



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

# POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Facultad de Estudios Superiores Iztacala

“ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD DE  
ZOOPLANCTON Y FITOPLANCTON  
DE LA LAGUNA DE ZUMPANGO  
(ESTADO DE MÉXICO)  
PARA SU USO EN LA BIOMANIPULACIÓN”

# T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)

P R E S E N T A

IRIS ELIZABETH DOMÍNGUEZ PASCUAL

DIRECTORA DE TESIS: DRA. NANDINI SARMA

MÉXICO, D.F.

Febrero 2006.



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.

## **Agradecimientos:**

**A la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (conacyt) por la beca otorgada para poder realizar la Maestría. Becaria 181872**

**A la DGAPA que financió mediante el proyecto de investigación IN234602 el estudio de la laguna de Zumpango.**

**A los miembros del comité tutorial:**

**Dra. Nandini Sarma**

**Dr. Alfonso Lugo Vázquez**

**Dr. Javier Carmona Jiménez**

**Dr. Luis Zambrano González**

**Dr. Fernando Álvarez Noguera**

**Por sus valiosas observaciones y sugerencias para mejorar el escrito final. También por su paciencia y amable atención para enseñarme a aplicar el método científico así como por contagiarme su entusiasmo por el conocimiento de los sistemas biológicos.**

**A la UNAM:**

**Por todas las personas que conocí en esta institución y que de alguna u otra forma colaboraron para que yo pudiese concluir mis estudios.**

*DEDICO ESTE TRABAJO*

*A mis padres: Judith y Telesforo*

*GRACIAS*

*Este trabajo es la feliz culminación de una parte de mi vida que es de ustedes también.*

*La herencia cultural que me han dado es invaluable.*

*Porque me han enseñado con el ejemplo que siempre se puede cambiar para bien.*

*Por creer en mi.*

*Los amo*

*A mis hermanos:*

*Sebas, Refugio†, Salomón, Rubén, Rody, José Luis, Rafita y Reina. Gracias por estar en todos los momentos importantes de mi vida siempre apoyándome y aconsejándome.*

*A mi compañero en esta aventura de la vida: Samuel*

*Samudio gracias por todo lo vivido y lo que viene. Te amo. Gracias por tu sonrisa que me ilumina los días nublados.*

*Agradezco también*

*A mis tíos:*

*Chanita, Lonchito†, Poli†, Zefe, Mauro, Petra, Dinorah, Mario, Paz y Angela por alegrarme la vida y escucharme en los momentos no tan gratos.*

*A mis chobis:*

*Solecita, Dixie, José, Karla, Johny, Isaac y Valeria. Por hacer que la vida sea bella.*

*A mis suegros:*

*Victoria y José por aceptarme tal como soy. Hasta la victoria siempre.*

*Y a mis @migos. organizados y combativos.*

*Juan Carlos, Cecilia, Diego, Jorge (jipi), Cony, Vicky, Daniel, Fede, Olga, Angelita, Maricarmen, Aribel, Israel, Carmen, Saruka, Mariel, Roberto, Anita, Paty, Fer y Samuel. Porque el tiempo y la distancia no existen cuando hay que darle la mano al amigo que lo necesita.*

*A todos mis compañeros del laboratorio de Zoología Acuática. Por su apoyo en el mantenimiento de los cultivos de zooplankton y por hacer más grato la estancia en el laboratorio.*

## INDICE

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	1
INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	2
JUSTIFICACIÓN .....	10
OBJETIVOS.....	11
ÁREA DE ESTUDIO.....	12
MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
RESULTADOS.....	21
DISCUSIÓN.....	51
CONCLUSIONES.....	59
LITERATURA CITADA.....	61

## RESUMEN

En el presente estudio realizado en la laguna de Zumpango del mes de abril de 2003 a marzo de 2004, el objetivo fue medir las variables fisicoquímicas y relacionarlas con la diversidad y abundancia del fitoplancton y el zooplancton, así como emplear algunas de las especies de zooplancton encontradas para realizar pruebas de tasa de filtración y determinar sus características demográficas. El trabajo se dividió en dos fases: campo y laboratorio. La fase de campo consistió en los análisis fisicoquímicos (profundidad, transparencia, temperatura, pH, oxígeno disuelto, dureza, fósforo reactivo disuelto y total, nitrógeno en forma de nitritos y nitratos, conductividad y biomasa en términos de clorofila "a"), así como la colecta del zooplancton y fitoplancton. La fase de laboratorio consistió en la determinación taxonómica del fitoplancton y la determinación taxonómica y cuantificación del zooplancton, seguida de experimentos de tasas de filtración y pruebas demográficas de dos cladóceros: el más grande (*Simocephalus vetulus*) y el más común (*Ceriodaphnia dubia*) en el lago. Se realizaron los experimentos de crecimiento poblacional y tabla de vida en 2 temperaturas con 3 densidades del alga *Scenedesmus acutus*; y tasa de filtración y preferencia alimenticia con las especies ya mencionadas además de *Daphnia pulex*. Los resultados indican que la laguna presentó una temperatura promedio de 18° C, condiciones eutróficas debido a las altas concentraciones del nutrimento fósforo total y clorofila "a" con un máximo de 100 µg l<sup>-1</sup>. El valor de pH por arriba de 7.4 indica que el agua de la laguna es ligeramente básica. Por lo que respecta a la diversidad de fitoplancton se encontraron las clorofitas *Volvox* sp. y *Pediastrum* sp., también las cianoprocariontas *Aphanizomenon flos aquae* y *Microcystis aeruginosa* las segundas presentaron florecimientos. Del zooplancton se registraron 31 especies de rotíferos, 7 de cladóceros y de los copépodos se encontraron dos órdenes Calanoida y Ciclopoida. El mayor crecimiento poblacional de *S. vetulus* fue obtenido en la densidad alta de alimento a 15° C; mientras que *C. dubia* presentó mayor crecimiento en la densidad baja de alimento a 25° C. La temperatura no tuvo impacto significativo sobre la supervivencia de *S. vetulus* pero si impactó la fecundidad positivamente. A 25° C todas las variables demográficas de *C. dubia* fueron influenciadas positivamente. La tasa de filtración fue mayor en especies aisladas del cuerpo de agua, mientras que en las pruebas de preferencia alimenticia *S. vetulus* mostró mayor ingesta de *M. aeruginosa*. Los resultados obtenidos indican que la Laguna de Zumpango es un cuerpo de agua eutrófico con baja diversidad zooplanctónica. De los cladóceros seleccionados *S. vetulus* parece ser el mejor candidato para realizar biomanipulación, ya que tiene una tasa de filtración alta y en las pruebas de preferencia alimenticia fue el que más colonias de *M. aeruginosa* consumió.

## ABSTRACT

In this study conducted in Lake Zumpango from April, 2003 to March, 2004, the aim was to relate selected physicochemical variables to the diversity and abundance of the phytoplankton and the zooplankton. The filtering rates and demographic characteristics were also studied. The physicochemical variables analyzed were depth, transparency, temperature, pH, dissolved oxygen, hardness, total and soluble phosphorus, total nitrogen, nitrites, nitrates, and conductivity. Phytoplankton, zooplankton and phytoplankton biomass in terms of chlorophyll "a" were also analyzed. Phytoplankton and zooplankton were identified and quantified in the laboratory. The filtering rates of the cladocerans, *Daphnia pulex*, *Simocephalus vetulus* and *Ceriodaphnia dubia* and demographic characteristics of the latter two species were also studied. The results show that the lake had an average temperature of 18 ° C, and was eutrophic as shown by the high concentrations of phosphorus and chlorophyll "a". As regards the diversity of phytoplankton, the chlorophytes *Volvox* sp. and *Pediastrum* sp. as well as the cyanoprokaryonts *Aphanizomenon flos aquae* and *Microcystis aeruginosa* were identified. Among zooplankton 31 species of Rotifera, 7 of Cladocera and members of Calanoida and Cyclopoida were found. In the demographic studies, *S. vetulus* grew best at a high density of food at 15 ° C, whereas *C. dubia* presented best growth at the lower density of food at 25° C. Temperature did not have a significant impact on the survival of *S. vetulus* but influenced the fecundity positively. Among the cladocerans tested, *S. vetulus* is probably the best cladocerans for future biomanipulation efforts since it had a maximal consumption of *M. aeruginosa*.



## INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Los lagos nos proveen de dos recursos principales: el agua y la productividad de peces; y alrededor de todo el mundo gran número de gente todavía depende de los lagos como una fuente de ambos (Wetzel, 1991). De forma natural los lagos tienen un proceso de envejecimiento en el que van de la oligotrofia a la eutrofia (Burgis y Morris, 1987) lo cual ocurre a lo largo de cientos de años (evolución lacustre). En ambientes no perturbados la entrada de nutrientes a un lago está derivada de la cuenca de drenaje junto con la lluvia directa sobre el lago y algún reciclaje interno desde los sedimentos (Harper, 1992).

Sin embargo, una vez que se han introducido nutrientes en exceso estos forman parte del ciclo a menos que se depositen en el fondo (fósforo) y no estén disponibles (Scheffer, 1998). No obstante en lagos someros la fauna de peces bentívoros y el viento pueden contribuir de manera importante en reincorporarlos a la columna de agua quedando disponibles para la comunidad fitoplanctónica (Gulati y Van Donk, 2002).

Actualmente las sociedades industriales vierten a los lagos aguas fecales y fertilizantes químicos provenientes de las ciudades y campos de cultivo (eutrofización antropogénica), los cuales aportan nutrimentos tales como el fósforo y el nitrógeno que se encuentran entre los más importantes para las plantas (Lampert y Sommer, 1997) ocasionando florecimientos masivos de algas e induciendo cambios perjudiciales en la estabilidad biológica en el ecosistema de un lago afectando a todas las poblaciones biológicas y sus interacciones en la masa de agua (Colinvaux, 1997).

En lagos tropicales con condiciones de luz y temperatura constantes (Lewis, 1996), se presenta la dominancia de un grupo de organismos conocido como cianoprocariontes, debido a que regulan su posición en la columna de agua y son más eficientes para la obtención de CO<sub>2</sub> en bajas concentraciones. La toxicidad de algunas cianoprocariontes representa un peligro para los peces (amenaza a la acuicultura), aves y para la salud humana (Carmichael, 1992; Pizzolon, 1996). Lotočka (2001), señala que las cianoprocariontes *Aphanizomenon flos aquae* y principalmente *Microcystis aeruginosa* inhiben la presión de herbivoría del cladóceros *Daphnia magna*. Así mismo Porter y Orcutt (1980), observaron que el cladóceros *Daphnia magna* alimentada con *Chlamydomonas reinhardtii* creció de manera óptima, pero cuando fue alimentada con la cianoprocarionte *Anabaena flos aquae* en forma unicelular disminuyó su supervivencia a niveles aún más bajos que organismos no alimentados, y cuando *A. flos aquae* fue suministrada en forma filamentosa este efecto fue menos pronunciado, por lo que ellos concluyeron que las cianobacterias pueden ser discriminadas en base al tamaño o la forma.

En México para la parte central Komárek y Komárková (2002), reportaron 51 especies de cianobacterias planctónicas tales como: *Microcystis aeruginosa* (lago de Chapultepec), los géneros *Anabaena*, *Gomphosphaeria*, *Woronichinia* y *Aphanizomenon* por citar algunos, las cuales son potencialmente tóxicas y se encuentran formando parte de la comunidad fitoplanctónica de los lagos eutrofizados.

Al presentarse florecimientos de cianoprocariontes ocurre un cambio en la dominancia y composición de los grupos de zooplancton, se ha visto que esto ocurre porque las cianoprocariontes presentan mecanismos que evitan su consumo (tales como el tamaño,

mucilago y/o toxinas) como en el caso de *Microcystis*, *Oscillatoria* y *Lyngbya*, poca digeribilidad y asimilación así como bajos niveles de nutrientes lo que las hace una dieta no apropiada en comparación con otras especies de fitoplancton (Gulati y Demott, 1977; De Bernardi y Giussani, 1990; Gliwicz, 1990a), además de que densas poblaciones de fitoplancton son desfavorables para el zooplancton (Ryther, 1954; Infante y Riehl, 1984). Por lo que los herbívoros ejercen mayor presión sobre las algas comestibles restringiendo su crecimiento poblacional, produciéndose el cambio en la composición de fitoplancton (Gasiunaite y Olenina, 1998; Deppe *et al.*, 1999; Hubble y Harper, 2000; Agrawal *et al.*, 2001). Una vez que esto ocurre las poblaciones de cladóceros decrecen y el sistema dominado por cladóceros grandes pasa a uno dominado por rotíferos y cladóceros pequeños (Gilbert, 1990; Kagami *et al.*, 2002). Además si en el cuerpo de agua existen peces planctívoros estos afectan positivamente de forma indirecta al fitoplancton al eliminar a sus depredadores (Carpenter *et al.*, 1985).

De acuerdo con Hutchinson (1967), la diversidad del zooplancton y fitoplancton varía de acuerdo con las características físicas y químicas del lago así como con su temporalidad. El zooplancton de agua dulce está dominado por tres grupos taxonómicos: protozoos, rotíferos y microcrustáceos (Wallace y Snell, 1991). Los protozoos se alimentan principalmente de bacterias, mientras que los rotíferos y cladóceros se alimentan principalmente de algas (Wetzel, 1981).

Los rotíferos constituyen una fuente de alimento para otros rotíferos así como para copépodos, larvas de insectos y peces de importancia económica, por lo que se cultivan en forma masiva ya que son altamente nutritivos, con la ventaja de que tienen la capacidad de

reproducirse rápidamente por lo que pueden llegar a formar el 50 % ó más de la biomasa del zooplancton dependiendo de las condiciones prevalecientes (Nogrady *et al.*, 1993). Los rotíferos suelen alimentarse de células algales de 1 a 17  $\mu\text{m}$ , y pueden alterar la composición del fitoplancton en ciertos sistemas debido a que ejercen una gran presión de herbivoría cuando están presentes en altas densidades. Su distribución es potencialmente cosmopolita, pero investigaciones recientes sugieren que hay gran número de especies de distribución restringida (Smith, 2001). Para el caso particular de México, Sarma y Elías-Gutiérrez (1997), señalan el registro de 170 especies de las cuales el 75 % son cosmopolitas y el resto tropicales o americanas. Posteriormente Sarma (1999), reporta 283 especies de rotíferos, incluyendo 2 endemismos. Cabe señalar que la diversidad reportada abarca solo una región del país por lo que estudios en otras regiones son necesarios para tener un registro completo de la diversidad de este grupo en toda la república mexicana.

Por lo que respecta al grupo de los microcrustáceos los cladóceros y los copépodos han sido los más estudiados ya que se considera que son el grupo funcional más importante por ser consumidores mayores de fitoplancton transfiriendo energía de los productores primarios hacia niveles superiores en la red trófica (Downing y Rigler, 1984).

Los cladóceros se alimentan por filtración y en densas poblaciones pueden remover fracciones significativas de fitoplancton de un lago cada día, por lo que la abundancia de cladóceros planctónicos es de gran importancia para la ecología de los lagos, ya que participan en la regeneración de nutrientes y son alimento para larvas de peces (Pennak, 1989). El componente más importante de su dieta está conformado de pequeñas algas en el rango de 1 a 25  $\mu\text{m}$ , de bacterias y detritus (Lampert 1987, citado por Dodson y Frey 1991)

aunque prefieren las algas verdes o diatomeas y rechazan las formas filamentosas, con espinas o coloniales (Smith, 2001). No obstante Burns (1968), señala que también pueden consumir algas de hasta 50  $\mu\text{m}$  (citado por Lampert y Sommer 1997).

Dentro de los cladóceros el género *Daphnia* ha tenido especial atención debido a su gran tamaño y alta tasa de filtración; sin embargo se ha descubierto que especies de los géneros *Daphniopsis*, *Simocephalus*, *Ceriodaphnia*, *Scapholeberis* y *Megafenestra* tienen un similar pero a menudo más perfeccionado mecanismo de “ramoneo” (Peters, 1984).

A nivel geográfico estos organismos son un grupo muy disperso encontrándose desde el nivel del mar hasta los tres mil metros de altura y desde el ártico hasta los trópicos (Dodson y Frey, 1991). Para el caso de México Ciro (1994), reporta 45 especies de cladóceros únicamente en el estado de México. Recientemente Elías-Gutiérrez y Suárez (2003), mencionan que actualmente se conocen 123 taxa de cladóceros en la república mexicana.

La importancia del conocimiento de la diversidad de estos dos grupos del zooplancton es que desde el punto de vista ecológico la presencia y densidad de algunas especies de rotíferos su abundancia y composición a menudo refleja el estado trófico de un cuerpo de agua (Arora, 1964; Gannon y Stemberger, 1978; Sladeček, 1983).

Bajo tales circunstancias Shapiro y Wright (1984), sugirieron que la calidad del agua podría ser manejada por manipulación de la cadena alimenticia, o biomanipulación. La biomanipulación es una serie de modificaciones de la biota del lago y de sus habitats para facilitar ciertas interacciones y resultados los cuales nosotros como usuarios del lago

consideramos benéficos tales como la reducción de la biomasa fitoplanctónica, en particular de las cianobacterias (Shapiro *et al.*, 1975, citado por Shapiro, 1990).

Una de las ventajas de la biomanipulación es que evita el uso de agentes químicos tales como la aplicación de sales de aluminio que precipitan el fosfato y tienen un efecto muy bueno pero por un corto periodo de tiempo, además de ser necesario repetir la aplicación periódicamente si no se controlan las entradas externas de fosfato, resultando en un alto costo (Moss, 1998). Por otra parte se ha documentado que la biomanipulación es efectiva en cuerpos de agua someros ya que no hay una separación espacial de los organismos debida a la profundidad y no hay pérdida de nutrientes al hipolimnion.

En México la mayoría de los lagos son someros y están siendo eutrofizados por lo que la aplicación de la biomanipulación es una buena alternativa si se desea recuperarlos.

Con respecto a la biomanipulación de lagos con cladóceros se han obtenido resultados positivos, por ejemplo Dawidowicz (1990), observó que el cladóceros grande *Daphnia magna* fue más efectivo para controlar el fitoplancton de todos los tamaños que los cladóceros *Daphnia galeata*, *D. cucullata* y *Bosmina* sp. presentes en el lago que sólo fueron capaces de controlar la densidad de algas pequeñas ( $< 50 \mu\text{m}$ ), promoviendo el crecimiento de algas de tamaño grande, él señala que si se quiere que la biomanipulación funcione se deben introducir numerosas poblaciones de cladóceros antes de que las algas grandes alcancen altas densidades. Gulati (1990), señala que en lagos eutrofizados se requieren de 1200 a 1300 ind.  $\text{l}^{-1}$  para obtener un 25 % de aclaración, por esta razón es necesario realizar pruebas de crecimiento poblacional y tabla de vida que nos indiquen los

días de máxima densidad poblacional de la especie que queramos introducir, así como conocer otras características demográficas como su supervivencia, promedio de vida, etc. Angeler *et al.*, (2002), en sus experimentos de limno corrales en un humedal observaron que el cladóceros *Ceriodaphnia reticulata* en ausencia de peces fue capaz de ejercer un efecto “top down” sobre el fitoplancton. Sin embargo, también hay estudios en que se ha reportado que no necesariamente hay una relación entre la talla de los cladóceros y su habilidad para consumir cianobacterias y que podría ser más importante que estos sean aislados de cuerpos de agua donde coexistían con cianobacterias ya que están capacitados para alimentarse de estas (Nandini y Rao 1998, Nandini *et al.*, 2000, Hairston *et al.*, 2001).

Se ha observado que el zooplancton herbívoro principalmente los cladóceros de tamaño grande, son capaces de disminuir la biomasa del fitoplancton (DeClerk *et al.*, 1997). Por esta razón se empezaron a realizar experimentos para medir la tasa de filtración de cladóceros grandes como *Daphnia magna*. Por otra parte George y Reynolds (1997), observaron que el cladóceros *Daphnia hyalina* var. *lacustris* sólo fue capaz de disminuir el crecimiento de una población de *Chlorella* que se desarrolló tardíamente cuando *D. hyalina* estaba filtrando todo el volumen de agua del contenedor en el que se encontraba.

Dicha capacidad podría ser también específica ya que Alva *et al.* (2001), reportaron que en experimentos de crecimiento poblacional realizados con tres especies de cladóceros alimentados con *Microcystis aeruginosa* y *Chlorella vulgaris* a diferentes densidades dos especies crecieron bien cuando fueron alimentadas con *M. aeruginosa*: *Daphnia pulex* y *Ceriodaphnia dubia* y una *Moina macrocopa* no fue capaz de crecer con esta dieta.

