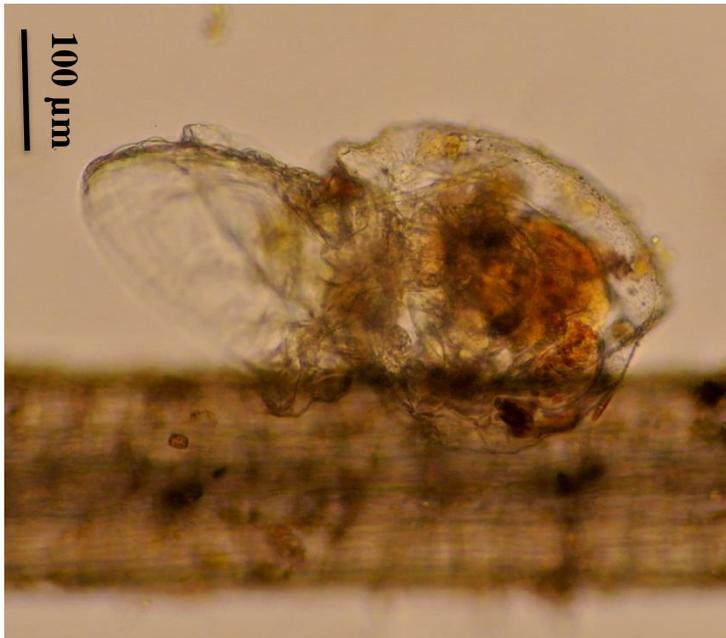




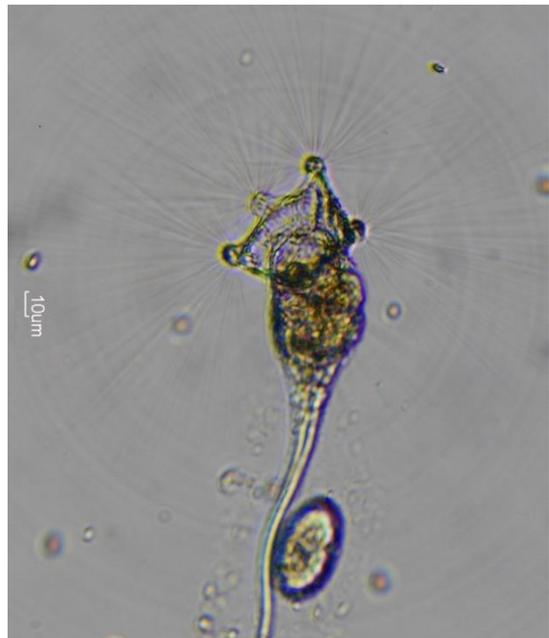
Fotografía 17 y 18. *Sinantherina ariprepes*



