



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
IZTACALA

400282



61060

ESTUDIO DE LA VARIACION ESPACIAL Y TEMPORAL
DE LOS CILIADOS PLANCTONICOS DE LOS LAGOS
DE CHAPULTEPEC, D.F.

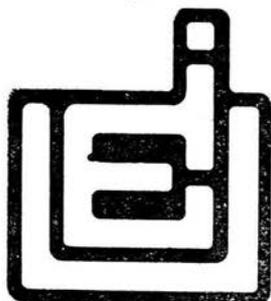
TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

B I O L O G O

P R E S E N T A :

MARIA EUGENIA GONZALEZ LABASTIDA



LOS REYES IZTACALA, EDO. DE MEXICO

1995



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

A mis padres por todo el apoyo y amor brindado durante toda mi vida, indispensables para el logro de mis metas.

A mis hermanos Héctor, Gerardo, Lety y José Luis con todo mi cariño.

AGRADECIMIENTOS

Al **M. en C. Alfonso Lugo Vázquez** por la dirección y las acertadas sugerencias durante la realización del presente trabajo.

Al **Biól. Mario Chávez A., M. en C. Javier Alcocer D., M. en C. Manuel Elías G.** y al **Biól. Felipe de Jesús Cruz L.** por las valiosas sugerencias y observaciones que realizaron durante la revisión de éste trabajo.

A la **Dra. María del Rosario Sánchez** por permitirme alcanzar un logro más dentro de mi vida.

A todos los integrantes del Laboratorio de Ecología Acuática del Proyecto de Conservación y Mejoramiento del Ambiente por su apoyo incondicional, pero sobre todo por su amistad.

A todos mis maestros, amigos y compañeros de la E.N.E.P. Iztacala por permitirme compartir con ellos momentos muy gratos.

A todos aquéllos que de una u otra forma han contribuido a mi formación.

INDICE

	Página
RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
ANTECEDENTES	5
OBJETIVOS	6
DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	7
MATERIAL Y METODOS	9
Trabajo de campo	9
Trabajo de laboratorio	9
Análisis de la información	9
RESULTADOS Y DISCUSION	12
Ubicación taxonómica de las especies	12
Dominancia de las especies	17
Datos ecológicos de las especies dominantes	20
Variación espacial	22
Variación estacional	22
Abundancia de ciliados y estado trófico de los Lagos de Chapultepec	25
Variación de la cantidad y composición de la biomasa	29

	Página
PARAMETROS FISICOS Y QUIMICOS	34
Transparencia del disco de Secchi	34
Temperatura del agua	36
Oxígeno disuelto	38
pH	40
Conductividad específica (K_{25})	42
Correlaciones entre variables ambientales y el número total de ciliados	44
IMPORTANCIA BIOLOGICA DE LOS CILIADOS EN LOS LAGOS DE CHAPULTEPEC	44
CONCLUSIONES	47
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	48
ANEXO 1. Ubicación de las especies de ciliados planctónicos de Chapultepec de acuerdo con los grupos taxonómicos de Corliss (1979) y biovolumen promedio calculado para cada especie.	54

R E S U M E N

En el presente trabajo se determinaron la composición taxonómica y los cambios espaciales y temporales de la comunidad de ciliados planctónicos en los tres Lagos del Bosque de Chapultepec, relacionándolos con algunos parámetros ambientales (temperatura, pH, conductividad, transparencia y oxígeno disuelto) que tienen influencia sobre los protozoos planctónicos.

Se llevaron al cabo 12 muestreos mensuales entre octubre de 1984 y octubre de 1985, en 12 estaciones, de las cuales 5 correspondieron al Lago Viejo, 4 al Lago Mayor y 3 al Lago Menor. Los ciliados presentes fueron determinados taxonómicamente y cuantificados. La determinación de la biomasa se obtuvo mediante el cálculo del biovolumen.

Se encontraron un total de 30 especies de protozoos ciliados, 25 estuvieron presentes en los Lagos Viejo y Menor y 22 al Lago Mayor, compartiendo los tres lagos 20 especies en total, lo cual indicó una elevada similitud en la composición taxonómica. Las especies presentes pertenecieron a 11 grupos taxonómicos de ciliados; los grupos con mayor número de especies fueron los Peritricos (6 especies), Hymenostomatidos (5 especies) e Hipotricos (4 especies). Se encontró que *Cyclidium glaucoma* fue el ciliado más abundante y frecuente, lo que permite suponer que sus rangos de tolerancia para los diferentes factores físicos y químicos son más amplios que en el resto de las especies.