Por lo que respecta a variables fisicoquímicas anteriormente se han realizado trabajos que reportan valores de algunos parámetros, pero son puntuales, además de que sólo en algunos casos analizaron también la parte biológica. De estos los trabajos realizados en lagos someros con aguas aportadas por plantas de tratamiento encontramos que Alcocer (1988) realizó la caracterización hidrobiológica de los lagos de Chapultepec D. F., Díaz-Pardo *et al.*, (2002) estudiaron el lago de Atezca, Sarma *et al.*, (1996) relacionaron sus estudios taxonómicos de rotíferos con algunas variables tales como el pH y la temperatura. La gran importancia de llevar a cabo la medición de parámetros fisicoquímicos junto con el estudio biológico es que nos muestran bajo que condiciones están los organismos, y si estos están siendo afectados negativamente. El realizar estudios de largo plazo nos permitirá conocer la biota del lago, en el caso de la laguna de Zumpango sirve como vaso regulador y de almacenamiento de agua de lluvia, además de favorecer la creación de microclimas y contribuir a la recarga de acuíferos (San Juan, 2003).

Es de gran importancia conocer su diversidad de plancton, ya que es un lago antiguo que actualmente recibe aguas residuales y creemos que esto ha cambiado la composición de la comunidad. Si se desea lograr su remediación mediante la biomanipulación es necesario conocer las especies nativas que puedan ser utilizadas para éste propósito ya que están adaptadas a las condiciones del cuerpo de agua.



## JUSTIFICACIÓN

Históricamente existen datos de que el valle de México era una cuenca cerrada, lo que dio lugar a la formación de varios lagos: Xochimilco, Texcoco, Chalco, Zumpango y Xaltocan. Estos cuerpos de agua fueron y son de gran importancia para las poblaciones humanas que se han asentado en sus alrededores, pues son una fuente de recursos. En el caso particular de la laguna de Zumpango sus aguas son actualmente utilizadas para el riego y la pesca por lo que algunos habitantes se dedican a la cría y pesca de peces introducidos como la carpa plateada, carpa israel y carpa espejo. Además hay una pequeña actividad de turismo local. Por lo que es de gran importancia económica para las poblaciones de la región.

Las aguas que recibe son provenientes de fuentes de origen residual por lo que la diversidad biológica está siendo afectada por este cambio en la calidad del agua. Como la mayoría de los cuerpos que reciben este tipo de agua, la laguna presenta crecimientos masivos de fitoplancton, especialmente cianoprocarioras, las cuales son potencialmente tóxicas y representan un peligro para la salud humana ya que el contacto permanente provoca irritación de la piel y si es consumida puede provocar problemas hepáticos. Por ello es necesario estudiar las variables fisicoquímicas, conocer la diversidad de organismos del zooplancton que habitan en la laguna y sus variaciones en densidad a lo largo del tiempo, y finalmente realizar experimentos que nos permitan seleccionar especies del zooplancton que puedan alimentarse y disminuir las densidades de cianoprocarioras; promoviendo la transparencia del agua.

## **OBJETIVOS:**

### **GENERAL:**

Determinar la diversidad y abundancia del zooplancton de la Laguna de Zumpango en relación con los parámetros físico-químicos y analizar experimentalmente la capacidad de organismos seleccionados de alimentarse con algas y cianoprocariontes del cuerpo de agua.

### **PARTICULARES:**

- 1.- Medir algunas variables fisicoquímicas del cuerpo de agua.
- 2.- Hacer un análisis cualitativo de las especies de fitoplancton que se encuentren en la laguna.
- 3.- Realizar la determinación taxonómica de las especies de rotíferos, cladóceros y copépodos que se encuentren presentes en la laguna.
- 4.- Cuantificar el número de organismos del zooplancton.
- 5.- Analizar la variación temporal, la diversidad y similitud del zooplancton a lo largo de un año en los diferentes puntos de muestreo.
- 6.- Realizar experimentos de crecimiento poblacional y tabla de vida de las especies seleccionadas a diferentes temperaturas y densidades de alimento.
- 7.- Realizar experimentos de tasa de filtración y preferencia alimenticia con especies seleccionadas de cladóceros sobre cianoprocariontes y clorofitas.

## ÁREA DE ESTUDIO

La Laguna de Zumpango se localiza entre los municipios de Zumpango de Ocampo y Teoloyucan, estado de México a una altitud de 2250 msnm. Entre los 19° 48' latitud N y 99° 06' longitud O.



Figura 1. Laguna de Zumpango, estado de México.

El cuerpo de agua cuenta con una superficie de 1,865 hectáreas y una longitud de 6 Km. de norte a sur y 5 Km. de este a oeste (Anónimo, 2003). Tiene una profundidad promedio de 3 m por lo que se puede considerar un cuerpo de agua somero polimictico ya que la columna de agua se mezcla constantemente debido al viento.

A pesar de que alguna vez estuvo conectado con los lagos de Texcoco y Xochimilco, hoy se encuentra aislado. Ha sido tremendamente modificado desde que se inició su proceso de desecación por obras de desagüe en el siglo XVII (Anónimo, 2003). En 1997 nuevamente se desecó para eliminar el lirio acuático, pero este volvió a proliferar por lo que en 2002 se

eliminó mediante trituración. En términos económicos la laguna de Zumpango es de gran importancia en la región ya que sus aguas se utilizan para riego de los cultivos circundantes, así como para la producción de peces. En el aspecto ecológico, crea un microclima y recarga el acuífero denominado Tecámac-Nextlalpan (Anónimo, 2003). La masa de agua es aportada por aguas residuales de origen urbano con un volumen aproximado de 5.37 millones de m<sup>3</sup> anuales (INEGI, 2002). Las aguas que recibe son a través del canal de Santo Tomás que a su vez recibe aguas del río Cuautitlán (CNA, 1990). El clima de la región es tropical atemperado por la altura. El uso que se le da al cuerpo de agua es de pesca criándose carpa plateada, carpa Israel y carpa espejo, las cuales fueron introducidas. La Comisión Nacional del Agua (2003) reportó la presencia de charal *Chirostoma* sp. que actualmente no se explota comercialmente. El agua también se aprovecha para el riego de cultivos circundantes. Con respecto a la vegetación la que predomina entre las macrofitas es el tule, las aves acuáticas son patos y en los meses de diciembre a marzo hay pelícanos.



## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante un ciclo anual del mes de abril de 2003 a marzo de 2004, los muestreos fueron mensuales comprendiendo la toma de muestras y el análisis de todos los parámetros físicos y químicos.

### PARTE I: Fase de campo

Se establecieron 5 estaciones de muestreo tratando de que fueran representativos de la Laguna tomando en cuenta la entrada de aguas residuales, el centro de la laguna y el punto más alejado del canal de descarga. Se midieron los siguientes parámetros físicos *in situ*: temperatura con un potenciómetro marca Conductronic y, transparencia con el disco de Secchi. El pH, la conductividad y el oxígeno disuelto también se midieron *in situ*. La medición del pH se realizó con un potenciómetro marca Conductronic, modelo pH 10, la conductividad  $K_{25}$  se midió con un conductímetro portátil marca Thermo Orion, modelo 118 y la concentración de oxígeno disuelto se midió con un oxímetro marca YSI (Yellow Spring Instruments), modelo 51B. También se tomaron muestras para medir los siguientes parámetros químicos: dureza, nutrimentos (fósforo reactivo disuelto P-PO<sub>4</sub> y fósforo total; así como el nitrógeno en forma de NO<sub>2</sub> y NO<sub>3</sub>) y clorofila *a*. Los análisis de fósforo total y fósforo reactivo disuelto así como el nitrógeno en forma de NO<sub>2</sub> y NO<sub>3</sub> se realizaron en laboratorio mediante las técnicas sugeridas por el Standard Methods, (APHA, 1992). El fósforo en su forma total y disuelta se midió mediante el método de cloruro estagnoso con digestión de persulfato. El nitrógeno se analizó mediante electrodos, para los nitritos se utilizaron electrodos Thermo Orion modelo 93-46 y su electrodo de referencia 90-01; y para los nitratos electrodos Thermo Orion modelo 93-07 y su electrodo de referencia 90-

02, en este caso se siguió la técnica recomendada por el manual del aparato. La dureza total se midió en laboratorio mediante el método titulométrico de EDTA. Finalmente el análisis de la clorofila *a* se realizó mediante el método espectrofotométrico con extracción por solución de acetona al 90%.

Muestras de fitoplancton.

Se filtraron 4 litros de agua en cada estación de muestreo con una malla de 50  $\mu\text{m}$  de apertura, con los cuales se formó una muestra compuesta para hacer una revisión cualitativa de las poblaciones dominantes en la laguna.

Muestras de zooplancton.

En cada punto de muestreo se filtraron 80 litros de agua, con un filtro de 50  $\mu\text{m}$  de apertura para retener el zooplancton. Las muestras recogidas se fijaron con formol al 4% y se transportaron al laboratorio para la determinación de los organismos hasta la categoría de especie así como para su cuantificación. También se recogió muestra viva para realizar pruebas de laboratorio. La toma de muestras se realizó a nivel superficial.

PARTE II: Fase de laboratorio

Análisis de fitoplancton.

Las muestras se revisaron en un microscopio Nikon con contraste de fases y los organismos se determinaron hasta nivel genérico con las claves taxonómicas de Anagnostidis y Komárek (1989), Komárek (1998) y Komárek (2003).

Análisis del zooplancton.

### 1.- Determinación taxonómica.

Se determinaron los rotíferos, cladóceros y copépodos a nivel de especie en un microscopio óptico utilizando las claves taxonómicas de Smirnov (1974), Koste (1978) y Korovchinsky (1994).

### 2.- Cuantificación.

El zooplancton se cuantificó al microscopio óptico en una cámara de conteo Sedgwick-Rafter colocando alícuotas de 1 ml de muestra cuando se trató de rotíferos. Los cladóceros y copépodos se cuantificaron en una caja Petri colocando alícuotas de 5 ml. En total se revisaron 3 alícuotas de cada muestra obtenida en campo. Además se utilizó la fórmula sugerida por Sladeček (1983) quien propone un coeficiente del número de especies del género *Brachionus* (relacionado con aguas eutróficas) entre el número de especies del género *Trichocerca* (asociado con aguas oligotróficas); y si el coeficiente es mayor que 2 entonces esto indica un cuerpo de agua eutrófico.

$$Q_{B/T} = \frac{\text{Núm. de especies de } Brachionus}{\text{Núm. de especies de } Trichocerca}$$

### 3.- Análisis de diversidad y similitud

La diversidad se analizó mediante el Índice de diversidad de Shannon-Wiener con el programa incluido en el libro *Ecological Methodology* de Krebs (1989). La fórmula para calcular la diversidad es:

$$H' = -\sum (p_i) (\log_2 p_i)$$

Donde:

H' = Información contenida en la muestra (bits/individuo) = Índice de diversidad de especies

Pi = proporción de la muestra total perteneciendo a la iésima especie.

La similitud se estimó mediante el Índice de Similitud de Morisita

$$C_{\lambda} = \frac{2 \sum^n X_{ij} X_{ik}}{(\lambda_1 + \lambda_2) N_j N_k}$$

Donde:

$C_{\lambda}$  = Índice de similitud de Morisita entre las muestras j y k

$X_{ij} X_{ik}$  = Número de individuos de la especie i en la muestra j y en la muestra k

$N_j = \sum X_{ij}$  = Número total de individuos en la muestra j

$N_k = \sum X_{ik}$  = Número total de individuos en la muestra k

Cultivos de laboratorio

Se seleccionaron dos especies de cladóceros *Simocephalus vetulus* (en base a su tamaño) y *Ceriodaphnia dubia* (debido a su abundancia) las cuales fueron tomadas a partir de la muestra viva obtenida en campo. Se aislaron algunos organismos para establecer el clon, siendo posible debido a que los cladóceros son partenogenéticos, posteriormente se mantuvieron en cultivo para su aclimatación a 15° y 25° C. Las especies seleccionadas se utilizaron para pruebas de tabla de vida, crecimiento poblacional, tasa de filtración y preferencia alimenticia.

Crecimiento poblacional.

Se utilizaron 3 densidades de alimento del alga *Scenedesmus acutus* y 2 temperaturas 15° C y 25° C. Se colocaron 4 réplicas en matraces de prueba de 100 ml de capacidad conteniendo 50 ml de medio con el alimento y densidad elegido en el cual se introdujeron 20 individuos de una especie seleccionada de zooplancton de diferentes edades. Diariamente se contaron el número de individuos vivos por recipiente utilizando una pipeta Pasteur y un microscopio estereoscópico y se les cambió a medio nuevo y fresco con la misma densidad de alimento. Los experimentos finalizaron después de que la mayoría de las réplicas empezaron a mostrar una disminución en su densidad poblacional.



La formula utilizada para calcular la tasa de crecimiento poblacional es:

$$r = (\ln N_t - \ln N_0) / t$$

donde:  $N_t$  = densidad de la población al tiempo  $t$

$N_0$  = densidad inicial de la población

$t$  = tiempo

Tabla de vida.

Se aislaron hembras grávidas un día antes de iniciar el experimento para obtener una cohorte de neonatos de aprox. 24 horas de edad. Se utilizaron 3 densidades de alimento, 2 temperaturas y el alga *Scenedesmus acutus* con 4 réplicas en matraces de prueba de 100 ml de capacidad conteniendo 50 ml de medio con el alimento y densidad elegido en el cual se introdujeron 10 individuos neonatos de una especie seleccionada de zooplancton, cada 24 hrs. aproximadamente se contaron el número de individuos adultos vivos por recipiente utilizando una pipeta Pasteur y un microscopio estereoscópico y se les cambió a medio nuevo y fresco con la misma densidad de alimento, mientras que los neonatos fueron contados y quitados. El experimento finalizó hasta que todos los individuos murieron.

Se calcularon las principales características demográficas como son: supervivencia, fecundidad, tasa reproductiva bruta y neta, tiempo generacional y el parámetro maltusiano.

Para observar si existían diferencias entre las densidades de alimento y temperatura se utilizó un Análisis de Varianza de dos vías del paquete estadístico STATISTICA Ver. 6.0.

### **Supervivencia**

$$l_x = \frac{S(x)}{S(0)}$$

donde:  $S(x)$  = supervivencia de la clase de edad  $x$

$S(0)$  = supervivencia de la clase inicial

### **Tasa reproductiva neta**

$$R_0 = \sum l_x m_x$$

donde:  $l_x$  = supervivencia

$$m_x = \text{fecundidad}$$

### **Tasa reproductiva bruta**

$$\sum m_x$$

donde:  $m_x$  = fecundidad

### **Tiempo generacional**

$$G = \frac{\sum x l_x m_x}{R_0}$$

donde:  $x$  = edad

$$l_x = \text{supervivencia}$$

$$m_x = \text{fecundidad}$$

$$R_0 = \text{Tasa reproductiva neta}$$

### **Parámetro maltusiano**

$$r = \sum e^{-rx} l_x m_x$$

donde:  $e = 2.718$

$$l_x m_x = R_0$$

Tasas de filtración.

Se midieron las tasas de filtración de las especies *Simocephalus vetulus*, *Ceriodaphnia dubia* y *Daphnia pulex* debido a que las dos primeras están presentes en el lago y en el caso

de la primera es un buen candidato por su tamaño. Se compararon con *D. pulex* ya que hay gran cantidad de trabajos con esta especie que es un buen filtrador. Las pruebas se realizaron a diferentes densidades de alimento para conocer la tasa máxima de consumo. La dieta fue el alga verde *Scenedesmus acutus* a diferentes densidades.

La formula utilizada para calcular la tasa de filtración se tomó a partir de la sugerida por Peters (1984).

$$G = V \frac{(\ln C_0 - \ln C_t)}{(tN)}$$

Donde:

G = tasa de filtración en ml. ind.<sup>-1</sup> unidad de tiempo<sup>-1</sup>

V = volumen de agua del contenedor en ml.

C<sub>0</sub> = conteo de células. ml<sup>-1</sup> en el contenedor de alimentación al inicio del experimento

C<sub>t</sub> = conteo de células. ml<sup>-1</sup> en el contenedor de alimentación al final del experimento

N = numero de individuos por contenedor

t = tiempo de alimentación

Experimentos de preferencia alimenticia.

Se colocaron 3 especies de cladóceros: *Daphnia pulex*, *Simocephalus vetulus* y *Ceriodaphnia dubia*, 10 organismos de cada especie fueron puestos en inanición durante 60 minutos que es el tiempo en que se ha observado que los organismos ya tienen vacío el aparato digestivo y luego se colocaron en contenedores de 10 ml con dos tipos de alimento: el alga verde *Scenedesmus acutus* y la cianoprocarionta colonial *Microcystis aeruginosa* aislada del lago en densidades conocidas durante 40 minutos, al final se retiraron los organismos y se fijaron las muestras para el conteo final de células. Todas las pruebas se hicieron con 4 repeticiones. Finalmente se midió que porcentaje de alimento consumieron los cladóceros de las dos especies de fitoplancton.

## RESULTADOS

La profundidad promedio fue de 2.60 m en todas las estaciones. La estación tres fue en la que se presentó la mayor profundidad (5.60 m) en el mes de diciembre. Mientras que una disminución en el valor de profundidad se observó en todas las estaciones en el mes de marzo siendo la estación 1 la menos profunda con un valor de 0.90 m.

La transparencia del disco de Secchi fue disminuyendo durante el año de manera similar en todas las estaciones. La máxima transparencia ocurrió durante el mes de abril y fue de 1.70 m disminuyendo en septiembre y octubre hasta los 0.1 m principalmente en la estación 3 que es la más próxima a la entrada de las descargas de aguas residuales.

La temperatura registrada durante el estudio se mantuvo alrededor de 18° C. El valor mínimo se presentó en el mes de enero siendo de 12° C y la máxima de 22° C durante el mes de mayo. La variación máxima total de la temperatura durante el estudio fue de 10° C. Se observó que aunque hubo diferencias de 1° C de temperatura entre estaciones todas presentaron la misma tendencia.

El pH fue ligeramente básico ya que varió de 7.4 a 9.6 unidades. El valor más elevado ocurrió durante el mes de noviembre en las estaciones 1, 4 y 5; mientras que el valor más bajo fue de 7.4 unidades en la estación 3 en el mes de agosto.

El porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto (OD) varió drásticamente entre los meses y entre las estaciones. La concentración más alta fue de 123 % ( $9 \text{ mg l}^{-1}$ ) en el mes de marzo en la estación 3; y la más baja de 18.5 % ( $1.2 \text{ mg l}^{-1}$ ) en el mes de diciembre en la estación 1. Las estaciones 2, 4 y 5 muestran concentraciones similares, muy diferentes a las estaciones 1 y 3 que presentaron los valores extremos.

La concentración de fósforo reactivo disuelto (ortofosfatos) varió de  $0.23 \text{ mg l}^{-1}$  que fue la concentración mínima registrada en el mes de febrero en la estación 5, hasta los  $2.03 \text{ mg l}^{-1}$ . que fue la máxima y se presentó en todas las estaciones durante el mes de julio.

La concentración promedio fue de  $1.04 \text{ mg l}^{-1}$ . El comportamiento fue homogéneo en las cinco estaciones de muestreo.

El fósforo total se encontró en concentraciones mínimas de  $0.51 \text{ mg l}^{-1}$  en la estación 5 en el mes de febrero y de hasta  $2.40 \text{ mg l}^{-1}$  en la estación 2 para el mes de mayo. Como se puede observar en la figura 3 las concentraciones son muy parecidas entre estaciones así mismo para el mes de noviembre se observa una disminución en todas las estaciones. En las estaciones 1 y 5 se vuelve a observar un decremento en el mes de febrero no así en el resto de las estaciones en que a partir de diciembre las concentraciones empiezan a incrementarse nuevamente. El valor promedio fue de  $1.45 \text{ mg l}^{-1}$ .

La concentración del ión nitrato fue muy similar entre las cinco estaciones observándose el valor mínimo de  $0.14 \text{ mg l}^{-1}$  en el mes de julio en todas las estaciones y el máximo fue de  $0.90 \text{ mg l}^{-1}$  en el mes de noviembre en los sitios 2 y 3. El valor promedio durante el estudio fue de  $0.28 \text{ mg l}^{-1}$ .

La concentración del nitrito fue muy alta a lo largo del año, se incrementó del mes de julio a septiembre mes en que alcanzó un valor de  $0.61 \text{ mg l}^{-1}$  enseguida tuvo una disminución muy pronunciada en octubre con un valor de  $0.14 \text{ mg l}^{-1}$ , luego aumentó mucho nuevamente para empezar a disminuir de forma gradual de enero en adelante.