Fotografía 19 y 20 *Sinantherina socialis*

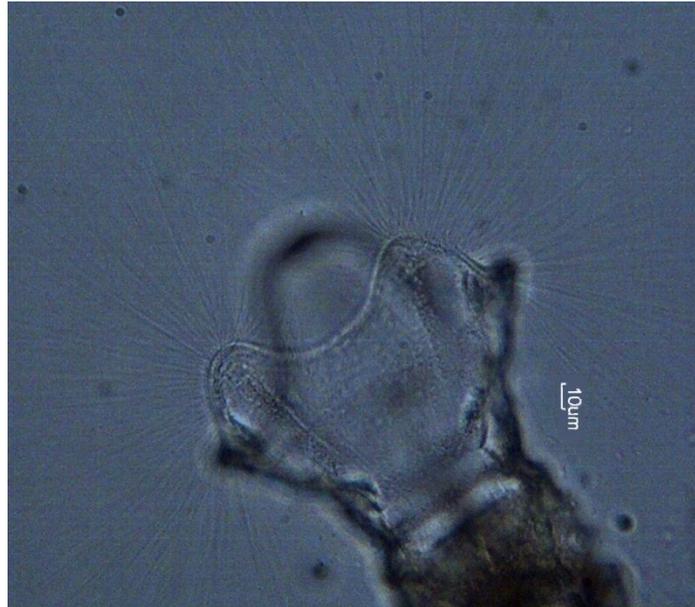


Fotografía 21. *Cupelopagis vorax*



Fotografía 22. *Collotheca ornata*



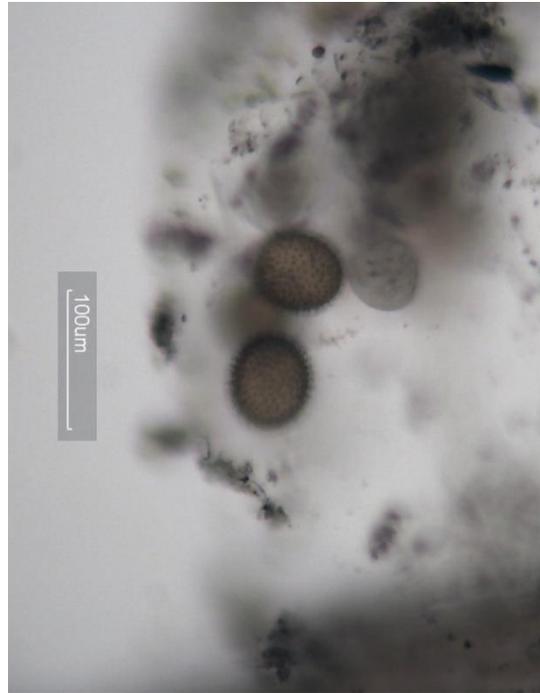


Fotografía 23 y 24. *Collotheca ambigua* \*



Fotografía 25 y 26. *Collotheca campanulata* \*





Fotografía 27. *Collotheca coronetta*\* Fotografía 28. Huevos de resistencia dentro del tubo.



Fotografía 29 y 30. *Collotheca tenuilobata* \*





Fotografía 31 y 32. *Stephanoceros millsii*



## Anexos

### Anexo 1.

*Tabla 1. correlaciones de Pearson entre la densidad de los rotíferos sésiles con los parámetros físicos y químicos en el sitio Ramsar Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, durante abril de 2015 a marzo de 2016. P: \*\*=0.001, \*=0.05*

	Oxígeno Disuelto	Temperatura	pH	Transparencia	Turbidez
1 <i>Beauchampia crucigera</i>	-0.283	<b>0.420**</b>	<b>-0.565**</b>	0.194	0.084
2 <i>Floscularia melicerta</i>	0.194	0.235	-0.281	0.153	0.038
3 <i>Limnias ceratophylli</i>	0.134	-0.093	0.005	0.290	<b>-0.375*</b>
4 <i>Limnias melicerta</i>	-0.293	<b>0.465**</b>	<b>-0.476**</b>	<b>0.457**</b>	<b>-0.359*</b>
5 <i>Ptygura beauchampi</i>	0.138	0.149	-0.042	0.070	-0.256
6 <i>Ptygura crystallina</i>	-0.136	0.230	-0.187	<b>0.355*</b>	-0.314
7 <i>Ptygura furcillata</i>	-0.161	0.097	-0.048	0.229	-0.125
8 <i>Ptygura longicornis</i>	-0.197	0.097	-0.012	0.291	-0.297
9 <i>Ptygura melicerta</i>	0.122	<b>-0.452**</b>	0.262	-0.196	0.198
10 <i>Sinanotherina ariprepes</i>	-0.279	0.241	<b>-0.415**</b>	<b>0.425**</b>	-0.185
11 <i>Sinanotherina socialis</i>	0.085	-0.163	0.118	-0.084	-0.000
12 <i>Cupelopagis vorax</i>	0.005	0.064	-0.050	-0.133	0.110
13 <i>Collothea ambigua</i>	<b>0.415**</b>	<b>-0.601**</b>	<b>0.545**</b>	-0.214	-0.090
14 <i>Collothea campanulata</i>	<b>-0.479**</b>	0.162	<b>-0.432**</b>	<b>0.534**</b>	<b>-0.613**</b>
15 <i>Collothea coronetta</i>	<b>0.555**</b>	<b>-0.507**</b>	<b>0.518**</b>	-0.196	-0.131
16 <i>Collothea ornata</i>	<b>0.473**</b>	<b>-0.615**</b>	<b>0.655**</b>	<b>-0.328*</b>	0.101
17 <i>Collothea tenuilobata</i>	<b>-0.716**</b>	<b>0.536**</b>	<b>-0.791**</b>	<b>0.584**</b>	-0.242
18 <i>Stephanoceros millsii</i>	<b>-0.630**</b>	<b>0.499**</b>	<b>-0.773**</b>	-0.300	-0.278