La distribución espacial de los ciliados en los lagos fue, durante la mayoría de los muestreos, homogénea. En lo referente a la variación temporal se observaron dos fases a lo largo del año: la primera correspondiente a la época fría y seca que abarcó los meses de octubre a marzo, y la segunda con temporada cálida y lluviosa que abarcó los meses de abril a septiembre. Durante la primera fase los números de ciliados totales fueron bajos (< 50 org ml⁻¹), mientras que durante la segunda fase se incrementaron notablemente (> 100 org ml⁻¹). Los tres lagos presentaron su valor máximo durante el mes de septiembre, que corresponde a la época fría y lluviosa. Esto corresponde con lo observado en otros lagos de latitudes subtropicales. El Lago Mayor presentó las diferencias más notables en este comportamiento.

Se encontró que los Lagos de Chapultepec con base al número total de ciliados presentan condiciones tróficas de eutrofia. Los números máximos fueron muy superiores a los observados en lagos eutróficos templados pero inferiores a los de lagos eutróficos e hipertróficos de climas más cálidos. La biomasa varió entre 3.23 y 608.5 mg peso seco m⁻³. En dos de los lagos el máximo de biomasa coincidió con el máximo de abundancia.

La transparencia de los lagos fue baja (0.09-0.52 m), con temperaturas entre 14 y 21 °C, pH desde ligeramente hasta fuertemente básico (6.9-12.7), oxígeno disuelto variable (entre 62 y $> 200\%$ de saturación) y conductividad que indica agua dulce (132-332 μ S cm⁻¹).

Los coeficientes de correlación entre las variables ambientales y el número total de ciliados mostraron que en el Lago Viejo existió una correlación significativa entre la temperatura y el número total de ciliados; en el Lago Mayor no se presentó ninguna; en tanto que en el Lago Menor las correlaciones significativas fueron entre la temperatura y el pH y el número total de ciliados.

El presente trabajo comprobó que los protozoos ciliados constituyen un eslabón para la transferencia de energía desde el nivel de los productores y de los detritos hasta el nivel de los consumidores mayores (metazos). Por lo anterior, se considera que tienen un papel ecológico de importancia dentro del funcionamiento de los Lagos de Chapultepec.

INTRODUCCION

* La comunidad planctónica es una de la más importantes dentro del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos debido a que el fitoplancton constituye la unidad básica de producción de materia orgánica (González de Infante 1988). Hasta hace algunos años se pensaba que los principales productores primarios eran las algas fitoplanctónicas de mayor tamaño, a las cuales consumían directamente los metazoos del zooplancton (Fenchel 1987).

El entendimiento de la estructura y función de los ecosistemas pelágicos cambió dramáticamente durante las dos décadas pasadas. El clásico modelo lineal de las cadenas de alimentos, que consistía de fitoplancton, zooplancton y peces, fue reemplazado por una nueva propuesta que incluye papeles de importancia para microorganismos autótrofos y heterótrofos dentro del ciclo de la materia y la energía (Gifford 1991).

En la actualidad, se sabe que los principales productores del plancton son algas eucariontes muy pequeñas y algunas cianobacterias. Ambos grupos no tienen el tamaño suficiente para poder ser consumidos directamente por los organismos del zooplancton, como por ejemplo los copépodos (Fenchel 1987), pero sí por los protozoos alguívoros. Se ha observado también que una parte importante de la materia orgánica sintetizada durante la fotosíntesis se excreta hacia el ambiente en forma de sustancias orgánicas disueltas (Finlay *et al.* 1988). Estas sustancias son aprovechadas por las bacterias, las cuales sirven a su vez de alimento para protozoos de pequeño tamaño y éstos son consumidos por los organismos planctónicos mayores, como los crustáceos. A esta parte de la cadena trófica planctónica se le ha denominado "circuito microbiano" (microbial loop) (Azam *et al.* 1983).

El término "circuito microbiano" describe la función ecológica de algunos microorganismos en las tramas alimenticias pelágicas (Gifford 1991). Actualmente es ampliamente aceptada la existencia del "circuito microbiano", altamente dinámico, y se considera que los grupos que lo forman son las bacterias pelágicas, pico y nanoplancton autótrofo, nanoflagelados heterótrofos y microciliados (Weisse 1990).

La nueva concepción de las cadenas tróficas planctónicas supone fundamentalmente la existencia de un mayor número de niveles tróficos de los que se pensaba existían, representados por organismos microscópicos fagótrofos. Lo anterior implica que una fracción considerable del carbono orgánico es mineralizado antes de alcanzar los niveles tróficos superiores, como los copépodos o los peces. La existencia del "circuito microbiano" parece indicar que la productividad primaria del plancton ha sido subestimada (Fenchel 1987).

En el caso de las aguas epicontinentales, queda claro que el "circuito microbiano" consiste en una serie de niveles tróficos adicionales dentro de una compleja red alimentaria en la que algunos metazoos y los protozoos mixótrofos y heterótrofos compiten por la misma fuente de alimentos: las bacterias (Laybourn-Parry 1994).