La biomasa del lago en términos de clorofila *a* alcanzó su pico máximo en el mes de febrero en la estación 2 alcanzando un valor de  $100 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$ . En todas las estaciones de julio en adelante tuvo un valor promedio de  $20 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$ . Cabe señalar que los primeros tres meses de estudio (abril-junio) los valores fueron muy bajos  $0.06 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$ .

La dureza expresada como  $\text{CaCO}_3$  en promedio fue de  $132 \text{ mg l}^{-1}$ . Tuvo su valor más bajo en mayo en todas las estaciones con una concentración de  $90 \text{ mg l}^{-1}$ , excepto la

uno que fue de 120 y 180 mg l<sup>-1</sup> como máximo en el mes de junio. El agua del lago se puede clasificar como moderadamente dura a dura.

La conductividad específica a 25° C (K<sub>25</sub>) osciló entre 1 y 1.2 mS cm<sup>-1</sup>, lo que quiere decir que su valor se encuentra dentro del rango permitido para el agua dulce.

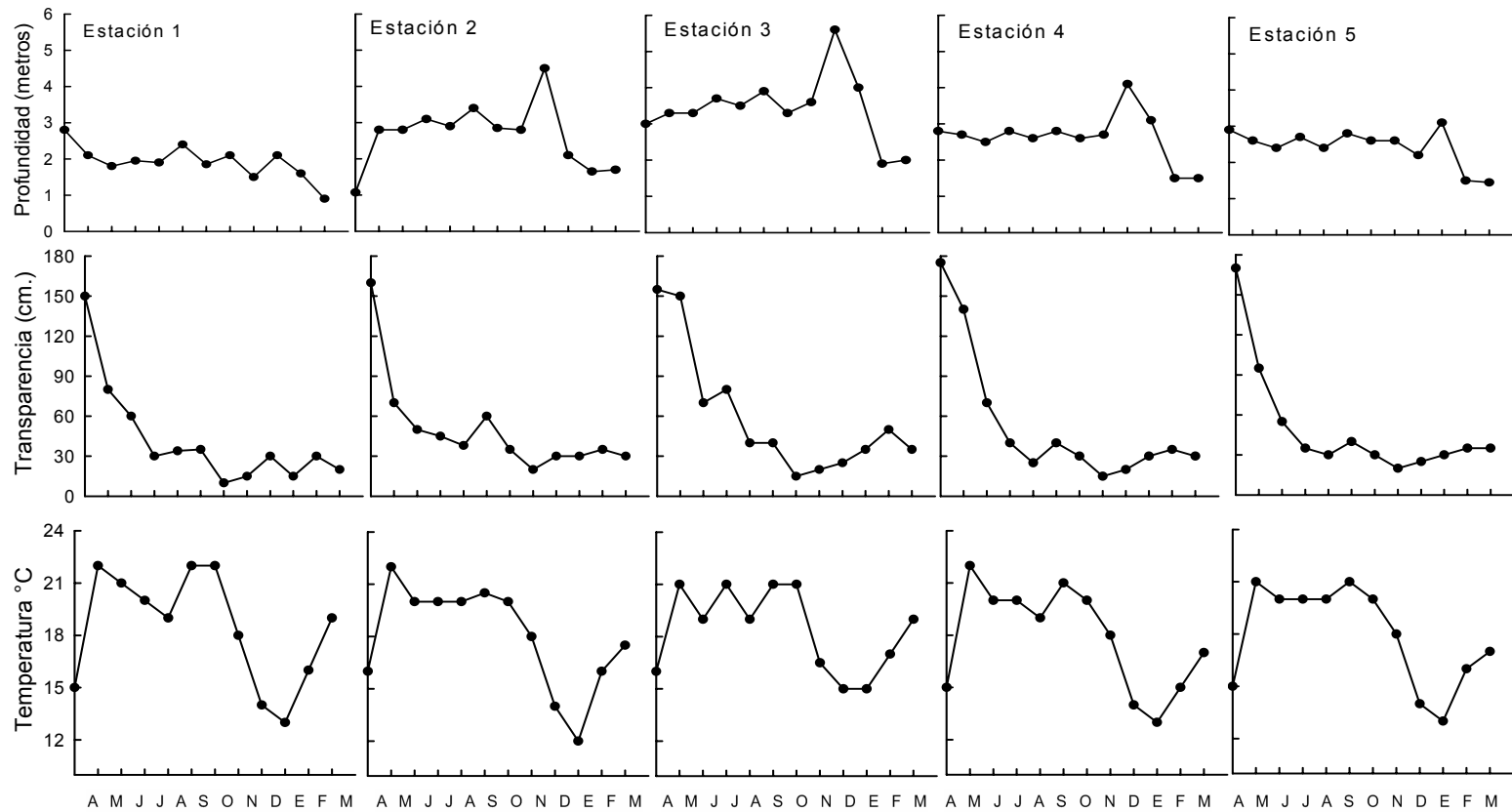


Figura 2. Valores de profundidad, transparencia, temperatura, pH y oxígeno disuelto durante el periodo de estudio.

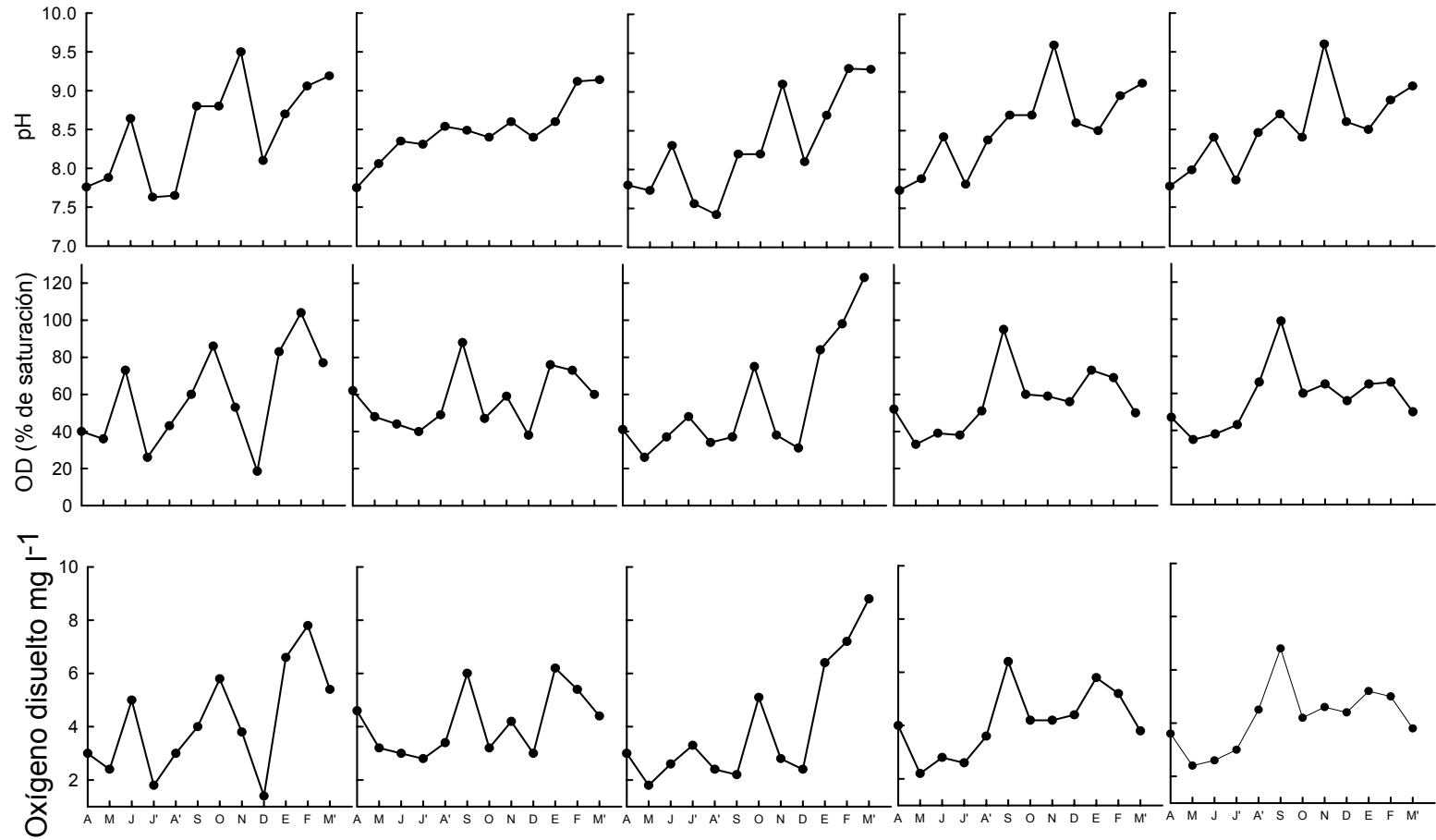


Figura 2. Valores de profundidad, transparencia, temperatura, pH y oxígeno disuelto durante el periodo de estudio.



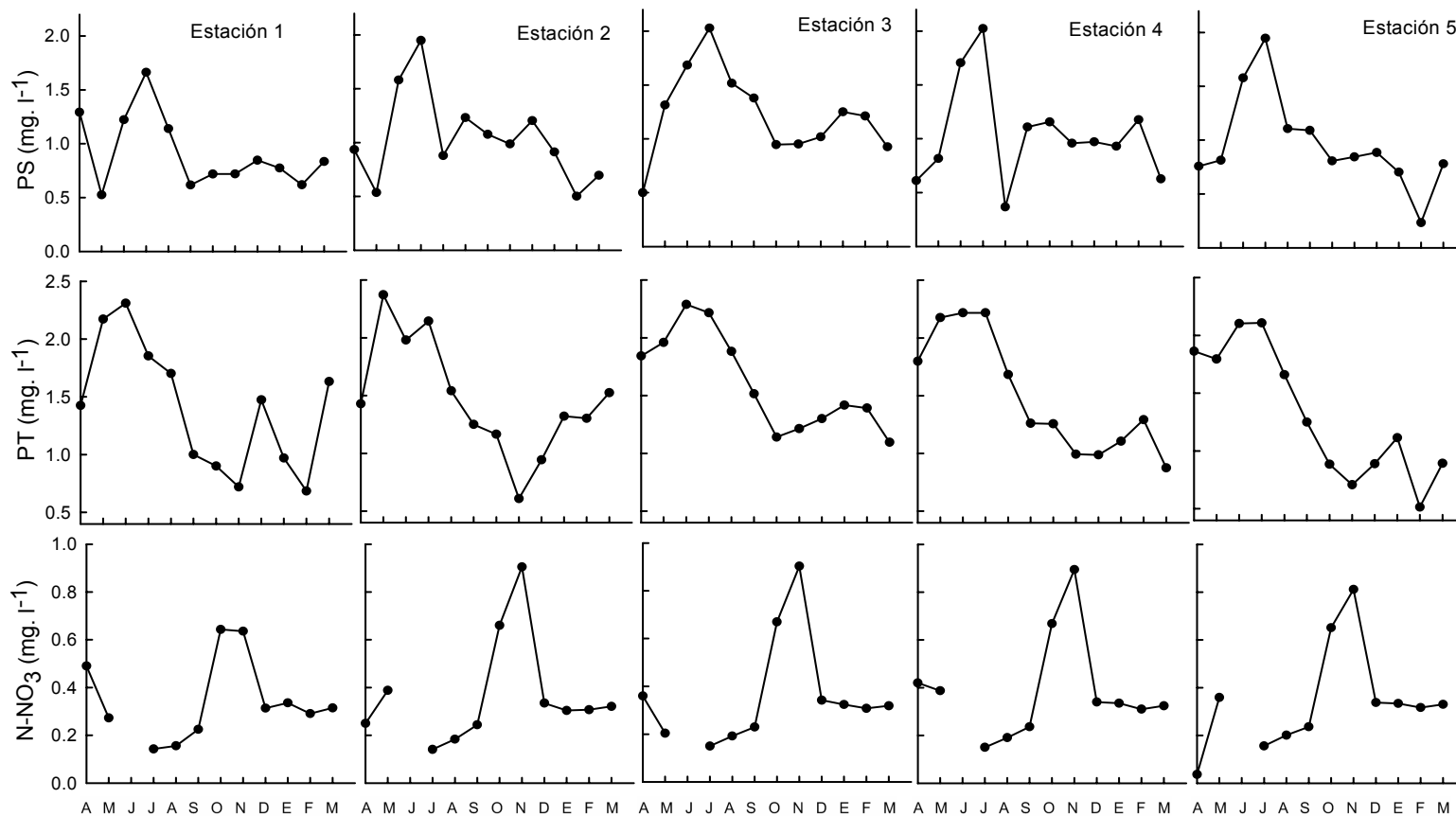


Figura 3. Parámetros físico químicos de la laguna de Zumpango durante el periodo de estudio.

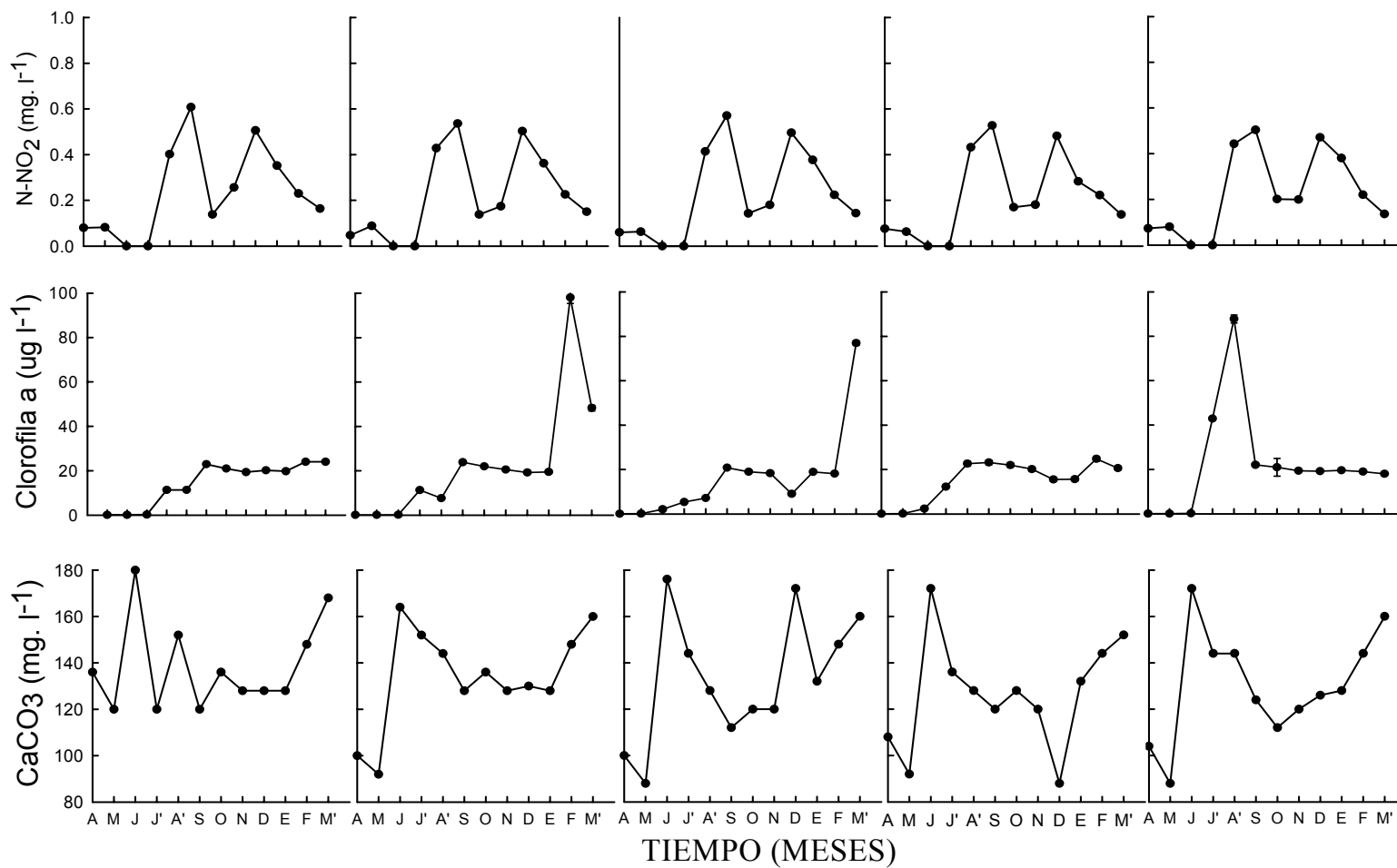


Figura 3. Parámetros físico químicos de la laguna de Zumpango durante el periodo de estudio.

## FITOPLANCTON

De las especies de fitoplancton encontradas en el cuerpo de agua se encontraron dos grupos dominantes: Chlorophytas y Cyanoprocaryotas. También se presentó una especie del grupo Bacillariophyta y una del grupo Pyrrophyta (como se aprecia en la tabla 1 la lista de los géneros encontrados). Las medidas de las colonias y de las células corresponden a valores promedio.

Durante el estudio se observó un gran florecimiento en el mes de abril de la cianobacteria *Aphanizomenon flos aquae* var. *klebanii* y de mayo a julio de *Microcystis aeruginosa*. La primera permaneció en bajas densidades durante todo el estudio, así mismo se observó dominancia de *Ceratium* en el mes de diciembre y de *Volvox* en enero (Fig. 4).

Especie	Meses												Tamaño de la Colonia $\mu\text{m}$		Tamaño de la Célula $\mu\text{m}$	
	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	Largo	Ancho	Largo	Ancho
<b>DIVISIÓN: Chlorophyta</b>																
<i>Oocystis</i> sp.	*		*		*						*		25	23.5	15, 13.5	11, 7.5
<i>Gonium</i> sp.		*											80	87	13	12
<i>Ankistrodesmus</i> sp.						*							37.5	35		
<i>Micractinium</i> sp.					*								30.3	16.5	6, 7.2	6, 7.5
<i>Scenedesmus</i> sp.			*	*	*	*		*		*			17.5	12	10	2.5
<i>Closterium</i> sp.					*										18	4
<i>Pediastrum</i> sp.			*	*	*			*			*		44	43	10	9
<i>Volvox</i> sp.								*	*				171.4	175.7		
<b>DIVISIÓN: Cyanoprocaryota</b>																
<i>Woronichinia</i> cf. <i>nageliana</i> (Unger) Elenkin 1933				*	*	*							203,	55,		
<i>Microcystis aeruginosa</i>		*	*	*	*	*				*	*		152.1	214	7	2.5
<i>Aphanizomenon flos aquae</i> var. <i>klebanii</i> Elenkin 1909		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				5.5	4.4
<i>Anabaena</i> sp.						*									40, 80,	4.2
<i>Rhabdoderma</i> cf. <i>lineare</i> Schmidle et Lauterborn 1900			*	*									300	2.5	147	
<b>DIVISIÓN: Bacillariophyta</b>																
<i>Cyclotella</i> sp.			*	*	*						*				40	40
<b>DIVISIÓN: Pyrrophyta</b>																
<i>Ceratium</i> sp.					*			*	*	*	*				216.4	55.4

Tabla 1. Listado de los géneros de fitoplancton encontrados mas comúnmente en la laguna de Zumpango.