Anexo2

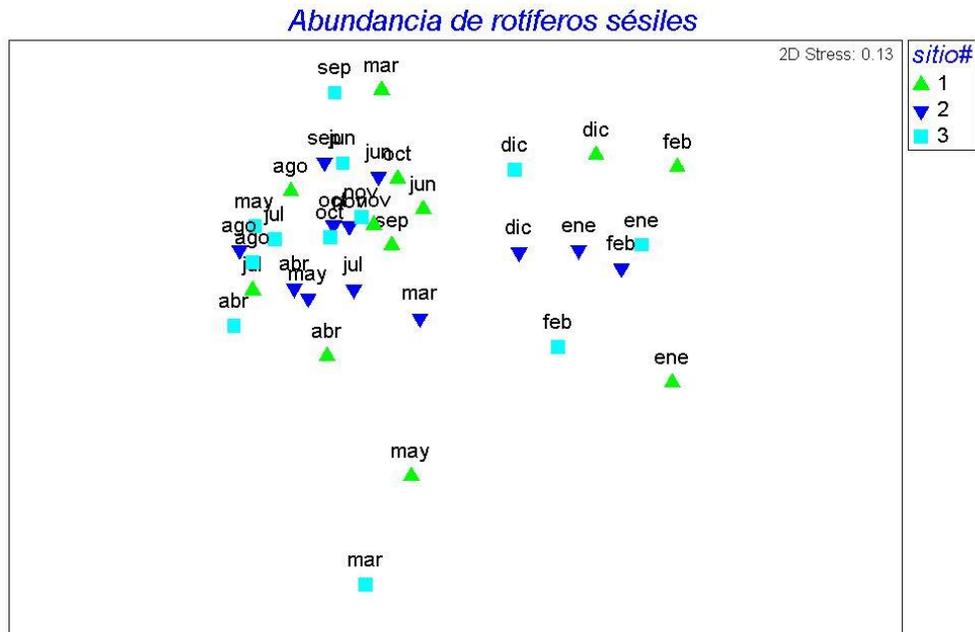


Fig. 1. Gráfica MDS derivado de la abundancia de rotíferos sésiles de 3 sitios en el sitio Ramsar Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