La presencia de los protozoos ciliados como componentes del plancton en numerosos lagos se conoce desde hace largo tiempo (Wetzel 1975). Sin embargo, durante muchos años los ciliados fueron ignorados en las investigaciones de zooplancton de agua dulce. Esta omisión se explica en parte por el hecho de que los ciliados pequeños no aparecen o no son capturados cuando el zooplancton es muestreado por redes de plancton convencionales, y si son colectados, resultan destruidos o deformados por la mayor parte de los fijadores (Beaver y Crisman 1982). Además, los cladóceros, copépodos y rotíferos generalmente eran considerados más importantes que los protozoos ciliados en términos de densidad, biomasa, producción, consumo de bacterias y regeneración de nutrimentos (Pace y Orcutt 1981).

A partir de los estudios pioneros realizados por Pace y Orcutt (1981) y Beaver y Crisman (1982) el concepto de la importancia de los ciliados dentro de las comunidades planctónicas de agua dulce empezó a cambiar. En la actualidad se considera que los ciliados son un componente esencial de las cadenas de alimentos planctónicas. Diversos estudios revelaron que un buen número de metazoos invertebrados ingieren protozoos planctónicos durante todo su ciclo de vida, mientras que ciertos metazoos vertebrados, como larvas de peces, basan su dieta durante las primeras etapas de vida fundamentalmente en los protozoos (Lair *et al.* 1994). Además, los ciliados pueden ser importantes para la transferencia de energía de bacterias, ultraplankton y nanoplankton a niveles tróficos superiores (Gifford 1991).

El microzooplancton en los ecosistemas pelágicos, incluye una diversidad taxonómica de organismos (que incluye protozoos, larvas nauplio de metazoos y rotíferos), pero además es muy diverso tróficamente, representando múltiples funciones como: consumidores de fitoplancton y bacterias, recicladores de nutrimentos, productores primarios y presa de consumidores superiores. Esta última función se define como "reempaquetamiento trófico" (trophic repackaging): el microzooplancton (en general) y los protozoos planctónicos (en particular) están implicados en las cadenas tróficas de metazoos consumidores. A causa de su pequeño tamaño, las presas de los protozoos (bacterias, pico y nanoplankton) son inútiles para muchos metazoos; los protozoos planctónicos reempacan a su presa en partículas accesibles mayores de 20 μm para niveles tróficos superiores (Gifford 1991).

Además se cree que el "circuito microbiano" no opera como una entidad separada, sino que funciona junto con el fitoplancton como un mejor camino para el reciclamiento y reempaquetamiento de la energía en los ecosistemas pelágicos. Tanto el fitoplancton como los organismos del "circuito microbiano" alimentan al mismo tiempo la clásica cadena alimentaria de los metazoos (Gifford 1991).

Varios investigadores han cuestionado la sugerencia de Sorokin (1972) de que la presencia de poblaciones de ciliados pudieran alargar las cadenas alimenticias acuáticas y, por lo tanto, disminuirían la eficiencia de la producción biológica. Los ciliados bacterívoros utilizan los recursos alimenticios que no son consumidos por el zooplancton grande (Porter *et al.* 1979; Crisman *et al.* 1981), y tienen una eficiencia metabólica más alta que éste con base en el tamaño de su cuerpo (Finlay 1978). Así, los protozoos ciliados incrementan la transferencia de energía en ecosistemas acuáticos por el consumo de partículas que no son consumidas eficientemente por el zooplancton de mayor tamaño y vuelven a servir como presa fácilmente asimilable por el nivel

trófico superior (Beaver y Crisman 1982).

En adición a su función en la transferencia de energía a niveles tróficos superiores, los protozoos ciliados incrementan el aprovechamiento de nutrimentos para el crecimiento del fitoplancton; los ciliados consumidores de bacterias estimulan el crecimiento bacteriano y, de este modo, incrementan el rango de descomposición y la liberación de nutrimentos (Finlay 1978). Debido en parte al corto tiempo de sus generaciones, pueden excretar una o dos veces más fósforo por peso del corporal que el zooplancton grande (Johannes 1965).

Además, diversos estudios han demostrado que los ciliados constituyen una proporción relativa pero significativa de la biomasa de un lago, pudiendo contribuir hasta con el 10 % de la biomasa no algal (Gates 1984, Gates y Lewg 1984). La biomasa, sin embargo, tiende a subestimar la importancia de los protozoos, pues una pequeña biomasa puede ser igual a una abundancia numérica alta. Pese a su tamaño pequeño, su actividad metabólica alta y su proporción elevada de consumo de bacterias y de reproducción les conceden una gran importancia en el flujo de energía dentro de los ciclos biogeoquímicos del fósforo, nitrógeno y carbono en las zonas pelágicas (Laybourn-Perry *et al.* 1990).