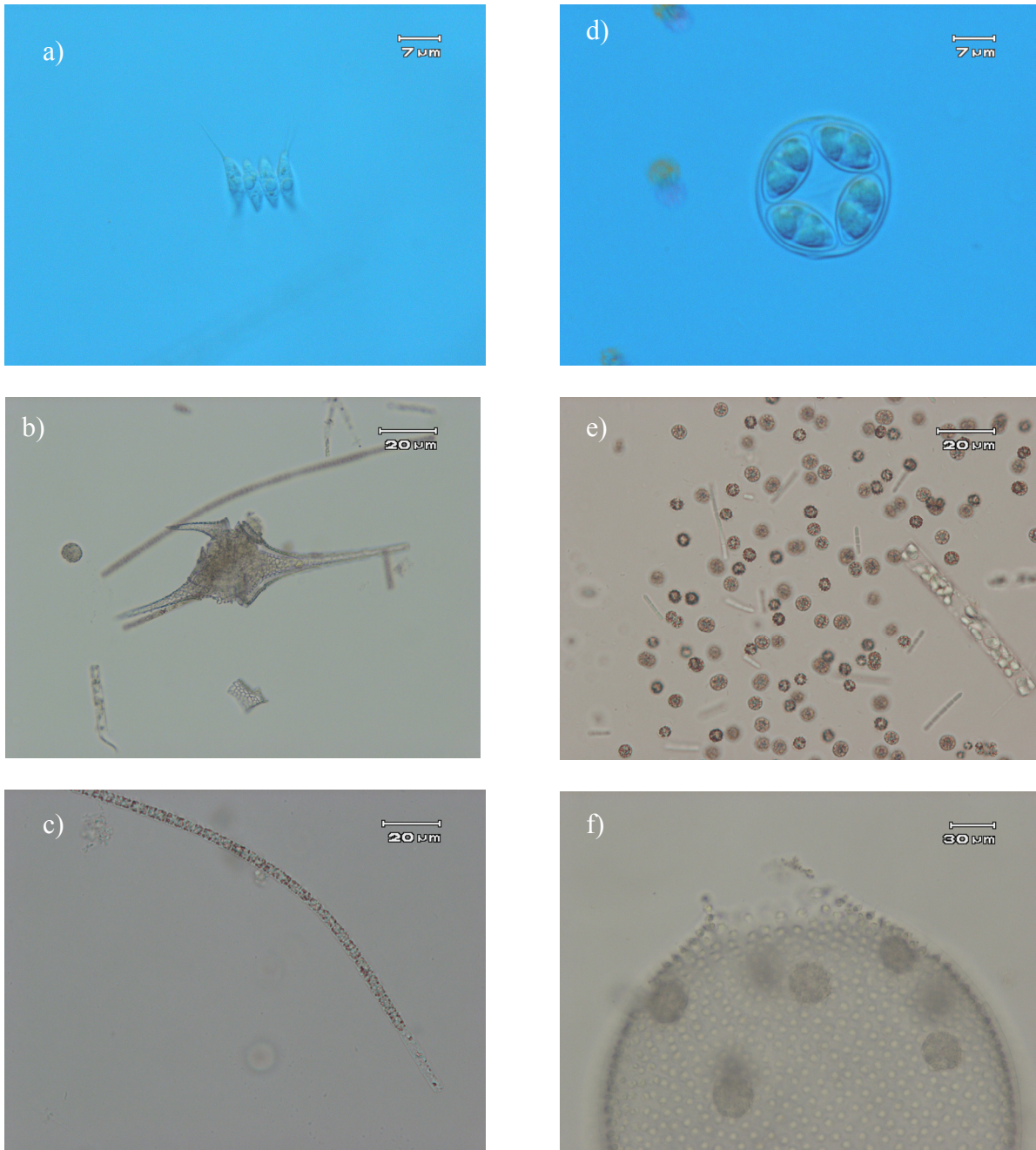


Figura 4. Las imágenes corresponden a (a) *Scenedesmus* sp., (b) *Ceratium* sp., (c) *Aphanizomenon flos aquae* var. *klebanii*, (d) *Oocystis* sp., (e) *Microcystis aeruginosa* y (f) *Volvox* sp.

## ZOOPLANCTON: DETERMINACIÓN TAXONÓMICA

La lista de especies de rotíferos encontradas así como los meses en que se observó su presencia se muestra en la tabla 2 y la de cladóceros y copépodos en la tabla 3. Para el phylum Rotifera se reportan 31 especies pertenecientes a 11 géneros y 9 familias, siendo la familia Brachionidae la más diversa con 11 especies, seguida de la familia Lecanidae con 4 especies. Se observó que algunas especies del género *Keratella* están presente a lo largo del periodo de muestreo en diferentes densidades. Las densidades más altas entre los rotíferos se reportan para las especies *Polyarthra vulgaris* con 4200 ind. l<sup>-1</sup> en el mes de febrero, seguida de *Brachionus havanaensis* de la cual se llegaron a encontrar densidades de 2440 ind. l<sup>-1</sup> en el mes de septiembre y, *Keratella cochlearis* tuvo su pico de máxima densidad en febrero aunque también uno pequeño en octubre (Fig. 5). El resultado del coeficiente de Sladeček señala que si este es menor de 1.0 indica oligotrofia, valores entre 1.0 y 2.0 mesotrofia, y valores por arriba de 2.0 eutrofia. Nosotros lo aplicamos y obtuvimos un valor de 3.6 resultado que de acuerdo con este coeficiente la laguna se clasifica como eutrófica.

Dentro del grupo de cladóceros se registraron 7 especies correspondientes a 5 familias. Se encontraron dos cladóceros grandes: *Daphnia parvula*, que alcanzó una densidad promedio de 20 ind. l<sup>-1</sup> durante el mes de mayo, y *Simocephalus vetulus* con 2.5 ind. l<sup>-1</sup> en el mes de agosto. La especie *Bosmina longirostris* también en agosto se registró con una densidad de 65 ind. l<sup>-1</sup> (Fig. 6). Por lo que respecta a la clase copépoda se encontraron dos organismos: uno perteneciente al orden Calanoida y el otro al orden Cyclopoida. En ambos géneros el estado de nauplio y copepodito dominaron gran parte del periodo de estudio aunque el segundo en bajas densidades comparado con el primero (Fig. 7). Imágenes de las especies más abundantes en la laguna de Zumpango se aprecian en la figura 8.

PHYLUM: ROTIFERA	MESES											
ORDEN: Ploima	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
FAMILIA: Brachionidae												
<i>Brachionus angularis</i> (Gosse, 1851)		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Brachionus bidentatus</i> Anderson, 1889						X					X	
<i>Brachionus budapestinensis</i> Daday, 1885		X					X				X	X
<i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas, 1766		X		X		X			X	X	X	X
<i>Brachionus caudatus</i> Borrois & Daday, 1894		X				X	X	X	X	X	X	X
<i>Brachionus havanaensis</i> Rousselet, 1991	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Brachionus quadridentatus</i>				X		X						X
<i>Keratella americana</i> Carlin, 1943		X		X		X	X					
<i>Keratella cochlearis</i> Gosse, 1851	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Keratella morenoi</i> Modenuti, Dieguez & Segers			X		X	X	X	X			X	X
<i>Keratella quadrata</i> (O. F. Müller, 1786)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Keratella tropica</i> Apstein, 1907	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X
FAMILIA: Mytilinidae												
<i>Mytilina ventralis</i> (Ehrenberg, 1832)				X								
FAMILIA: Lecanidae												
<i>Lecane bulla</i> (Gosse, 1851)		X			X							
<i>Lecane luna</i> O. F. Müller, 1776				X	X		X			X		
<i>Lecane quadridentata</i> (Ehrenberg, 1832)				X								
<i>Lecane</i> sp.	X			X	X	X	X				X	
FAMILIA: Notommatidae												
<i>Cephalodella cattelina</i> O. F. Müller, 1786		X	X	X	X	X	X	X				X
FAMILIA: Asplanchnidae												
<i>Asplanchna brightwelli</i> Gosse, 1850	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Asplanchna</i> sp.				X		X					X	
FAMILIA: Trichocercidae												
<i>Trichocerca dixon nutalli</i> Jennings, 1903							X					
<i>Trichocerca similis</i> (Wijerzejsky, 1893)							X	X	X	X	X	X
<i>Trichocerca</i> sp.	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X
FAMILIA: Filinidae												
<i>Filinia cornuta</i> Weisse, 1847					X							
<i>Filinia longiseta</i> Ehrenberg, 1834		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
FAMILIA: Synchaetidae												
<i>Polyarthra vulgaris</i>		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Synchaeta</i> sp.						X	X	X	X	X	X	X
FAMILIA: Testudinellidae												
<i>Testudinella patina</i> Hermann, 1783			X		X	X						
FAMILIA: Epiphanidae												
<i>Horaella thomassoni</i>					X	X	X	X	X			X
<i>Euchlanis</i> sp.												
<i>Liliferotrocha subtilis</i> Rodewald, 1940									X		X	X

Tabla 2. Lista de especies de rotíferos encontrados en la laguna de Zumpango en los doce meses del período de estudio.

SUPERCLASE: Crustácea	MESES											
CLASE: Branchiopoda	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
ORDEN: Anomopoda												
FAMILIA: Bosminidae												
<b><i>Bosmina longirostris</i> (O. F. Müller, 1785)</b>		X	X	X	X	X	X	X	X	X		
FAMILIA: Chydoridae												
<b><i>Pleuroxus aduncus</i> (Jurine, 1820)</b>	X	X	X	X	X	X		X		X		
FAMILIA: Daphnidae												
<b><i>Ceriodaphnia dubia</i> Richard, 1894</b>	X	X	X	X	X	X	X					
<b><i>Daphnia parvula</i> Fordyce, 1901</b>	X	X	X	X	X	X		X				
<b><i>Simocephalus vetulus</i> (O. F. Müller, 1776)</b>	X	X	X	X	X							
FAMILIA: Moinidae												
<b><i>Moina micrura</i> Kurz 1874</b>		X			X							
FAMILIA: Sididae												
<b><i>Diaphanosoma birgei</i> Korinek, 1981</b>		X	X	X	X	X	X	X		X	X	
CLASE: Copepoda												
ORDEN: Calanoida	X	X	X	X	X	X	X	X		X		
ORDEN: Cyclopoida	X	X	X	X	X	X	X	x		X		

Tabla 3. Lista de cladóceros y copépodos presentes en la laguna de Zumpango durante los doce meses de estudio.

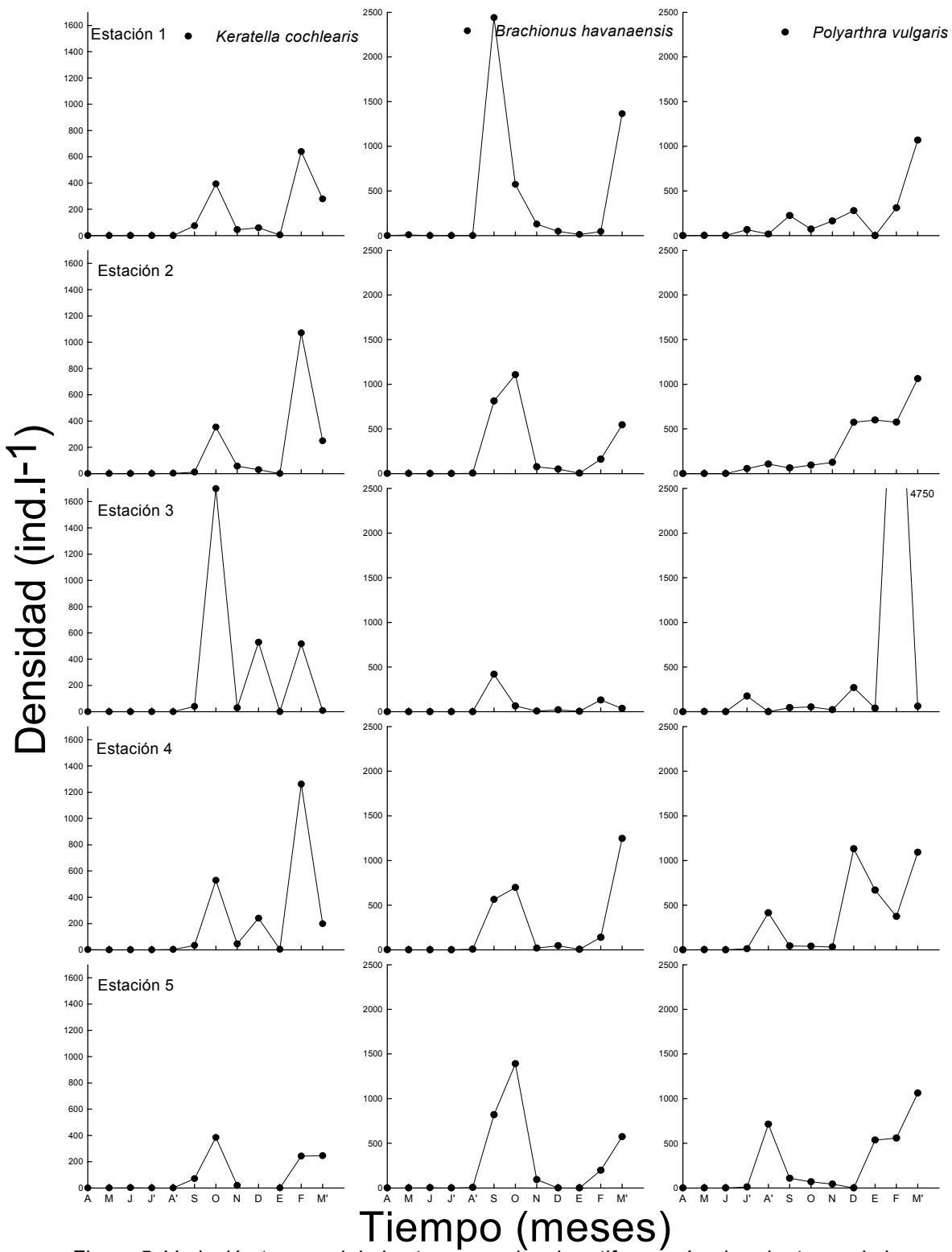


Figura 5. Variación temporal de las tres especies de rotíferos más abundantes en la laguna de Zumpango.



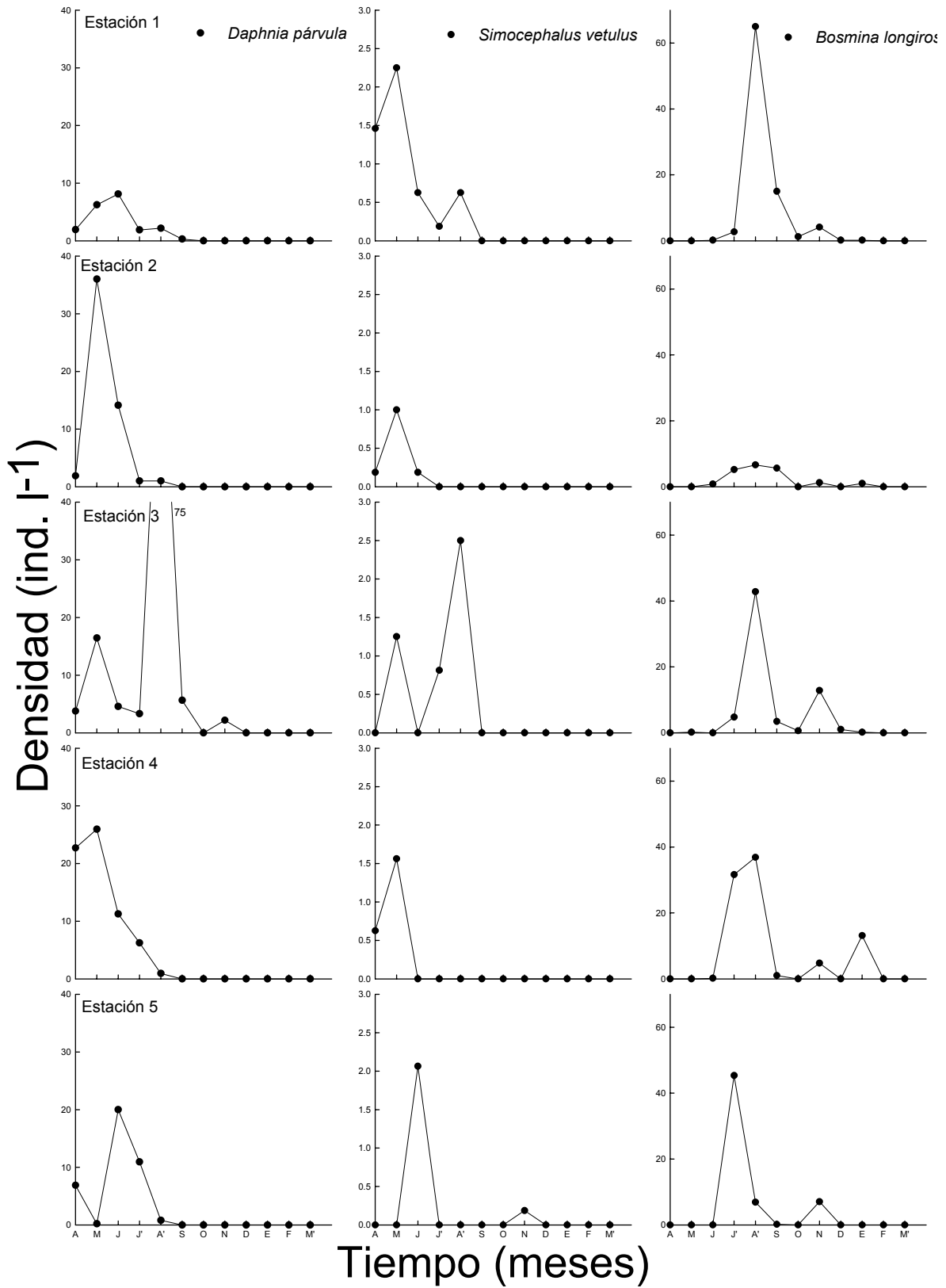


Figura 6. Variación temporal de tres especies de cladóceros en la Laguna de Zumpango.

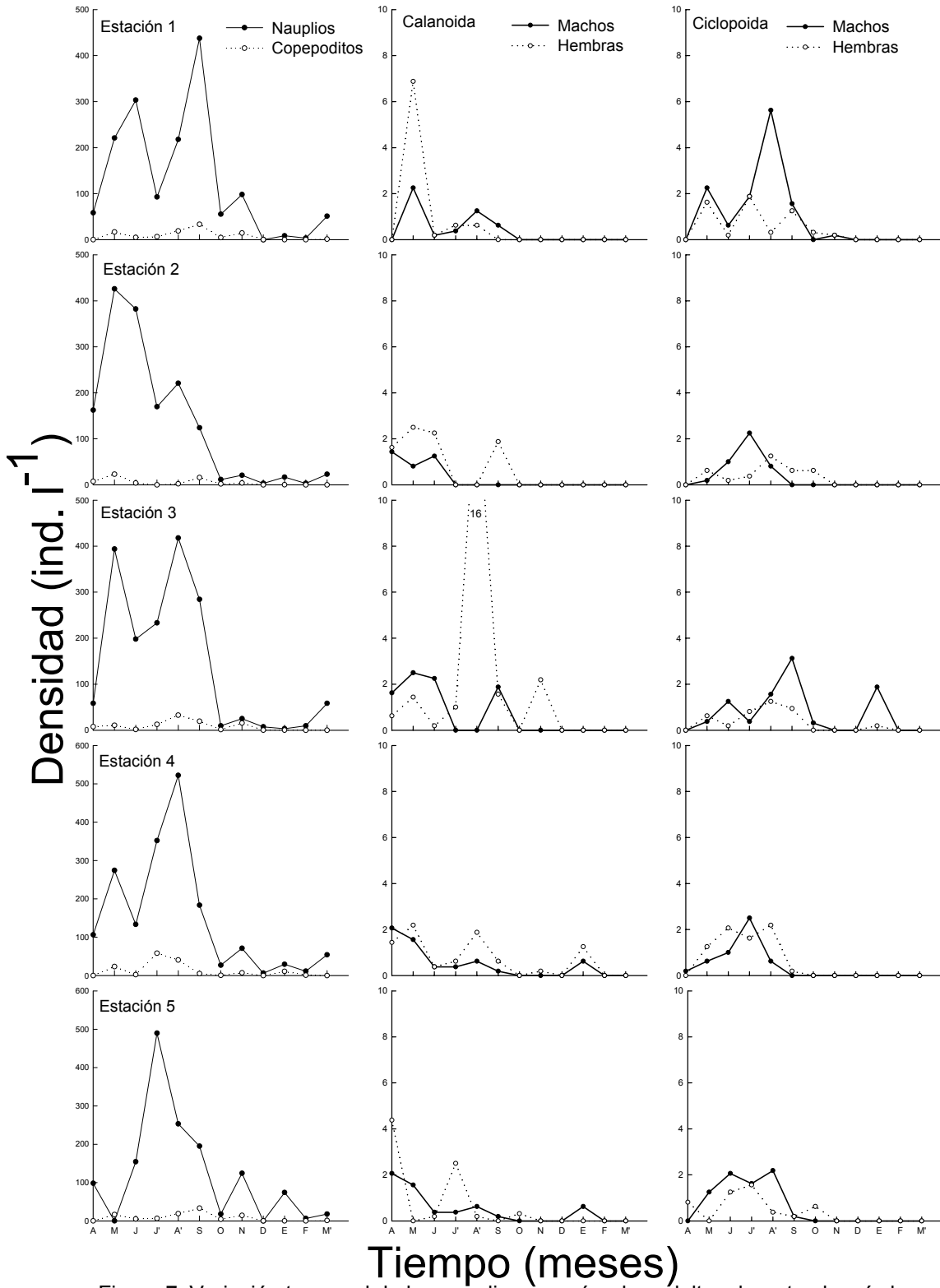


Figura 7. Variación temporal de los nauplios y copépodos adultos durante el período de estudio.