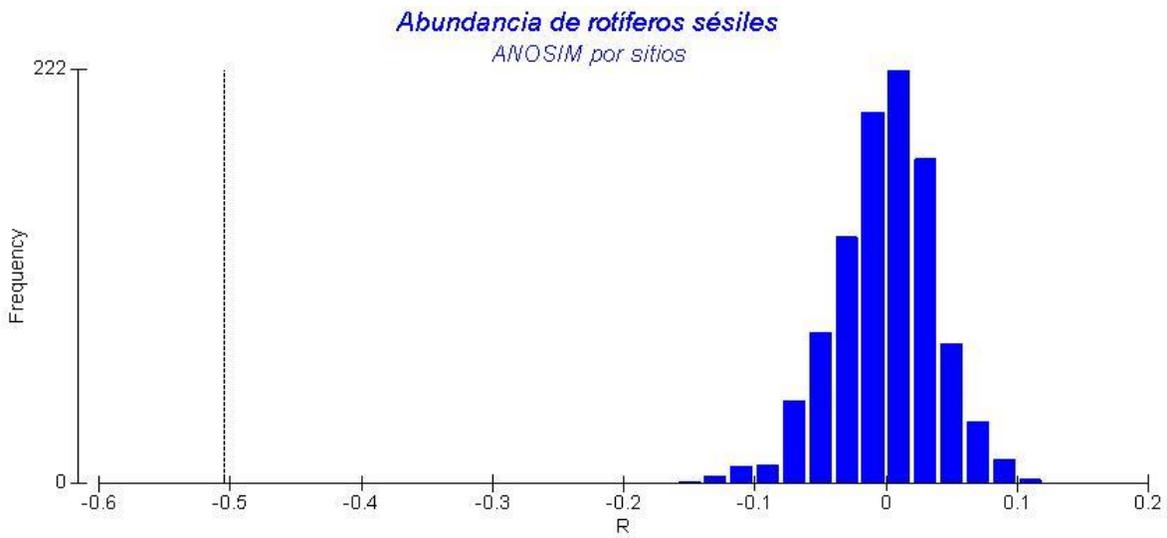


Fig. 2. ANOSIM de la abundancia de rotíferos sésiles por sitio de muestreo en el sitio Ramsar Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.



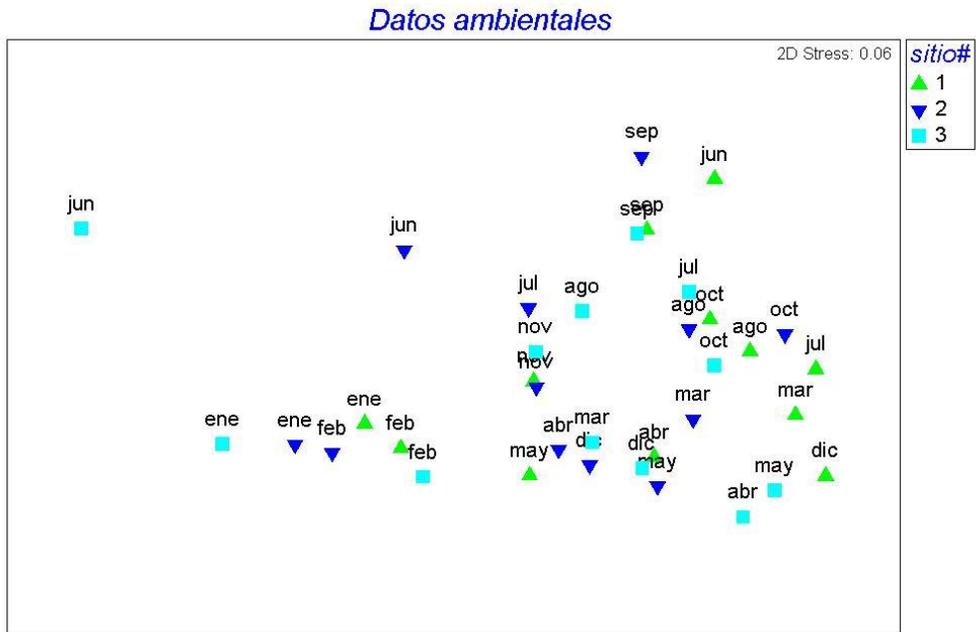


Fig. 3. Gráfica MDS derivado de las variables físicas y químicas de los 3 sitios de muestreo en el sitio Ramsar Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

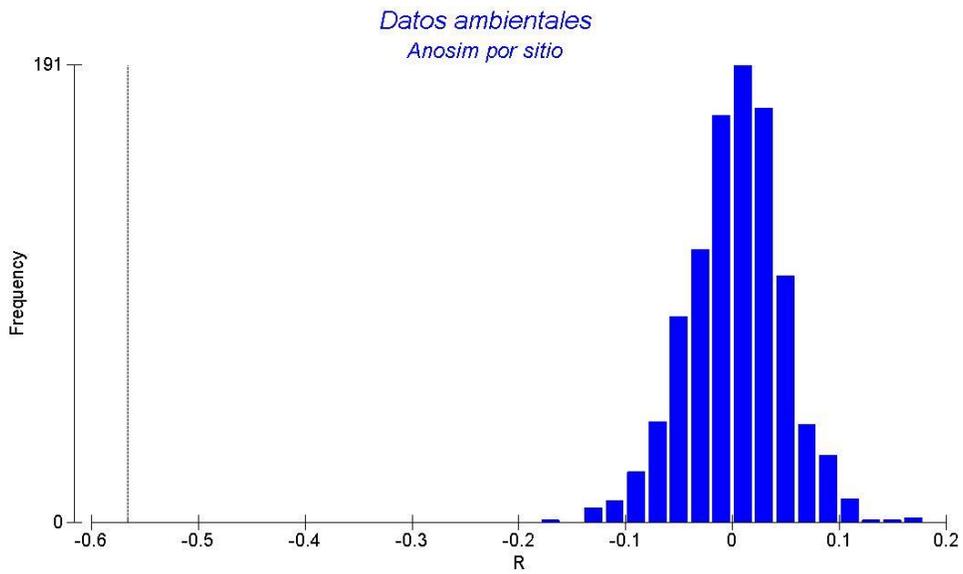


Fig. 4. ANOSIM de las variables físicas y químicas de 3 sitios de muestreo en el sitio Ramsar Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

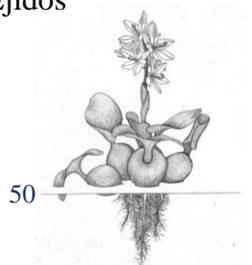


## Referencias

- Armengol, J. 1982. Ecología del zooplancton de los embalses. Mundo científico. La Recherche. 2(11): 168-178.
- Arora, J. y N. K. Mehra. 2003. Species diversity of planktonic and epiphytic rotifers in the backwaters of the Delhi segment of the Yamuna river, with remarks on new records from India. Zoological Studies. 42(2): 239-247.
- Banik, S. y S. Kar. 1995. New Records of Sessile Rotifers from Freshwater Fishponds of Tripura. Proceedings of the National Academy of Science. B61: 225-230.
- Banik, S. 1996. New Records of Sessile Rotifers from Freshwater Fishponds of Tripura. Proceedings of the National Academy of Science. B62(2): 111-116.
- Basińska, A. y N. Kuczyńska-Kippen. 2009. Differentiated macrophyte types as a habitat for rotifers in small mid-forest water bodies. Biologia. 64/6: 1100-1107.
- Berzins, B. y B. Pejler. 1987. Rotifer occurrence in relation to pH. Hydrobiologia. 147: 107-116.
- Berzins, B. y B. Pejler. 1989. Rotifer occurrence in relation to oxygen content. Hydrobiologia. 183: 165-172.
- Borg, I. y P. J. F. Groenen. 2005. Modern multidimensional scaling. Springer New York.
- Butler, N. M. 1983. Substrate selection and larval settlement by *Cupelopagis vorax*. Hydrobiologia. 104(1): 317-323.
- Castellanos-Páez, M. E., M. G. Zamora, M. I. M. D. Benitez. G. M. Garza y R. A. T. 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. 14(27): 27-56.
- Clark, K. R. y R. M. Warwick. 1994. Change in marine communities: an approach to statistical analysis an interpretation. Plymouth: Plymouth Marine Laboratory.
- Clark, K. R. y R. M. Warwick. 2001. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth Marine Laboratory, U. K., 144 pp.
- Clifford, H. F. 1991. Aquatic invertebrates of Alberta. The University of Alberta press. Athabasca Hall, Edmonton, Alberta, Canada. 538 p.