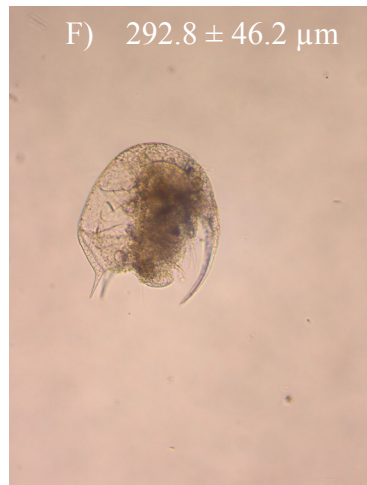


Figura 8. Las fotografías corresponden a: *Brachionus havanaensis* (A), *Keratella cochlearis* (B), *Polyarthra vulgaris* (C), *Daphnia parvula* (D), *Simocephalus vetulus* (E) y *Bosmina longirostris* (F).

#### DIVERSIDAD Y SIMILITUD

Según el índice de Shanon Wiener la diversidad del zooplancton varió en el rango de 0.4 a 3.1 durante el estudio. Se incrementó durante los meses cálidos en que ocurrió la época de lluvias, fue máxima en los meses de marzo y mayo, mientras que la diversidad fue baja en octubre y enero obteniéndose valores de 0.5. El valor de diversidad que se obtuvo varió para cada estación de muestreo. En la Fig. 9 se puede observar la variación en el valor de diversidad. La similitud entre estaciones alcanzó un valor de 1, lo que indica similitud completa entre algunas estaciones en ciertos meses del año (se puede apreciar que en general ocurrió mayor similitud en época de secas), esto quiere decir que la probabilidad de encontrar las mismas especies en todas las estaciones fue del cien por ciento. Los valores se pueden apreciar en la tabla 4. Cabe remarcar la gran similitud entre las estaciones 2 a 5 en el mes de junio, lo que se puede interpretar como que la probabilidad de encontrar las mismas especies en estas estaciones fue muy alta. En general se puede decir que la similitud entre estaciones fue de media a alta ya que se mantuvo arriba de 0.5.

#### **VARIACIÓN DE LA MORFOLOGÍA DE *Daphnia parvula***

Los cladóceros *Daphnia parvula* y *Simocephalus vetulus* son los más grandes que habitan la laguna por lo que presentan mayor vulnerabilidad a la depredación por peces. Sin embargo *S. vetulus* es una especie de hábitos principalmente litorales, lo que probablemente le sirva para escapar a la depredación ya que las plantas funcionan como refugio. Mientras que *D. parvula* es principalmente planctónica la cual es una de las explicaciones de la

cicломorfosis de algunas especies del género *Daphnia*. En este caso los organismos preservados de *D. parvula* se observó la aparición de la cresta o yelmo en los meses de agosto y octubre (Fig. 10).

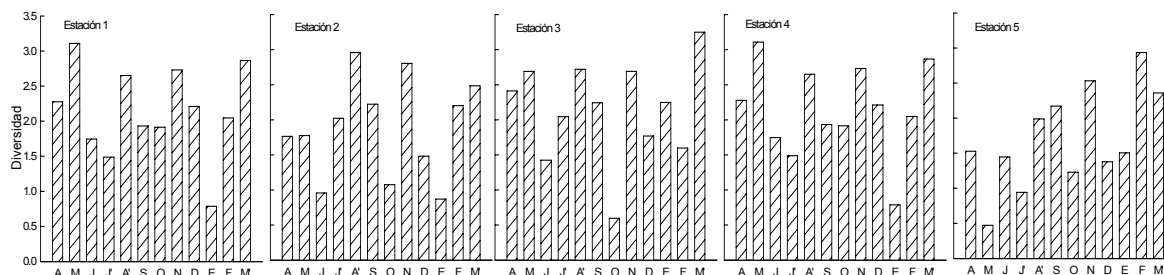


Figura 9. Índice de diversidad de acuerdo con Shanon-Wiener en la laguna de Zumpango.

ESTACION	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
01:02	0.6	0.7	0.9	0.9	0.6	0.9	0.9	0.9	0.8	<u>0.1</u>	0.9	0.7
01:03	0.9	0.8	<b>1.0</b>	0.8	<u>0.5</u>	0.9	0.6	0.7	0.6	0.6	<u>0.5</u>	0.8
01:04	0.7	0.7	0.9	<b>1.0</b>	0.7	0.9	<b>1.0</b>	0.8	0.9	<u>0.0</u>	0.9	<b>1.0</b>
01:05	<u>0.5</u>	0.0	0.9	<b>1.0</b>	0.5	0.9	0.9	0.9	0.8	<u>0.2</u>	0.7	0.7
02:03	0.8	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<u>0.1</u>	0.9	<u>0.3</u>	<u>0.5</u>	<u>0.5</u>	0.7	<u>0.5</u>	0.6
02:04	0.7	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	0.9	0.9	<b>1.0</b>	0.9	0.7	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	0.8
02:05	<b>1.0</b>	<u>0.1</u>	<b>1.0</b>	0.9	0.8	0.9	<b>1.0</b>	0.7	<b>1.0</b>	0.9	0.7	<b>1.0</b>
03:04	0.7	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	0.8	<u>0.1</u>	<b>1.0</b>	0.6	0.9	0.6	0.6	0.4	0.8
03:05	0.7	<u>0.1</u>	<b>1.0</b>	0.7	<u>0.1</u>	<b>1.0</b>	<u>0.3</u>	0.7	<u>0.5</u>	0.7	0.7	0.6
04:05	0.7	<u>0.1</u>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	0.9	<b>1.0</b>	0.9	0.8	<b>1.0</b>	0.9	0.7	0.7

Tabla 4. Índice de similitud de acuerdo a Morisita. Los valores van de 0 a 1. 0 (no similitud) 1 (similitud completa).

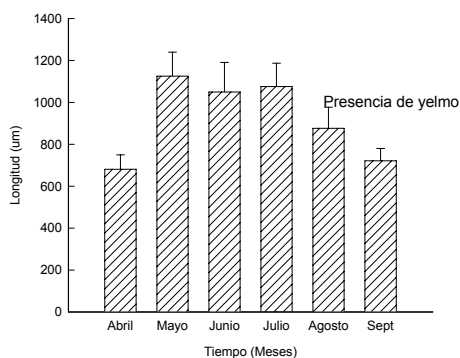


Figura 10. Variación en la longitud corporal de *Daphnia párvula* (60 organismos) durante el periodo de estudio.

## **FASE DE LABORATORIO: EXPERIMENTOS DE CRECIMIENTO POBLACIONAL**

*Simocephalus vetulus* a 15° y 25° C de temperatura.

Los resultados indican que la especie *S. vetulus* a 15° C alcanzó una densidad de 200 organismos en un volumen de 50 ml (4 individuos ml<sup>-1</sup>) en la densidad baja de alimento y hasta 350 organismos (7 individuos ml<sup>-1</sup>) en las concentraciones de alimento intermedia y alta. A 25° C alcanzó un máximo de 50 y 250 individuos en la densidad baja y en la densidad alta de alimento respectivamente. La fase de crecimiento exponencial a 15° C inició el día 10 en las tres densidades de alimento dos días antes que a 25° C. En cuanto al día de máxima densidad fue diferente de acuerdo con la densidad del alga y con la temperatura ya que a 15° C se presentó después del día 30 y a 25° C ocurrió alrededor del día 23 (Fig. 11). La tasa de crecimiento poblacional a 15° C y a 25° C fue menor a 0.1 siendo mayor en la concentración alta de alimento en ambas temperaturas. Fue afectada por la temperatura, la concentración de alimento y la interacción de estos factores (Tabla 5 p<0.05).

*Ceriodaphnia dubia* a 15° y 25° C.

En el caso de *Ceriodaphnia dubia* los resultados mostraron que a 15° C en ninguna concentración de alimento creció bien. La densidad poblacional varió de 23 organismos en un volumen de 50 ml a un máximo de 26 individuos en la concentración de 0.24 x 10<sup>6</sup> cel ml y 0.48 x 10<sup>6</sup> cel ml respectivamente. Se observó que a 25° C se obtuvo una densidad de 120 individuos en la concentración baja de alimento y en la concentración alta sólo se alcanzó una densidad poblacional de 85 individuos. A 15° C no se presentó la fase de crecimiento exponencial y en 25° esta inició el día 4 de la prueba (Fig. 12). Con respecto al parámetro maltusiano este fue afectado negativamente por la baja temperatura, y por la interacción de ésta con el alimento (Tabla 6 p< 0.05).

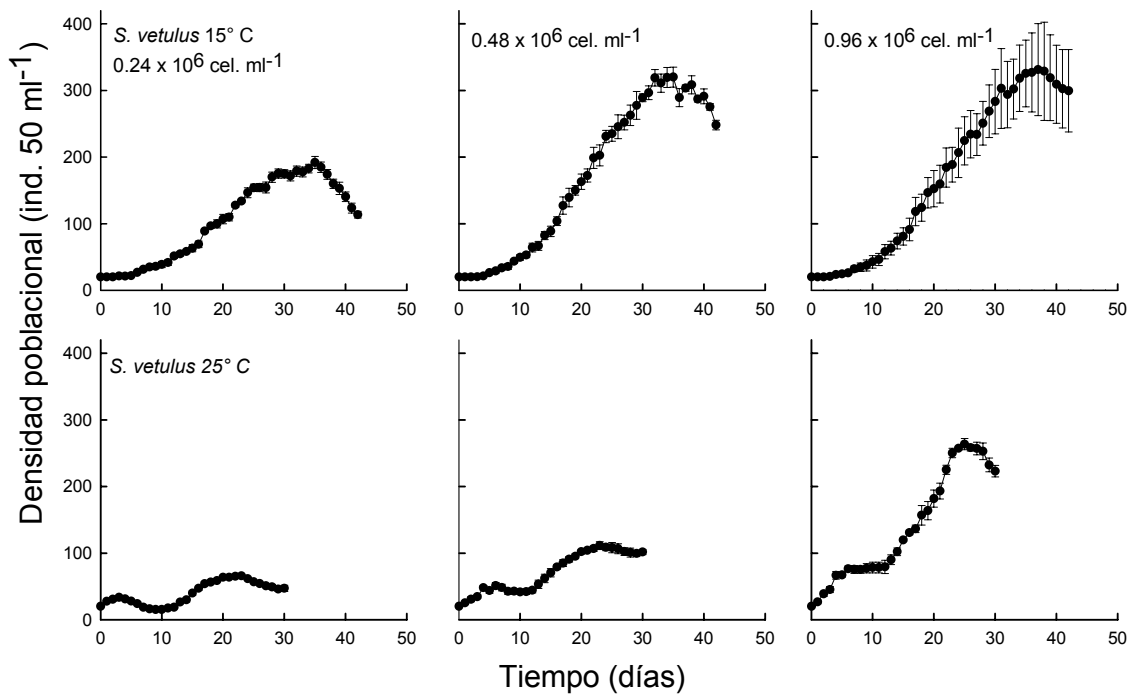


Figura 11. Crecimiento poblacional de *S. vetulus* en tres densidades de alimento a 15° C y 25° C de temperatura

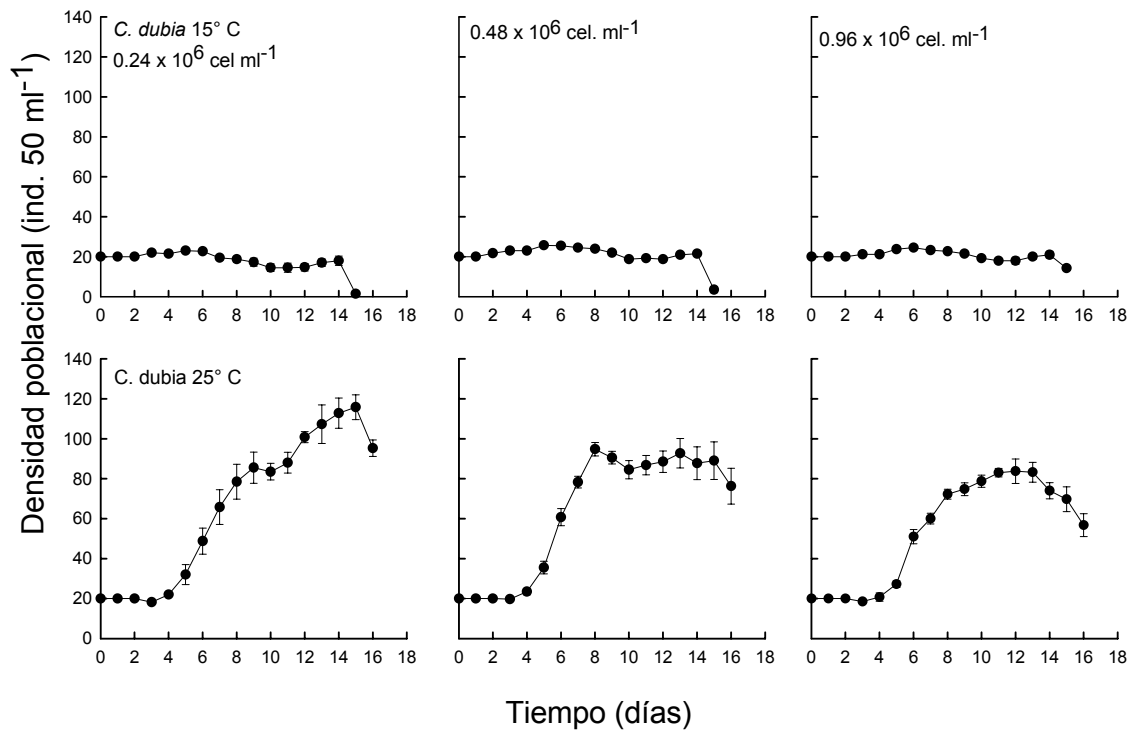


Figura 12. Crecimiento poblacional de *C. dubia* en tres densidades de alimento a 15° C y 25° C de temperatura.

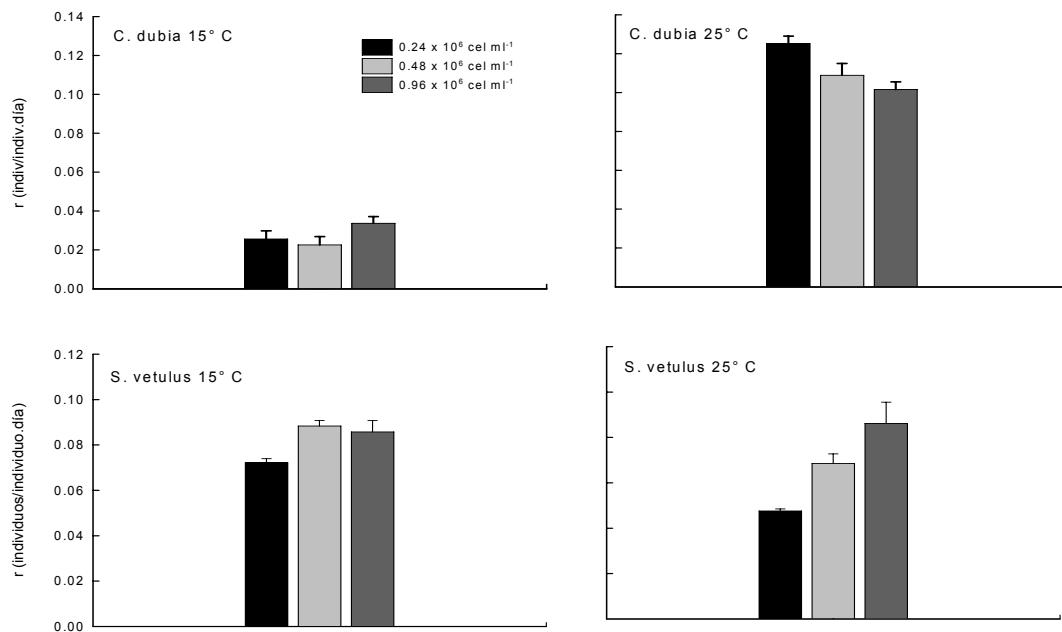


Figura 13. Tasa de crecimiento poblacional ( $r$ ) de *Ceriodaphnia dubia* a 15 y 25° C en la parte superior y *Simocephalus vetulus* en la parte inferior.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media al cuadrado	Prueba de Fischer	Probabilidad
Temperatura	<b>1</b>	<b>7704</b>	<b>0.0428</b>	<b>558.1306</b>	<b>0.0000</b>
Alimento	2	0.003762	0.000209	2.7250	0.092503
Interacción	<b>2</b>	<b>0.009108</b>	<b>0.000506</b>	<b>6.5925</b>	<b>0.007111</b>
Error	18				

Tabla 5. Análisis de varianza de dos vías del parámetro maltusiano ( $r$ ) de *Ceriodaphnia dubia* en tres niveles de alimento y dos temperaturas. Valores en negritas son significativos.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media al cuadrado	Prueba de Fischer	Probabilidad
Temperatura	<b>1</b>	<b>0.023256</b>	<b>0.001292</b>	<b>31.80638</b>	<b>0.000024</b>
Alimento	<b>2</b>	<b>0.025956</b>	<b>0.001442</b>	<b>35.50525</b>	<b>0.000001</b>
Interacción	<b>2</b>	<b>0.006336</b>	<b>0.000352</b>	<b>8.65515</b>	<b>0.002325</b>
Error	18				

Tabla 6. Análisis de varianza de dos vías del parámetro maltusiano ( $r$ ) de *Simocephalus vetulus* en tres niveles de alimento y dos temperaturas. Valores en negritas son significativos.



## EXPERIMENTOS DE TABLA DE VIDA

### SUPERVIVENCIA

*Simocephalus vetulus* a 15° y 25° C de temperatura.

Este cladóceros en las dos temperaturas y en las tres densidades de alimento presentó una curva de supervivencia tipo I (supervivencia alta en jóvenes y baja en adultos), por lo que puede decirse que la densidad del alga así como la temperatura no afectó de manera importante la supervivencia de la especie (Fig. 14). La máxima supervivencia fue de 41 días en las dos temperaturas, pero la concentración de alimento en la que ocurrió fue diferente ya que a 15° C se presentó en la concentración de alga de  $0.24 \times 10^6$  cel/ml, y a 25° fue en  $0.96 \times 10^6$  cel. ml<sup>-1</sup>.

Se puede observar también que en ambas temperaturas la población con densidad baja de alimento empezó a disminuir el día 3, mientras que en las concentraciones media y alta de alimento fue el día 5.

*Ceriodaphnia dubia* a 15° C y 25° C de temperatura

La curva de supervivencia fue tipo I a 25° C con el último individuo muriendo el día 35. A 15° C la mortalidad se agudizó del día dos al 16 de la prueba en las tres densidades de alimento, a partir del día 17 las poblaciones se mantuvieron hasta el día 29 en las concentraciones baja y media de alimento (Fig. 15).

### FECUNDIDAD

*Simocephalus vetulus* a 15° C y 25° C de temperatura.

A 15° C la primera reproducción fue el día 19 en las densidades baja y media; y el día 17 en la densidad alta, el número de descendientes fue de 2 a 5, en la temperatura de 25° C la reproducción así como el número de crías dependió de la densidad de alimento, ya que a alta densidad de alimento correspondió mayor número de descendientes y un adelanto de

11 días en su primera reproducción con respecto a la otra temperatura (Fig. 16). En las dos temperaturas los días de máxima reproducción ocurren al final del experimento.

*Ceriodaphnia dubia* 15° C

En este caso tanto a 15° como a 25° C parece no haber relación entre densidad de alga y número de crías así como con su día de primera reproducción. A 25° C el número de crías fue de 2 a 3 y a 15° C de 0.9 a 2 con su inicio de reproducción el día 4. Se observó que a 15° C en la densidad baja de alimento la reproducción terminó muchos días antes que en las otras concentraciones de alimento.