- Danielsdottir, M. G. y M. T. Brett. 2007. Phytoplankton food quality control of planktonic food web processes. *Hydrobiologia*. 589: 29-41.
- De la Lanza, E. G. y C. J. L. García. 2002. Lagos y presas de México. AGT Editor S. A., México.
- De la Lanza, E. G., P. S. Hernández y P. J. L. Carbajal. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Biondicadores). Plaza y Valdés, S. A. de C. V. México. 640 Pp.
- Devetter, M. 1998. Influence of environmental factor son the rotifer assemblage in an artificial lake. *Hydrobiologia*. 387(0):171-178.
- Dodson, S. I. y D. G. Frey. 2001. Cladocera and other branchiopoda. En: Thorp, J. H. y Covich, A. P. (Eds) *Ecology and classification of North American Freshwater Invertebrates*. Academic Press, London, pp. 850-914.
- Duggan, I. C. 2001. The ecology of periphytic rotifers. *Hydrobiologia*. 446/447: 139-148.
- Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana. NOM-059-ECOL-2010. SEMARNAT. México.
- Edmondson, W. T., 1940. The sessile Rotatoria of Wisconsin. *Transaction of the American Microscopical Society*. 59: 433-459
- Edmondson, W. T., 1944. Ecological studies of sessile Rotatoria. Part I. Factors affecting distribution. *Ecological Monographs*. 14: 31-66
- Edmondson, W. T., 1945. Ecological studies of sessile Rotatoria. Part II. Dynamics of populations and social structures. *Ecological Monographs*. 15: 141-172.
- Edmondson, W. T., 1949. A formula key to the Rotatorian genus *Ptygura*. *Trans. am. Microsc. Soc.* 68: 127-135.
- Ekhande, A. P., J. P. Patil, R. D. Patil y G. S. Padate. 2013. Water quality monitoring – study of seasonal variation of rotifer and their correlation with physicochemical parameters of Yashwant lake, Toranmal, India. *Archives of Applied Science Research*. 5(1): 17-181,
- Enríquez-García, C., S. Nandini y S. S. S. Sarma. 2009. Seasonal dynamics of zooplankton in lake Huetzalin, Xochimilco (Mexico City, Mexico). *Limnologica*. 39(4): 263.
- Figuroa-Torres, M. G., F. Arana-Magallón, S. Almanza-Encarnación, M. G. Ramos-Espinosa y M. J. Ferrara-Guerrero. 2015. Microalgas del Área Natural Protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, México. *Ciencia UAT*. 9(2): 15-29.



- Flores-Burgos, J., S. S. S. Sarma Y S. Nandini. 2003. Population growth of zooplankton (Rotifers and Cladocerans) fed *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus acutus* in different proportions. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*. 31(3): 240-248.
- Folt, C. y W. Burns. 1999. Biological drivers of zooplankton patchiness. *Trends in Ecology and Evolution*. 14: 300-3005.
- Fontaneto, D., G. Melone y R. L. Wallace. 2003. Morphology of *Floscularia ringens* (Rotifera, Monogononta) from egg to adult. *Invertebrate Biology*. 122(3): 231-240.
- García, E., 1998. Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köpen. 5ta edición. Comisión Nacional para el Estudio de la Biodiversidad. México.
- García-Morales, A. E. y M. E. Gutiérrez. 2004. Rotifera from southeastern Mexico, new records and comments on zoogeography. *Anales del Instituto de Biología. Serie Zoología*. 75(1): 99-120.
- Garraffoni A. R. S. y A. P. Lourenço. 2012. Synthesis of Brazilian Rotifera: An updated list of species. *Check List*. 8(3): 375-407.
- Gilbert, J. J. 1974. Dormancy in Rotifers. *Transactions of the American Microscopical Society*. 93(4): 490-513.
- INECOL. 2002. Informe final. Programa rector de restauración ecológica área natural protegida zona sujeta a Conservación ecológica “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”. México.
- INEGI. 2006. Cuaderno estadístico de la delegación Xochimilco, Distrito Federal.
- Jiménez C. J. 2007. Diversidad y densidad de rotíferos monogonontos en algunos canales del Lago de Xochimilco. Tesis de Licenciatura. Los Reyes Iztacala. UNAM.
- Koste, W. 1975. Über den Rotatorienbestand einer Mikrobiozonose in einem tropischen aquatischen Saumbiotop, der Eichhornia-crassipes-Zone im Litoral des Bung-Borapet, einem Stausee in Zentralthailand. *Gewasser und Abwasser*. 57/58: 43-58
- Koste, W. 1978. Rotatoria. Die Rädertiere Mitteleuropas (Überordnung Monogononta), Bestimmungswerk begründet von Max Voigt. 2 vols. Gebrüder Borntraeger.
- Kutikova, L. A. 1995. Larval metamorphosis in sessile rotifers. *Hydrobiologia*. 313/314: 133-138.
- Legendre, P. y L. Legendre. 1998. Numerical ecology. Elsevier, Amsterdam. 419 Pp.



- López-Mendoza, Z., R. Tavera y E. Novelo. 2015. El fitoplancton de un canal de Xochimilco y la importancia de estudiar ecosistemas acuáticos urbanos. Revista especializada en Ciencias Químico-Biológicas. 18(1): 13-28.
- Meksuwan, P., P. Pholpuntin y H. Segers. 2011. Diversity of sessile rotifers (Gnesiotrocha, Monogononta, Rotifera) in Thale Noi Lake, Thailand. Zootaxa. 2997: 1-18
- Meksuwan, P., P. Pholpunthin y H. Segers. 2013. The Collotheceidae (Rotifera, Collotheceacea) of Thailand, with the description of a new species and an illustrated key to the Southeast Asian fauna. Zookeys. 315: 1-16.
- Montiel-Martínez, A., J. Ciro-Pérez y G. Corkidi. 2015. Littoral zooplankton-water hyacinth interaction: habitat or refuge?. Hydrobiologia. 755(1): 173-182.
- Nascimento, V. C. 2008. Aspectos do enchimento da represa Paraitinga, Sistema Produtor Alto Tietê: zooplâncton e qualidade da água. Mestrado em Saúde Publica, Universidade de São Paulo.
- Nandini, S., P. Ramírez-García y S. S. S. Sarma. 2005. Seasonal variations in the species diversity of planktonic rotifers in lake Xochimilco, México. Journal of Freshwater Ecology. 20(2): 287-294.
- Nandini, S., P. Ramírez-García, S. S. S. Sarma. 2016. Water quality indicators in Lake Xochimilco, Mexico: Zooplankton and *Vibrio cholerae*. Journal of Limnology. 75(1): 91-100.
- Nogrady, T., R. L. Wallace, y T. W. Snell. 1993. Rotifera vol 1. Biology ecology and systematics. En Nogrady, T., Dumont, H, J. Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world. The Hague. SPB Academic Publishing, The Neatherlands, 142 pp.
- Nyman, M., A. Korhola y S. J. Brooks. 2005. Distribution and diversity of Chironomidae (Insecta: Diptera) in western Finnish Lapland, with special emphasis on shallow lakes. Global Ecology and Biogeography. 14: 137-153.
- Paturej, E., A. Gutkowska, J. Koszalka y M. Bowszys. 2016. Effect of physicochemical parameters on zooplankton in the brackish, coastal Vistula Lagoon. Oceanologia.
- Pejler, B. y B. Berzins. 1993. On relation to substrate in sessile rotifers. Hydrobiologia. 259-121-124.



- Pomerleau, C., G. Winkler, A. R. Sastri, R. J. Nelson, S. Vagle, V. Lesage y S. H. Ferguson. 2011. Spatial patterns in zooplankton communities across the eastern Canadian sub-Arctic and Arctic waters: insights from stable carbon ( $d^{13}C$ ) and nitrogen ( $d^{15}N$ ) isotope ratios. *Journal of Plankton Research*. 33(12): 1779-1792.
- Rocha-Ramírez, A., A. Ramírez-Rojas, R. Chávez-López y J. Alcocer. 2007. Invertebrates assemblages associated with root masses of *Eichhornia crassipes* Solms-Laubach 1883 in the Alvarado Lagoonal System, Veracruz, Mexico. *Aquatic Ecology*. 41: 319-333.
- Rocha-Ramírez, A., E. Robles-Valderrama y E. Ramírez-Flores. 2014. Invasive alien species water hyacinth *Eichhornia crassipes* as above for macroinvertebrates in hypertrophic Ramsar Site, Lake Xochimilco, México. *Journal of Environmental Biology*. 35: 1071-1080.
- Ruttner-Kolisko, A., 1974. Plankton rotifers. Biology and taxonomy. *Binnengewasser* (pt. 1, suppl.). 26: 1-146.
- Rzedowski, G. C. y J. Rzedowski. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2a. ed. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Mich. 1406 pp.
- Segers H, 2007. Annotated checklist of the rotifers (Phylum Rotifera), with notes on nomenclature, taxonomy and distribution. *Zootaxa* 1564: 1-104
- Segers, H. y R. J. Shiel. 2008. Diversity of cryptic metazoa in Australian freshwaters: a new genus and two new species of sessile rotifer (Rotifera, Monogononta, Gnesiotrocha, Flosculariidae). *Zootaxa*. 1750: 19-31.
- Segers, H., P. Meksuwan. Y L. Sanoamuang. 2010. New records of sessile rotifers (Phylum Rotifera: Flosculariaceae, Collothecaceae) from Southeast Asia. *Belg. J. Zool*. 140(2): 235-240.
- 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.
- Stamou, G., C. Plyzou, A. Karagianni y E. Michaloudi. 2016. Taxonomic distinctness indices for discriminating patterns in freshwater rotifer assemblages. *Hydrobiologia*.
- Stephan-Otto, E. 2003. En: *Proceedings of the second international conference on Xochimilco, Ecological Park of Xochimilco, UAM Xochimilco, Mexico City, México*.