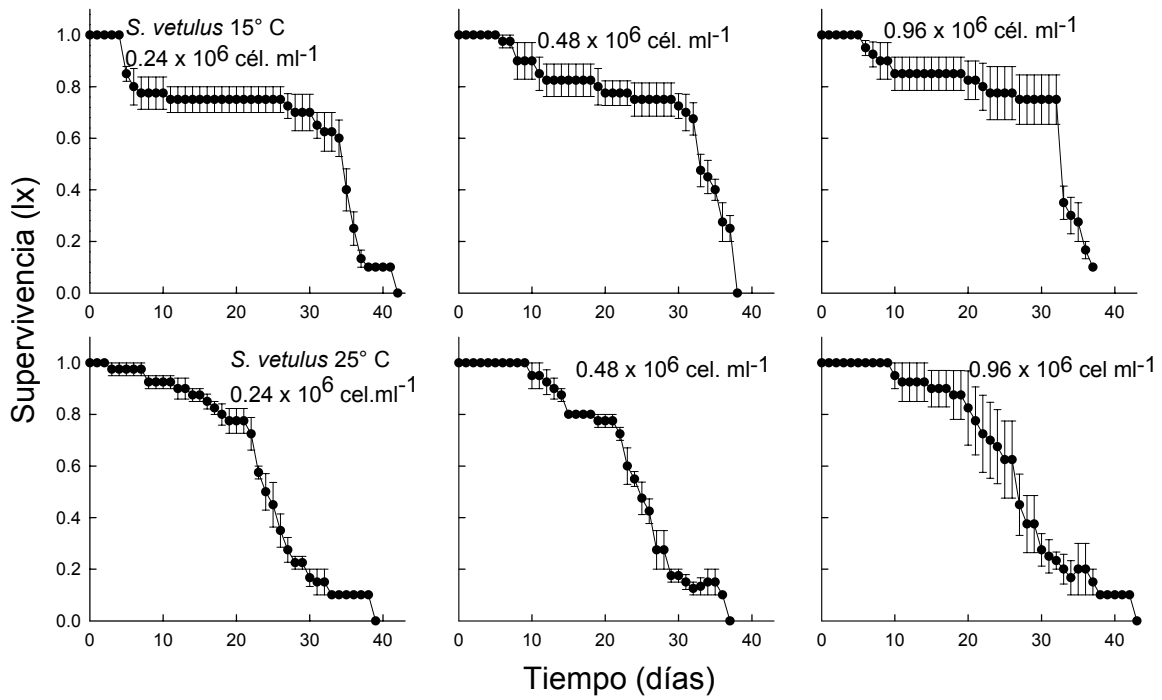


Figura 14. Supervivencia de *S. vetulus* a 15° y 25° C de temperatura en tres densidades del alga *Sc. acutus*.

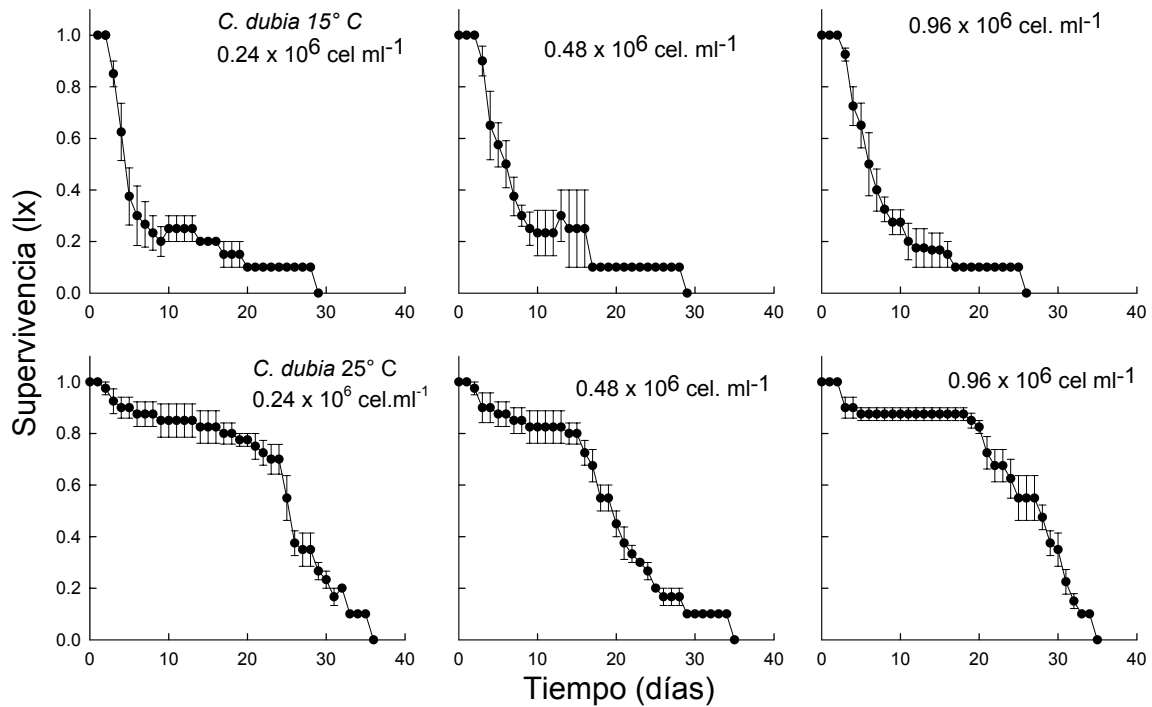


Figura 15. Supervivencia de *C. dubia* a 15° y 25° C de temperatura en tres densidades del alga *Sc. acutus*.

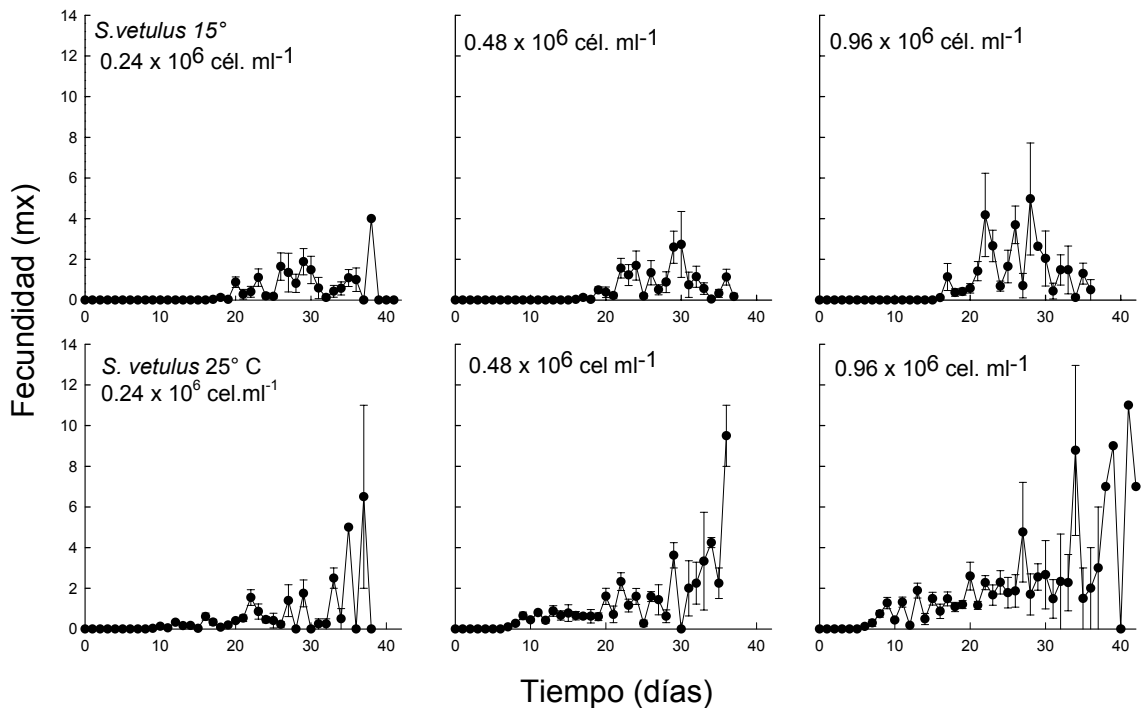


Figura 16. Fecundidad de *S. vetulus* en dos temperaturas 15° y 25° C en tres densidades del alga *Sc. acutus*.

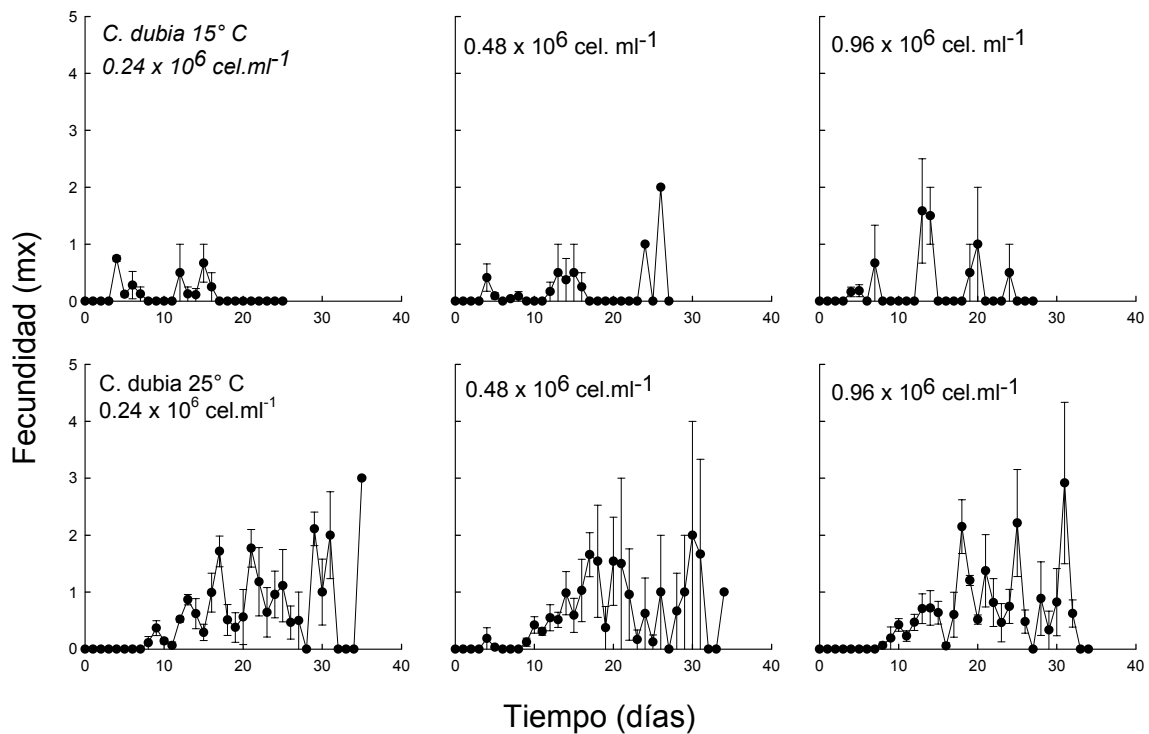


Figura 17. Fecundidad de *C. dubia* a 15° y 25° C de temperatura y alimentado con tres densidades del alga *Sc. acutus*.

El promedio de vida para *S. vetulus* varió de 25 a 29 días en 25° C y 15° C respectivamente, por lo que fue significativamente más alto en 15° C, sin embargo no se observó un impacto del alimento. ( $p < 0.01$  tabla 5). La tasa reproductiva bruta estuvo en el rango de 30 a 60 crías en 15 y 25° C respectivamente, se puede apreciar que este parámetro si fue afectado por la temperatura, densidad de alimento ( $p < 0.001$ , tabla 5), y la interacción de estos dos factores de forma significativa ( $p < 0.05$ , tabla 5). La tasa reproductiva neta varió de 10 a 25 descendientes y fue afectada significativamente por la concentración de alimento ( $p < 0.001$ ), ya que a mayor concentración de alimento hubo un mayor número de descendientes; aunque no hubo impacto de la temperatura. El tiempo generacional fue de 27 días a 15° C, significativamente mayor que los 25 días a 25° C, y no se observó impacto de la concentración de alimento ( $p > 0.05$ , tabla 5). La tasa intrínseca de crecimiento fue afectada significativamente por la concentración de alimento siendo de 0.20 en 25° C más alta que a 15° C que fue de 0.14, así mismo hubo un efecto significativo de la densidad de alimento y de la interacción de ambos factores ( $p < 0.001$ , tabla 5) figura 18.

En cuanto a *C. dubia* su promedio de vida varió de 7 días a 15° C a 25 días en 25° C, siendo significativamente mayor en 25° C, así como también afectó de forma significativa la interacción de la temperatura y el alimento ( $p < 0.05$ , tabla 6). La tasa reproductiva bruta estuvo en el rango de 3 a 20 crías a 15 y 25° C respectivamente, por lo que fue afectada significativamente por la temperatura ( $p < 0.01$ , tabla 6), sin embargo la tasa reproductiva neta fue afectada de forma significativa ( $p < 0.05$ , tabla 6) tanto por la temperatura, densidad de alimento y la interacción de estos dos factores, observándose que a 15° C fue 1 descendiente y a 25° fue de 12. El tiempo generacional varió de 7 a 20 días dependiendo de la temperatura ya que a 15° fue significativamente menor ( $p < 0.001$ , tabla 6), pero no

hubo impacto de la concentración de alimento ( $p > 0.05$ , tabla 6) y finalmente el parámetro maltusiano alcanzó un valor de 0.14 significativamente más alto a 25° C ( $p < 0.01$ , tabla 6), se observó además que a 15° C la  $r$  incluso fue negativa en la densidad de  $0.24 \times 10^6$  cel  $ml^{-1}$  (Fig. 18).

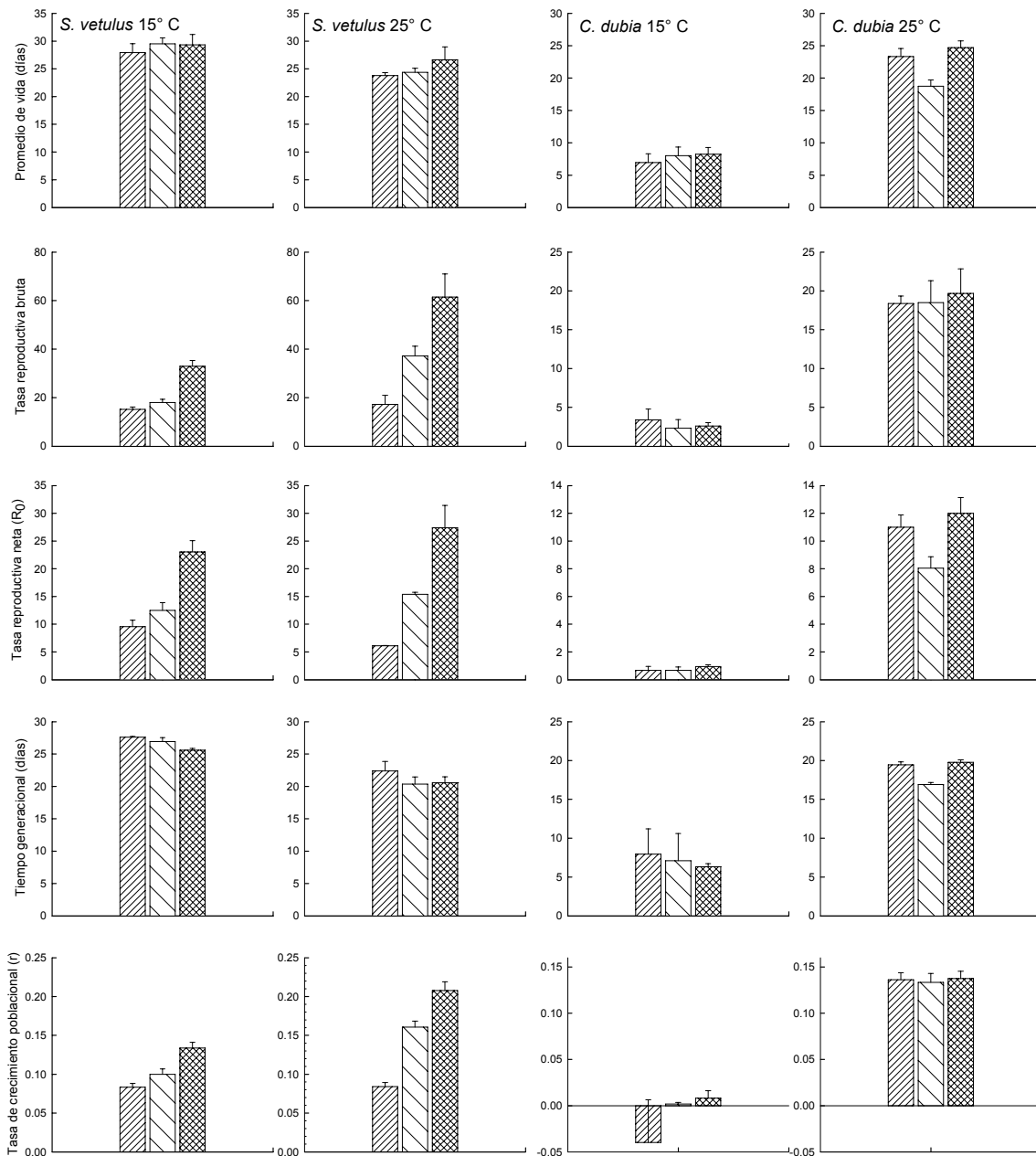


Figura 18. Parámetros demográficos de *S. vetulus* y *C. dubia* a 15° C y 25° C de temperatura.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media al cuadrado	Prueba de Fischer	Probabilidad
Promedio de vida					
Temperatura	<b>1</b>	<b>95.6</b>	<b>95.6</b>	<b>10.50698</b>	<b>0.00453</b>
Alimento	2	17.86	8.93	0.98122	0.394029
Interacción	2	6.06	3.03	0.33278	0.721243
Error	18	9.098			
Tasa reproductiva bruta					
Temperatura	<b>1</b>	<b>1630.366</b>	<b>1630.366</b>	<b>19.28541</b>	<b>0.000352</b>
Alimento	<b>2</b>	<b>3924.954</b>	<b>1962.477</b>	<b>23.2139</b>	<b>0.00001</b>
Interacción	<b>2</b>	<b>716.306</b>	<b>358.153</b>	<b>4.23655</b>	<b>0.031061</b>
Error	18	84.54			
Tasa reproductiva neta					
Temperatura	1	8.4017	8.4017	19.285	0.000352
Alimento	<b>2</b>	<b>1240.5634</b>	<b>620.2817</b>	<b>23.213</b>	<b>0.00001</b>
Interacción	2	67.2934	33.6467	4.236	0.031061
Error	18	15.74			
Tiempo generacional					
Temperatura	<b>1</b>	<b>180.95</b>	<b>180.95</b>	<b>57.9</b>	<b>0</b>
Alimento	2	16.06	8.03	2.6	0.104626
Interacción	2	1.86	0.93	0.3	0.746036
Error	18	3.13			
Parámetro maltusiano (r)					
Temperatura	<b>1</b>	<b>0.012254</b>	<b>0.012254</b>	<b>53.3435</b>	<b>0.000001</b>
Alimento	<b>2</b>	<b>0.03036</b>	<b>0.01518</b>	<b>66.08324</b>	<b>0</b>
Interacción	<b>2</b>	<b>0.006122</b>	<b>0.003061</b>	<b>13.32617</b>	<b>0.000281</b>
Error	18	0.00023			

Tabla 7. Análisis de varianza de dos vías de los parámetros demográficos del cladócero *Simocephalus vetulus* en tres niveles de alimento y dos temperaturas. Los valores en negritas son significativos.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media al cuadrado	Prueba de Fischer	Probabilidad
<b>Promedio de vida</b>					
Temperatura	<b>1</b>	<b>1264.4</b>	<b>1264.4</b>	<b>231.23</b>	<b>0</b>
Alimento	2	38.36	19.18	3.507	0.051
Interacción	<b>2</b>	<b>43.136</b>	<b>21.568</b>	<b>3.944</b>	<b>0.0379</b>
Error	18	5.468			
<b>Tasa reproductiva bruta</b>					
Temperatura	<b>1</b>	<b>1551.3</b>	<b>1551.3</b>	<b>104.14</b>	<b>0</b>
Alimento	2	2.14	1.07	0.07	0.93
Interacción	2	4.64	2.32	0.15	0.85
Error	18	14.894			
<b>Tasa reproductiva neta</b>					
Temperatura	<b>1</b>	<b>551.04</b>	<b>551.04</b>	<b>286.37</b>	<b>0</b>
Alimento	<b>2</b>	<b>18.78</b>	<b>9.39</b>	<b>4.88</b>	<b>0.02</b>
Interacción	<b>2</b>	<b>15.2</b>	<b>7.6</b>	<b>3.93</b>	<b>0.03</b>
Error	18	1.92			
<b>Tiempo generacional</b>					
Temperatura	<b>1</b>	<b>806.7</b>	<b>806.7</b>	<b>51.8</b>	<b>0.000001</b>
Alimento	2	11.8	5.9	0.37	0.68
Interacción	2	12.8	6.4	0.41	0.66
Error	18	15.56			
<b>Parámetro malthusiano (r)</b>					
Temperatura	<b>1</b>	<b>0.122994</b>	<b>0.122994</b>	<b>130.05</b>	<b>0</b>
Alimento	2	0.001526	0.000763	0.81	0.462
Interacción	2	0.00156	0.00078	0.83	0.454
Error	18	0.000946			

Tabla 8. Análisis de varianza de dos vías para los parámetros demográficos del cladócer *Ceriodaphnia dubia* en tres niveles de alimento y dos temperaturas. Los valores en negritas son significativos.