- Suárez, E., A. Vázquez. y E. Solís. 1991. Variaciones espacio temporales de distribución y abundancia de los rotíferos planctónicos en la presa J. A. Alzate, México, durante un ciclo anual. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. 18(2): 217-227.
- Suárez-Morales, E., A. Vázquez-Mazy y E. M. Solís. 1993. On the zooplankton community of a Mexican eutrophic reservoir, a seasonal survey. *Hidrobiológica*. 3(1-2): 71-80.
- Sulehria, A. Q., Z. S. Mirza, M. Faheem y N. Zafar. 2013. Diversity Indices of epiphytic rotifers of a floodplain. *Biologia (Pakistan)*. 59(1): 33-41.
- Timotius, K. H. y F. Goltenboth. 1995. *Tropical limnology*. Salatiga, Indonesia.
- Torres-Orozco, R. E. y S. A. Zanatta. Species composition, abundance and distribution of zooplankton in a tropical eutrophic lake: Lake Catemaco, México. *Revista Biología Tropical*. 46(2): 285-296.
- Turner, P. N. y C Da Silva. 1992. Littoral rotifers from the State of Mato Grosso, Brazil *Studies on Neotropical Fauna an Environment*. 27: 227–241
- Van Donk, E. y W. J. Van de Bund, 2002. Impact of submerged macrophytes including charophytes on phyto and zooplankton communities: allelopathy versus other mechanisms. *Aquatic botany*. 72: 261-274.
- Wallace, R. L 1975. Distribution of sessile rotifers in a bog with particular emphasis on substrate selection by *Ptygura beauchampi* larvae. Tesis de Doctorado. Dartmouth College. Hanover, New Hampshire.
- Wallace, R. L. 1977. Distribution of Sessile Rotifers in an Acid Bog Pond. *Archiv fur Hydrobiologie*. 19(4): 178-505.
- Wallace, R. L. 1978. Substrate selection by larvae of the sessile rotifer *Ptygura beauchampi*. *Ecology*. 59(2): 221-227.
- Wallace, R. L. 1980. Ecology of sessile rotifers. *Hydrobiologia*. 73: 181-183.
- Wallace, R. L. 1987. Coloniality in the phylum Rotifera. *Hydrobiologia*. 147: 141-155.
- Wallace, R. L., T. W. Snell, C. Ricci y 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, Belgium/Backhuys Publishers, The Netherlands.
- Wallace R. L., E. J. Walsh, T. Schröder, R. Rico-Martínez y J. V. Rios-Arana. 2008. Species composition and distribution of rotifers in chihuahuan desert waters of México: is



everything everywhere?. Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie. 30(1): 73-76.

Wallace, R. L. y T. W. Snell. 2010. Rotifera. Chapter 8. En: Thorp J. H. and Covich A. Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. 2nd ed. Elsevier. Oxford. 173-235.

Wallace, R. L., y A. H. Smith. 2013. Rotifera. En: eLS, John Wiley & Sons Ltd. Chichester.

Wetzer, R. G. 2001. Limnology. Lakes and Rivers Ecosystem. 3ª edición. Academic Press. 1006 p.

Zambrano, G. L., V. H. Reynoso y G. Herrera. 2003. Abundancia y estructura poblacional del axolotl (*Ambystoma mexicanum*) en los sistemas dulceacuícolas de Xochimilco y Chalco. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. AS004. México D. F.

Zambrano, G. L., E. Valiente, I. Sastré, A. Tovar-Garza, C. Sumano, K. Levy, J. Giménez y P. López. 2012. Informe final programa de análisis y restauración del sistema lacustre de Xochimilco y del axolote. Segunda etapa. Secretaria del Medio Ambiente, D.F. pp. 268.