## TASAS DE FILTRACIÓN

Se observó que los cladóceros *S. vetulus* y *C. dubia* filtran hasta 0.6 ml del alga *S. acutus* por día y el cladócero *D. pulex* filtra hasta 0.5 ml por día. Se observó también que a menor concentración de alimento filtraron más que a concentraciones altas, además de que su tasa de filtración fue mayor que la de *D. pulex* (Fig. 19).

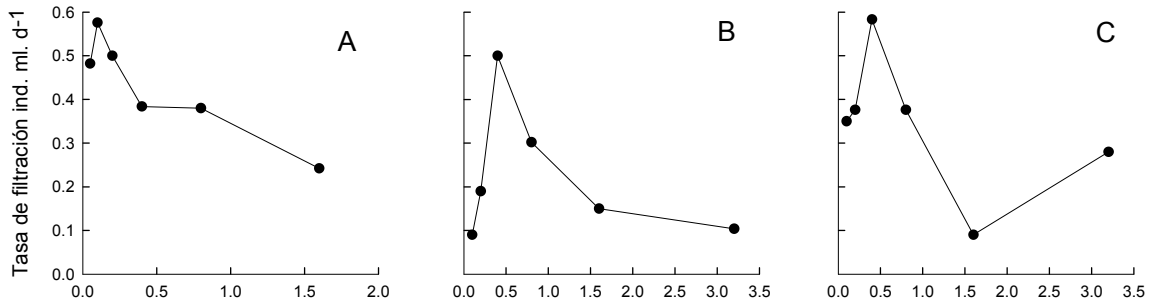


Figura 19. Tasas de filtración de las tres especies de cladóceros: A) *Simocephalus vetulus*, B) *Daphnia pulex* y C) *Ceriodaphnia dubia*.

## PREFERENCIA ALIMENTICIA

Los resultados de esta prueba indican que el cladócero *Simocephalus vetulus* fue el que consumió un mayor porcentaje de colonias de la cianoprocarionta *M. aeruginosa* (aproximadamente 46 %) y el cladócero *D. pulex* fue el que menos consumió apenas un 23%. Mientras que alimentados de la clorofita *S. acutus*, se observó que *S. vetulus* fue el que menos consumió (14%) y el que más consumió fue el cladócero pequeño *C. dubia* (27 %) Fig. 20.

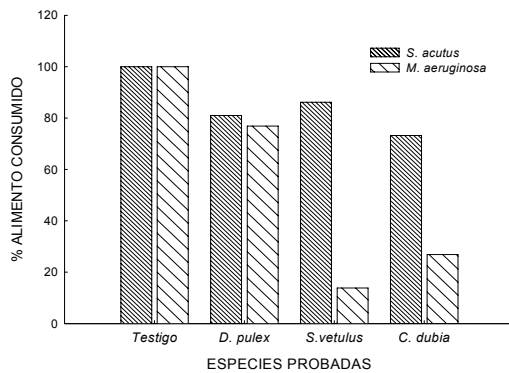


Figura 20. Porcentaje de células de *S. acutus* y colonias de *M. aeruginosa* consumidas.

## DISCUSIÓN

La laguna de Zumpango, que hasta antes del siglo XVI estuvo conectada con el lago de Xochimilco y el lago de Texcoco, es un cuerpo de agua somero (Zmedia 2.60 m) con gran variación en su profundidad debido a que sus aguas se utilizan para el riego, lo cual disminuye aproximadamente 10 cm. el nivel del agua cada vez que la utilizan para irrigar. Se observó que durante el estudio, el nivel de agua disminuyó de los 6 m a 0.90 m. El nivel se incrementó cuando hubo gran efluente proveniente de los municipios urbanos y conurbanos. Su poca profundidad permite que el viento mantenga la columna de agua mezclada, también su fauna de peces como la carpa resuspende los sedimentos (Scheffer 1998). Durante el periodo de estudio la transparencia fue reduciéndose, esto se debió probablemente a que conforme fueron llegando descargas de aguas residuales con grandes aportes de nutrimentos el fitoplancton aumentó su densidad interfiriendo la luz; además, la época de lluvias durante los meses de julio a septiembre también contribuyó a la turbidez por mezcla y acarreo de materia disuelta, observándose que en la estación 3 se presentó menor visibilidad debido a que, al estar más cerca del canal de descarga, la cantidad de fitoplancton así como de sólidos disueltos ahí fue mayor. El intervalo de temperatura durante el periodo de estudio varió de 12° C a 22° C. Aunque de acuerdo con Hutchinson (1967), el rango de temperatura para cuerpos de agua tropicales está en el intervalo de 20° a 30° C, la altitud a la que se encuentra la laguna (2250 msnm) puede ser la causa de que las temperatura registradas estén por debajo de ese rango. Se pueden apreciar dos diferencias muy marcadas, de mayo a octubre temperaturas altas y de noviembre a abril temperaturas bajas. Las temperaturas registradas son muy parecidas a lo reportado por Nandini *et al* (2005) para el lago de Xochimilco, así como las registradas en Chapultepec por Muro (1994), sin llegar a los 32° C que fue la máxima reportada por Enríquez (2004) para

Huetzalin, Xochimilco. El rango de temperatura se considera óptimo para los organismos ya que no alcanzó los 30° C ya que por arriba de este valor muchos cladóceros no pueden vivir (Dodson y Frey, 1991) y algunos rotíferos incrementan su respiración con el consiguiente gasto energético (Wallace y Snell, 1991). El pH registrado (8.3 unidades en promedio) en el cuerpo de agua indica un cuerpo de agua ligeramente básico lo que coincide con lo reportado en otros estudios de lagos mexicanos (Sarma y Elías-Gutiérrez, 1998). Berzins y Pejler (1987) señalan que las especies de rotíferos encontradas en aguas eutróficas tienen un óptimo en o por arriba de la neutralidad. Sin embargo Snell *et al.* (1987), reportan que un pH de 8.7 ó mayor deprime la actividad de nado de los rotíferos. Así mismo Madigan (1999) reporta que valores de  $\text{pH} > 8.0$  son adecuados para el crecimiento de cianoprocariontes, tal como ocurrió en la laguna la mayor parte del año. Por lo que respecta a la concentración de oxígeno disuelto, se presentó una sobresaturación en el mes de marzo en la estación tres lo que se puede atribuir a la gran biomasa de fitoplancton (principalmente cianoprocariontes), la concentración mas baja ocurrió en el mes de enero con 18.5 %, en este caso equivalente a  $1.4 \text{ mg l}^{-1}$  que según lo señalado por Wetzel (1981), es ya una cantidad deficiente para la respiración de peces y cladóceros provocando que éstos últimos disminuyan su tasa de filtración (Weider y Lampert, 1985). Por lo que respecta a la dureza del agua de la laguna esta se puede clasificar de acuerdo con su contenido de  $\text{CaCO}_3$  como moderadamente dura a dura, según la tabla de Sawyer y McCarty (1967). Este valor es muy parecido al obtenido en el lago de Pátzcuaro (Orbe y Acevedo, 1998). En cuanto a la conductividad del agua del lago los datos obtenidos indican que se encuentra dentro del rango permitido para el agua dulce (APHA, 1992).

Por lo que respecta a los nutrimentos, el fósforo total aportado al lago principalmente por descarga de aguas residuales varió en el rango de  $0.5$  a  $2 \text{ mg l}^{-1}$ , concentración que de

acuerdo con lo establecido por la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-ECOL-1996) para la protección de la vida acuática está dentro de los límites máximos permisibles, y de acuerdo con la OCDE (Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo, 1982) esto clasifica al lago como eutrófico. De acuerdo con la proporción propuesta por Redfield (1963, citado por Rast y Smith 1992) de N: P, los valores encontrados indican que en la laguna el nitrógeno es el nutriente limitante y esto podría explicar por qué *Aphanizomenon flos aquae* var. *klebanii*, que es capaz de fijar N atmosférico, está presente a lo largo del año. La biomasa del lago en términos de clorofila *a* se incrementó desde el verano a aproximadamente  $20 \mu\text{g l}^{-1}$ , con picos en agosto, febrero y marzo dependiendo de la estación de muestreo de hasta  $100 \mu\text{g l}^{-1}$ , lo cual se debió a los florecimientos de las cianobacterias; este dato según la OCDE (1982) tipifica a la laguna como hipertrofica en estos meses del año y el resto como eutrófica.

La diversidad de especies del fitoplancton estuvo representada principalmente por clorofitas unicelulares y coloniales de hasta  $30 \mu\text{m}$  de tamaño; y cianoprocaritas. Las características químicas del lago, como señala Madigan *et al* (1999) tales como el pH alcalino y las altas temperaturas representaron condiciones óptimas para los florecimientos de cianoprocaritas tales como *Microcystis aeruginosa* en mayo, *Aphanizomenon flos aquae* var. *klebanii* durante todo el periodo de muestreo aunque en diferentes densidades y *Woronichinia sp.* las cuales son un indicador de eutrofia. Infante y Riehl (1984) en Venezuela, así como Sant'Anna *et al* (2004) en Brasil señalan que *Microcystis* es el género más común que se encuentra en cuerpos de agua eutróficos. *A. flos aquae* var. *klebanii* se encontró en colonias en forma de pasto principalmente en abril, y el resto del estudio en bajas densidades. *Microcystis aeruginosa* se encontró en forma colonial (hasta  $50 \mu\text{m}$ ), siendo muy abundante sobre todo en el sitio 3 de muestreo que se encuentra cerca de la entrada de

aguas residuales, mezclada con colonias de *Woronichinia*. Los rotíferos que alcanzaron densidades más altas fueron las especies *Keratella cochlearis*, *Brachionus havanaensis* y *Polyarthra vulgaris*, y en general todas durante los meses más cálidos como también fue observado por Lopes (1994) en Brasil; también así lo reportó Enríquez (2004) en su estudio del lago Huetzalin Xochimilco, mientras que Sarma y Martínez (2000) registran *B. havanaensis* y *Polyarthra vulgaris* en el estanque del Parque Tezozomoc como las más abundantes.

De los cladóceros encontrados en el cuerpo de agua, los más grandes fueron *Daphnia parvula* y *Simocephalus vetulus*. La mayor densidad poblacional de *D. parvula* ocurrió en el mes de mayo coincidiendo con un florecimiento de *M. aeruginosa*, después de esto su densidad disminuyó hasta desaparecer en el mes de diciembre, esto coincide con lo señalado por Whiteside *et al.* (1978, citado por Dodson y Frey, 1991). El cladócero *S. vetulus* estuvo presente en densidades muy bajas (2 ind. l<sup>-1</sup>) y mostró un patrón similar a *D. parvula*. De las especies de cladóceros encontradas todas son de diferente género, lo que confirma lo mencionado por Pennak (1989) de que en la zona limnética es inusual encontrar dos especies del mismo género. Los copépodos estuvieron presentes casi todo el año pero en su forma de nauplio, los adultos fueron numerosos en mayo, y al igual que los cladóceros grandes estuvieron ausentes en los meses fríos. Cuando los cladóceros grandes escasearon *Bosmina longirostris* junto con *Diaphanosoma birgei* aumentaron en número *Bosmina* alcanzó densidades de hasta 70 ind. l<sup>-1</sup>, así como también los rotíferos de diferentes especies, ya que de acuerdo con Sarnelle (1997) el género *Daphnia* ejerce un efecto negativo sobre las poblaciones de cladóceros pequeños, rotíferos y ciliados, entonces una vez que no están presentes, ya no hay presión sobre estos últimos y pueden aumentar su número, esto confirma lo mencionado por Gilbert (1990), y Jürgens y Jeppesen (2000).

La diversidad más alta llegó a ser de 3.1 en la estación 3 el mes de marzo, valor obtenido también en el parque Huetzalin, Xochimilco en la estación 1 como es reportado por Enríquez (2004), y fue menor que el máximo reportado por Nandini *et al.*, (2005) que fue de 4 también en Xochimilco pero en sitios de muestreo diferentes. Y si se compara con los valores obtenidos por Ramírez *et al.*, (2002) 2.17 a 2.60 en Valle de Bravo observamos que la diversidad de Zumpango es más parecida a los sitios de muestreo de Enríquez (2004). Del grupo de rotíferos se encontraron 31 especies, pero Sarma y Elías-Gutiérrez (1998) mencionan que se pueden encontrar hasta 50 especies en un cuerpo de agua, sin embargo nuestro muestreo fue únicamente de la zona limnética, por lo que no descartamos la posibilidad de encontrar más especies asociadas a la zona litoral. La similitud entre sitios de muestreo fue alta en el mes de junio, lo cual se puede interpretar como que la distribución de los organismos fue homogénea.

De acuerdo con Pennak (1989) y Dodson y Frey (1991) el aumento de temperatura y turbulencia inducen cambios en la morfología de algunos cladóceros principalmente del género *Daphnia* propiciando una elongación de la cabeza llamada yelmo o cresta y/o espinas caudales más largas, la ciclomorfosis es menos pronunciada en lagos someros. Se ha mostrado que también los depredadores pueden inducir este cambio (Dodson, 1988; Schwartz, 1991).

La ciclomorfosis de *D. parvula* observada en los meses de agosto y septiembre pudo deberse a un aumento en la temperatura o la turbulencia, aunque últimamente también se atribuye a la presión de depredación por peces planctívoros. En este caso no se puede atribuir a un solo factor sino al conjunto de ellos ya que periódicamente se introducen larvas de peces a la laguna (Abundio Martínez, pescador comunicación personal) y durante estos meses la época de lluvias incrementó la turbulencia.

## CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS DE *Simocephalus vetulus* Y *Ceriodaphnia dubia*.

Las pruebas de crecimiento poblacional nos proporcionaron datos del máximo número de individuos de todas las edades que puede alcanzar la población bajo ciertas condiciones, por otra parte la tabla de vida nos proporcionó información acerca de cómo son afectados los organismos de una edad a lo largo de su vida en la supervivencia, fecundidad, longevidad y tiempo generacional por cambios en el ambiente.

De los experimentos de crecimiento poblacional de *S. vetulus* a 15 y 25° C de temperatura, la respuesta numérica siguió la tendencia esperada de que a mayor concentración de alimento la población alcanzó una mayor densidad como también fue observado por Nandini y Sarma (2003); y a alta temperatura su día de máxima densidad ocurrió aproximadamente 10 días antes que a 15° C, esta tendencia también fue reportada por Alva *et al* (2001) en experimentos con *Daphnia pulex*. Probablemente esto se debió a que como es sabido un incremento en la temperatura acelera los procesos metabólicos (Wolvekamp y Waterman, 1960). También en el caso de *C. dubia* fue así, ya que su crecimiento fue afectado tanto por la temperatura como por la concentración de alimento. A 15° C no creció bien en ninguna concentración de alimento, el día 8 cayó incluso por debajo de la densidad inicial y a 25° C su mayor densidad poblacional ocurrió en la concentración baja de alimento, y en la concentración más alta de alimento tuvo menor densidad poblacional como también fue observado para *Moina macrocopa* a esta misma temperatura por Nandini y Sarma (2000), esto probablemente se deba a como es señalado por Porter *et al* (1982, citado por Dodson y Frey 1998) cuando el alimento es muy abundante el aseo requerido para limpiar los filtros, incrementa la tasa de respiración y por lo tanto esa energía no se dedica al crecimiento.

Gulati y Demott (1997) señalan que los cladóceros responden de forma rápida a cambios en la densidad y calidad del alimento, así como a la temperatura. Las condiciones de alimento en campo fluctúan ampliamente, por lo que de acuerdo con Lampert y Schober (1980) existen periodos en que los animales están hambrientos y periodos en que tienen suficiente alimento, por lo que ellos mismos mencionan que es necesario conocer la cantidad mínima de alimento necesaria para que un individuo o población sobreviva (concentración umbral de alimento TFC por sus siglas en inglés); para la supervivencia de una población las pérdidas metabólicas deben ser más que igualadas por la producción, para compensar la mortalidad por depredación. De acuerdo con Gliwicz (1990b) la TFC decrece conforme la talla del organismo se incrementa. Nandini y Sarma (2003) han demostrado que esta relación se cumple solo hasta cierta talla. Por otra parte Sarma *et al.*, (2005) en una revisión que hace de este fenómeno para especies tropicales y templadas encontró que la TFC es más alta para especies tropicales. Benider *et al.*, (2002) señalan que en su estudio la concentración de alimento no tuvo ningún impacto sobre la curva de supervivencia de *Simocephalus*, pero sí la temperatura ya que cuando esta aumentó, se vio disminuida su longevidad igual que en el caso de *Moina macrocopa*. El promedio de vida y el tiempo generacional disminuyeron con el incremento en la temperatura, esto probablemente a que como señala de Eyto y Kenneth (2001) un aumento en la temperatura disminuye el tiempo de desarrollo del huevo. Bottrell (1975) menciona que *Simocephalus vetulus* a 15° presentó un tiempo generacional de 22 días y nosotros observamos que a esta misma temperatura fue de 26 días, mientras que a 25° fue de 22 días. Por otra parte a mayor nivel de alimento se observó un incremento en la tasa reproductiva bruta y neta; y la tasa de crecimiento poblacional (Nandini y Sarma, 2003).



Para *C. dubia* el promedio de vida, la tasa reproductiva bruta y neta, y la tasa intrínseca de crecimiento disminuyeron con la disminución de la temperatura. En nuestro experimento confirmamos que el tiempo generacional decreció con un incremento en la temperatura como reporta Gillooly (2000). La concentración de alimento a 25° estuvo relacionada positivamente con la tasa de crecimiento de la población ya que a mayor densidad de alga hubo un incremento de la tasa de crecimiento poblacional ( $r$ ), igual que lo reportado para esta misma especie por Rose *et al* (2000).

Las pruebas de tasa de filtración de estos organismos para probar su capacidad de aclarar en bajas y altas densidades de alimento estuvo dentro del rango de lo reportado para especies del mismo género por otros autores (Ryther 1954, Fulton y Paerl, 1988 citado por De Bernardi y Giussani 1990), desde 2.5 hasta 133 ml.ind.d<sup>-1</sup> aunque algunas tasas fueron diferentes esto se debió al tipo y densidad de alimento utilizado y a la temperatura de prueba ya que estos factores afectan al organismo. Los resultados del experimento de preferencia alimenticia, sugieren que el cladóceros *S. vetulus* es un buen candidato para ser utilizado en biomanipulación, ya que consumió un mayor porcentaje de colonias de *M. aeruginosa* que del alga *S. acutus* en comparación con *D. pulex* y *C. dubia*. Al parecer *S. vetulus* también es capaz de consumir la cianoprocarionta *Anabaena* sp. sin sufrir detrimento de su supervivencia como es el caso de *Moina micrura* y *Ceriodaphnia dubia* (Caviedes 2005 comunicación personal). Aunque creo que más pruebas de este tipo son requeridas para conocer como afecta el consumo de *M. aeruginosa* en forma unicelular. Pero estos datos al igual que los obtenidos por Nandini *et al.* (2000) y Alva *et al.* (2001) de organismos creciendo alimentados con *Microcystis aeruginosa* sirven como antecedente de que si es posible y recomendable el uso de cladóceros como parte de la biota para ser utilizada en la biomanipulación.

## CONCLUSIONES

Los valores encontrados del nutrimento fósforo de acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico su valor limite entre condiciones mesotróficas y eutróficas es de 50 a 60  $\mu\text{g l}^{-1}$  y nosotros encontramos un valor de 1400  $\mu\text{g l}^{-1}$  en la laguna de Zumpango por lo que se puede clasificar como un cuerpo de agua eutrófico, ya que junto con la clorofila *a* 20  $\mu\text{g l}^{-1}$ , así como la baja transparencia la ubican en ese estado trófico.

Los valores de oxígeno disuelto estuvieron dentro de los permitidos para la vida acuática. También de acuerdo con el coeficiente de saprobiedad de Sladeček la laguna de Zumpango se clasifica como eutrófica.

La diversidad del fitoplancton estuvo representada principalmente por dos grupos: El primero integrado principalmente por *Pediastrum* sp. y *Volvox* sp. (Chlorophyta) las cuales estuvieron presentes durante todo el período de estudio. El segundo grupo representado por *Aphanizomenon flos aquae* y *Microcystis aeruginosa* (Cyanoprocaryota) las cuales formaron la mayor parte de la biomasa fitoplanctónica.

La diversidad del zooplancton estuvo dominada principalmente por el grupo de los rotíferos de los cuales sólo pocas especies alcanzaron altas densidades, con lo que en este estudio se confirma que en cuerpos de agua eutrofizados tenemos una diversidad y abundancia mayor de organismos como los rotíferos y cladóceros pequeños.

Los experimentos de crecimiento poblacional y tabla de vida indican que un incremento en la temperatura y densidad de alimento tuvieron un impacto positivo sobre *Simocephalus vetulus* y *Ceriodaphnia dubia*, sin embargo a 15° C *S. vetulus* mantuvo un buen crecimiento no así *C. dubia* que no logró crecer en ninguna concentración de alimento.

Las tasas de filtración y preferencia alimenticia mostraron que *S. vetulus* tiene la capacidad de alimentarse con cianoprocariotas.

La observación del trabajo sería recomendar el tratamiento de las aguas de uso industrial, ganadero y doméstico que abastecen a la laguna. Ya que los datos obtenidos en este estudio muestran que existe un deterioro en la calidad del agua que está provocando la rápida eutrofización de la laguna. Dicha perturbación puede conducir a la pérdida de diversidad biológica y la limitación de usos que se le pueden dar al cuerpo de agua.

Finalmente con respecto a si es recomendable y posible la biomanipulación en la Laguna de Zumpango, yo creo que a pesar del alto costo que implica excluir a los peces, a largo plazo el uso de la biomanipulación si es favorable ya que de acuerdo al uso del agua que es para la producción de alimento, es conveniente por cuestión sanitaria. De la diversidad de especies encontradas el cladóceros *S. vetulus* si es una buena opción para incrementar su densidad poblacional dentro del cuerpo de agua ya que creció bien en el rango de temperatura que presentó la laguna, además de que si consumió colonias de *M. aeruginosa* aún en presencia del alga verde *S. acutus*.

El ultimo comentario lo quiero resaltar en cuanto a que el impedimento mecánico de la entrada excesiva de nutrientes también es necesario para que observemos cambios reales a largo plazo en el cuerpo de agua.

## LITERATURA CITADA

- Agrawal K. M., Bagchi D. y Bagchi N. S. 2001. Acute inhibition of protease and suppression of growth in zooplankton, *Moina macrocopa*, by *Microcystis* blooms collected in Central India. *Hydrobiologia* 464: 37-44.
- Alcocer D. J. 1988. Caracterización hidrobiológica de los lagos de Chapultepec. Tesis de Maestría, Posgrado Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. 88 pp.
- Alva M. A. F., Sarma S. S. S. y Nandini S. 2001. Comparative population dynamics of three species of cladocera in relation to different levels of *Chlorella vulgaris* and *Microcystis aeruginosa*. *Crustaceana* 74 (8): 749-764.
- Anagnostidis K. y Komárek J. 1989. Modern approach to the classification system of Cyanophytes 4 Nostocales. *Archiv fur Hydrobiologie Supplement*. 89,3 (Algological studies 56) 247-345.
- Angeler G. D., Álvarez C. M., Sánchez C. S. y Rodrigo M. A. 2002. Assessment of exotic fish impacts on water quality and zooplankton in a degraded semi – arid floodplain wetland. *Aquatic Science* 64: 76-86.
- Anónimo 2003. La recuperación de la Laguna de Zumpango. *Agua y Desarrollo Sustentable*. 1: 3-9.
- APHA AWWA, WPCF. 1994. Métodos normalizados para el estudio de aguas potables y residuales. 17ª edición, USA.
- Arora H. C. 1964. Rotifera as indicators of trophic nature of environments. *CPHERI Bulletin* 146-159.
- Benider A., Tifnouti A. y Pourriot R. 2002. Growth of *Moina macrocopa* (Straus 1820) (Crustacea, Cladocera): influence of trophic conditions, population density and temperature. *Hydrobiologia* 468: 1-11.
- Berzins B. y Pejler B. 1987. Rotifer occurrence in relation to pH. *Hydrobiologia* 147:107-116.
- Burgis M. J. y Morris P. 1987. The natural history of lakes. Cambridge University Press. 218 pp.

- Carmichael W. W. 1992. A status report on planktonic cyanobacteria (blue-green) and their toxins, Rep EPA/600/R-92/079/, U. S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- Carpenter R. S., Kitchell F. J. y Hodgson R. H. 1985. Cascading trophic interactions and lake productivity. *Bioscience* 35(10): 634-639.
- Ciros P. J. 1994. Biodiversidad de cladóceros (Crustácea: Branquiopoda) del estado de México. Tesis de Licenciatura, UNAM. 78 Pág.
- CNA 1990. Estudios experimentales de tratabilidad de las aguas del Canal de Santo Tomás-Zumpango. México, D. F. SGAA. 90-64.
- CNA 2003. Estudio limnológico en la laguna de Zumpango, estado de México. México, D. F. 100 Pág.
- Colinvaux P. A. 1997. Introducción a la ecología. Ed. Limusa. 679 pág.
- Dawidowicz P. 1990. Effectiveness of phytoplankton control by large-bodied and small-bodied zooplankton. An overview. *Hydrobiologia* 200/201. 43-47.
- De Bernardi R. y Giussani G. 1990. Are blue-green algae a suitable food for zooplankton? An overview. *Hydrobiologia* 200/201: 29-41.
- De Clerck S., De Meester L., Podoor N. y Conde P. J. M. 1997. The relevance of size efficiency to biomanipulation theory: a field test under hypertrophic conditions. *Hydrobiologia* 360: 265-275.
- de Eyto E. y Kenneth I. 2001. The response of three chydorid species to temperature, pH and food. *Hydrobiologia* 459:165-172.
- Deppe T., Ockenfeld K., Meybohm A., Opitz M. y Benndorf J. 1999. Reduction of *Microcystis* blooms in a hypertrophic reservoir by a combined ecotechnological strategy. *Hydrobiologia* 408/409: 31-38.
- Díaz-Pardo E., Vázquez G. y Guerra M. C. 2002. Lago de Atezca. En: Lagos y presas de México. G. de la Lanza E. y J. L. García C. (compiladores) Ed. AGT editor S.A. pp. 109-127.
- Dodson S. I. 1988. Cyclomorphosis in *Daphnia galeata mendotae* Birge y *D. retrocurva* Forbes as predator-induced response. *Freshwater Biology* 19: 109-114.

- Dodson S. I. y Frey G. D. 1991. Cladocera and other Branchiopoda. In: Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. Thorp H. J. y Covich A. (Eds.) Academic Press, Inc. 723-786.
- Downing J. A. y Rigler F. H. 1984. A manual for the methods of assessment of secondary productivity in freshwater. Segunda edición. IBP handbook 17. Blackwell Scientific Publication. London 501 pp.
- Elías-Gutiérrez y Suárez M. E. 2003. Estado actual del conocimiento de los cladóceros en México. Cap. 9: 171-184. En: Planctología mexicana. Barreiro-Güemes M. T., Meave del C. M. E., Signoïret-Poillon M. y Figueroa Torres M. G. (Eds). Sociedad Mexicana de Planctología A. C. México.
- Enríquez G. C. 2004. Estudio de campo y laboratorio de la dinámica poblacional de los rotíferos y cladóceros de la zona litoral del lago Huetzalin, Xochimilco. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM. 84 pp.
- Gannon E. J. y Stemberger S. R. 1978. Zooplankton (especially crustaceans and rotifers) as indicators of water quality. Transaction of American Fisheries Society 97 (1): 16-35.
- Gasiunaite R. Z. y Olenina I. 1998. Zooplankton-phytoplankton interactions: a possible explanation of the seasonal sucesion in the Kursiu Marios Lagoon. Hydrobiologia 363: 333-339.
- George D. G. y Reynolds C. S. 1997. Zooplankton-phytoplankton interactions the case for refining methods, measurements and models. Aquatic Ecology 31: 59-71.
- Gilbert J. J. 1990. Differential effects of *Anabaena affinis* on cladocerans and rotifers: mechanisms and implications. Ecology 71:1727-1740.
- Gillooly J. F. 2000. Effect of body size and temperature on generation time in zooplankton. Journal of Plankton Research. 22: 241-251.
- Gliwicz Z. M. 1990a. Why the cladocerans fail to control algal blooms? Hydrobiologia. 200/201: 83-97.
- Gliwicz Z. M. 1990b. Food thresholds and body size in cladocerans. Nature 343: 638- 640.
- Gulati R. D. y Demott R. W. 1977. The role of food quality for zooplankton. Freshwater Biology. 38: 445-771.

- Gulati R. D. 1990. Structural and grazing responses of zooplankton community to biomanipulation of some Dutch water bodies. *Hydrobiologia* 200/201: 99-118.
- Gulati R. D. y Van Donk E. 2002. Lakes in the Netherlands their origin, eutrophication, and restoration : state of the art review. *Hydrobiologia* 478: 73-106.
- Gulati R. D. y Demott R. W. 1997. The role of food quality for zooplankton: remarks on the state-of-the-art, perspectives and priorities. *Freshwater Biology* 38: 753-768.
- Hairston Jr. N. G., Holtmeier C. L., Lampert W., Weider L. J., Post D. M., Fischer J. M., Cáceres C. E., Fox J. A. y Gaedke U. 2001. Natural selection for grazer resistance to toxic cyanobacteria: evolution of phenotypic plasticity? *Evolution* 55(11): 2203-2214.
- Harper D. 1992. Eutrophication of freshwaters ; principles, problems and restoration. Chapman and Hall, London 322 pp.
- Hubble D. S. y Harper D. M. 2000. Top-down biological controls on tropical lake productivity. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 5: 187-194.
- Hutchinson G. E. 1967. A treatise of limnology. Vol. II Introduction to lake biology and limnoplankton. Wiley y Sons New York 1115 pág.
- INEGI. 2002. Anuario Estadístico. Gobierno del estado de México.
- Infante A. y Riehl W. 1984. The effect of cyanophyta upon zooplankton in an eutrophic tropical lake (Lake Valencia, Venezuela). *Hydrobiologia* 113: 293-298.
- Jürgens K. y Jeppesen E. 2000. The impact of metazooplankton on the structure of the microbial food web in a shallow, hypertrophic lake. *Journal of Plankton Research* 22 (6): 1047-1070.
- Kagami M., Yoshida T., Gurung B. T. y Urabe J. 2002. Direct and indirect effects of zooplankton on algal composition in in situ grazing experiments. *Oecologia* 133: 356-363.
- Koh L. H., Hallam G.T. y Hooi L. L. 1997. Combined effects environmental and chemical stressors on a model *Daphnia* population. *Ecological Modelling* 103: 19-32.
- Komárek J. 1998. Cyanoprokariota 1. Teil: Chroococcales. Ed. Gustav Fischer. 584 pag.

- Komárek J. y Komárkova L. J. 2002. Contribution to the knowledge of planktic cyanoprokaryotes from central Mexico. *Preslia Praha*, 74: 207-233.
- Komárek J. 2003. Coccoid and colonial cyanobacteria 3. In: *Freshwater Algae of North America Ecology and Classification*. J. D. Wehr and R. G. Sheath (Eds). Academic Press 918 pag.
- Koste, W., 1978. *Rotatoria* Borntraeger Berlin, 2 vols 673 pp, 273 pág.
- Korovchinsky, 1994. Introduction to the Cladocera (Ctenopoda, Anomopoda, Onychopoda and Haplopoda). Supplemented for America. Study Material, ENEP Iztacala, UNAM, México: 143 pp.
- Krebs J. C. 1989. *Ecological Methodology*. Ed. Benjamin Cummings. 620 pág.
- Lampert W. y Schoeber U. 1980. The importance of “threshold” food concentrations. In: W. C. Kerfoot (ed.) *Evolution and ecology of zooplankton communities*. The University press of New England. 264-267.
- Lampert W. y Sommer U. 1997. *Limnoecology: The ecology of lakes and streams*. Oxford University Press. 381 pp.
- Lewis Jr. M. W. 1996. Tropical lakes: how latitude makes a difference. *Perspectives in Tropical limnology*. Schiemer F. and Boland K. T. (eds.) pp. 43-64.
- Lopes M. R. 1994. Zooplankton distribution in the Guaraú river estuary (south-eastern Brazil) *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 39: 287-302.
- Lotocka M. 2001. Toxic effect oft cyanobacterial blooms on the grazing activity of *Daphnia Magna* Straus. *Oceanologia* 43 (4): 441-453.
- Madigan M. T., Martinko M. J. y Parker B. J. 1999. *Biología de los microorganismos*. España Prentice Hall.
- Moss B. 1998. *Ecology of freshwaters: Man and medium, Past to future*. Blacwell Science Ltd. 557 pag.
- Muro C. G. 1994. Contribución al conocimiento de la distribución y abundancia de los cladóceros en los tres lagos de Chapultepec. Tesis de licenciatura. UNAM. 80 pp.
- Nandini S. y Rao T. 1998. Somatic and population growth in selected cladoceran and rotifers species offered the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* as food. *Aquatic Ecology* 31: 283 –298.



- Nandini S. y Sarma S. S. S. 2000. Lifetable demography of four cladocerans species in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) density. *Hydrobiologia* 435:117-126.
- Nandini S., Sarma S. S. S. y Ramírez G. P. 2000. Life table demography and population growth of *Daphnia laevis* (Cladocera, anomopoda) under different densities of *Chlorella vulgaris* and *Microcystis aeruginosa*. *Crustaceana* 73(10): 1273-1286.
- Nandini S. y Sarma S. S. S. 2003. Population growth of cladocerans (Cladocera) in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) levels. *Hydrobiologia* 491: 211-219.
- Nandini S., Ramírez G. P. y Sarma S. S. S. 2005. Seasonal variations in the species diversity of planktonic rotifers in Lake Xochimilco, Mexico. *Journal of Freshwater Ecology* 20 (2): 287-294.
- Nogrady T., Wallace T. R. y Snell T. 1993. Rotifera. Biology, Ecology and Sistematics. Guides to the identification of the microinvertebrates of the continentals water of the world 4, SPB Academic Publishing Netherlands, 142 pag.
- NOM-001-ECOL-1996. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.
- Orbe M. A. y Acevedo G. J. 1998. El lago de Patzcuaro, Michoacán. En: Lagos y presas de México. Compiladores de la Lanza E. G. y García C. J. L. Ed. AGT s.a. pp 127-148.
- Peters H. R. 1984. Methods for the study of feeding, grazing and assimilation by zooplankton. In: A manual on methods for the assesment of secondary productivity in freshwater. Downing J. A. and Rigler F. H. (eds.) Blackwell Scientific Publications, Great Britain. 334-412 pag.
- Pennak W. R. 1989. Fresh –water invertebrates of the United States. Protozoa to Mollusca. John Wiley & Sons Inc. 628 pag.
- Pizzolon L. 1996. Importancia de las cianobacterias como factor de toxicidad en las aguas continentales. *Interciencia* 21(6): 239-245.
- Porter G. K. y Orcutt Jr. D. J. 1980. Nutritional Adequacy, Manageability, and Toxicity as factors that determine the food quality of green and blue green algae for *Daphnia*. In: W. C. Kerfoot (ed.) Evolution and ecology of zooplankton communities. The University press of New England. 268-281 pp.

- Ramírez G. P., Nandini S., Sarma S. S. S., Robles V. E., Cuesta I. y Hurtado M. D. 2002. Seasonal variations of zooplankton abundance in the freshwater reservoir Valle de Bravo (México) *Hydrobiologia* 467: 99-108.
- Rast W., Smith V. H. y Thornton J. A. 1992. Características de la eutrofización. En: El control de la eutrofización en lagos y pantanos. Ryding y Rast (Eds.) UNESCO. 65-94.
- Reynolds C. S., Oliver R. L. y Walsby A. E. 1987. Cyanobacterial dominance: the role of buoyancy regulation in the billowing environment. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 21: 379–390.
- Rose R. M., M. St. J. Warne y Lim P. R. 2000. Life history responses of the cladoceran *Ceriodaphnia cf. dubia* to variation in food concentration. *Hydrobiologia* 427: 59-64.
- Ryther H. J. 1954. Inhibitory effects of phytoplankton upon the feeding of *Daphnia magna* with reference to growth, reproduction and survival. *Ecology* 35 (4) 522-532.
- San Juan D. S. S. 2003. El regreso de las aves. [www.Aguaydesarrollosustentable.html](http://www.Aguaydesarrollosustentable.html)
- Sant'Anna C. L., Azevedo M. T. P., Senna P. A. C., Komarek J. y Komarkova J. 2004. Planktic Cyanobacteria from Sao Paulo State, Brazil: Chroococcales. *Revista Brasileira de Botânica* 27 (2): 213-227.
- Sarma S. S. S. y Elías-Gutiérrez M. 1997. Taxonomic studies of freshwater rotifers (Rotifera) from Mexico. *Polskie Archiwum Hydrobiologii*. 44: 341-357.
- Sarma S. S. S. y Elías-Gutiérrez M. 1998. Rotifer diversity in a central Mexican pond. *Hydrobiologia* 387/388: 47-54.
- Sarma S. S. S. 1999. Checklist of rotifers (Rotifera) from Mexico. *Environment & Ecology* 17 (4): 978-983.
- Sarma S. S. S. y Martínez F. J. 2000. Morfometría de *Filinia cornuta* (Weisse, 1847) (Rotifera: Filiniidae) en el estanque del parque Tezozomoc (México). *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 3(2):75-78.
- Sarma S. S. S., Nandini S. y Gulati R. D. 2005. Life history strategies of cladocerans: comparisons of tropical and temperate taxa. *Hydrobiologia* 542: 315-333.
- Sarnelle O. 1997. *Daphnia* effects on microzooplankton: comparisons of enclosure and whole lake responses. *Ecology* 78 (3): 913-928.

- Sawyer C. N. y Mc Carty P. L. 1967. Chemistry for sanitary engineers. Mc Graw-Hill Book Co. New York. 518 pp.
- Scheffer M. 1998. Ecology of shallow lakes. Chapman & Hall. 357 pp.
- Schwartz S. S. 1991. Predator-induced alterations in Daphnia morphology. Journal of Plankton Research. 13(6): 1151-1161.
- Shapiro J. y Wright D. I. 1984. Lake restoration by biomanipulation: Round lake, Minnessota the first two years. Freshwater Biology. 14:371-383.
- Shapiro J. 1990. Biomanipulation the next phase – making it stable. Hydrobiologia 200/201: 13-27.
- Sigma Plot 2002. Exact graphs for exact science. SPSS Version 8.
- Sladčėk V. 1983. Rotifers as indicators of water quality. Hydrobiologia 100: 169-201.
- Smirnov N.N., 1974. Fauna of the U.S.S.R. Crustacea. Keter Publishing House. Jerusalem. 390 pp.
- Smith D. G. 2001. Pennak's Freshwater invertebrates of the United States. Wiley and Sons Inc. 638 pp.
- Snell T. W., Childress M. J., Boyer E. M. y Hoff F. H. 1987. Assesing the status of rotifer mass cultures. Journal of the World Aquaculture Society 18:270-277.
- Statistica 1998. Product moment the Pearson Version 5.1
- Threlkeld S. 1980. Habitat selection and population growth of two cladocerans in seasonal environments. In: W. C. Kerfoot (ed.) Evolution and ecology of zooplankton communities. The University press of New England. 346-357.
- Wallace L. R. y Snell W. T. 1991. Rotifera In: Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. Thorp H. J. y Covich A. (Eds.) Academic Press, Inc. Pp 187-248.
- Weider L. J. y Lampert W. 1985. Differential response of Daphnia genotypes to oxygen stress: respiration rates, hemoglobin content and low oxygen tolerance. Oecologia. 65: 487-491.
- Weisner S. E. B., Strand A. J. y Sandsten H. 1997. Mechanisms regulating abundance of submerged vegetation in shallow eutrophic lakes. Oecologia 109: 592-599.

- Wetzel G. R. 1981. Limnología. Ed. Omega S.A., Barcelona. 679 pág.
- Wolvekamp H. P. y Waterman T. H. 1960. Respiration. In: The physiology of crustacea  
Vol I Metabolism and growth. T. H. Waterman (ed.) pp. 35-100.
- Zafar A. R. 1986. Seasonality of phytoplankton in some South Indian Lakes. Hydrobiologia  
138: 177-187.