Los cambios espaciales y temporales en la distribución de los ciliados planctónicos han interesado a los limnólogos por varios años, pero ha sido especialmente ahora cuando la importancia de los ciliados pelágicos ha sido también comprobada en aguas dulces (Macek 1991). Sin embargo, la información sobre la distribución vertical y horizontal de estos organismos en lagos es todavía escasa (Laybourn-Perry *et al.* 1990, Müller *et al.* 1991).

En el presente trabajo se determinaron los cambios espaciales y temporales de los ciliados planctónicos en los tres lagos del Bosque de Chapultepec y se relacionaron con algunas de las variables ambientales consideradas como más importantes en la literatura.

Es importante mencionar que en México, no existen trabajos de ecología específicos que involucren a estos organismos y de los cuales se pueda obtener información que permita conocer más profundamente el importante papel que desempeñan como parte de las cadenas alimenticias acuáticas y más específicamente sobre su función como transmisores de energía en los niveles tróficos.

Esta investigación es pionera de este campo en nuestro país, y permitirá ampliar el conocimiento sobre la ecología de estos organismos, una de las áreas de estudio olvidadas por los especialistas.

ANTECEDENTES

Son pocos los estudios que se han realizado a nivel mundial sobre los ciliados planctónicos en cuerpos lénticos de agua dulce. Algunos de los trabajos pioneros fueron el de Wang (1928 citado en Bamforth 1958), el de Bamforth (1958) y el de Bragg (1960). A principios de los 80's Pace y Orcutt (1981) y Beaver y Crisman (1982) realizaron investigaciones notablemente más detalladas. Los hallazgos de estos trabajos despertaron el interés en el tema y posteriormente se realizaron estudios como el de Belova (1989), el de Laybourn-Parry *et al.* (1990), el de Taylor y Johannsson (1991), Macek (1991), Gifford (1991) y Müller *et al.* (1991). En la actualidad son objeto de intenso estudio especialmente en Europa, pues forman parte de los temas de interés del Grupo de Ecología del Plancton, conjunto de científicos dedicados a la investigación en este tema (Arndt 1994).

En nuestro país los estudios sobre los ciliados de las aguas epicontinentales han tenido un enfoque principalmente taxonómico (López-Ochoterena 1970). Los estudios de tipo ecológico prácticamente no existen. Entre las investigaciones que abarcaron algunos aspectos ecológicos se encuentran las de López-Ochoterena que a partir de 1962 comenzó una serie de trabajos dedicados a estos organismos (López-Ochoterena y Barajas 1963). En 1965 publicó su investigación sobre los ciliados mesosapróbicos de Chapultepec (López-Ochoterena 1965) en donde incluyó aspectos de sistemática, morfología y algunos ecológicos de las especies encontradas en el Lago Viejo y en otras fuentes y pequeños cuerpos de agua del Bosque de Chapultepec.

Existen algunos otros estudios de los ciliados planctónicos presentes en otros cuerpos de agua epicontinentales en México como Xochimilco, la Laguna de San Pedro Xochiltepec (Puebla) y los Lagos de Pátzcuaro y Zirahuén (Michoacán), pero como ya se mencionó, son de carácter principalmente taxonómico (López-Ochoterena y Roure-Cane 1970). Un trabajo moderno con un fuerte enfoque ecológico es el de Macek *et al.* (1994) realizado en el lago cráter de Atexcac, en el estado de Puebla.

Adicionalmente se conocen diversas monografías taxonómicas que presentan datos sobre ciliados encontrados en diversas regiones de la República Mexicana (López-Ochoterena y Barajas 1964, López-Ochoterena 1970, López-Ochoterena y Roure-Cane 1970, López-Ochoterena y Madrazo-Garibay 1971, Madrazo-Garibay y López-Ochoterena 1982).

Además de la información ya señalada sobre los ciliados de Chapultepec, otros aspectos biológicos del Lago Viejo han sido estudiados. En la recopilación sobre este tema presentada por Alcocer (1988) cita los siguientes trabajos: fitoplancton (Sámamo 1934, 1935 y 1940), macrofitas (Ancona 1930, Bravo 1930, Rodríguez 1944), rotíferos (Osorio-Tafall 1942), anélidos (Caballero 1935, Oka 1932), crustáceos (Rioja 1940a, 1940b, Saussure 1857a, 1857b y 1858, Villalobos 1983), dípteros (Ancona 193, Martínez 1952), hemípteros (Hungerford 1948, Jaczewski 1931a) y anfibios (Enciclopedia de México 1985). Entre los trabajos recientes pueden citarse los de Alcocer *et al.* (1993) y Flores (1991) sobre los peces, el de Alcocer y Escobar (1992) sobre la biota del Lago Viejo, el de Vilaclara y Sládeček (1989) acerca de los rotíferos, el de Guzmán sobre la macrofauna béntica y el de Muro (1994) sobre los cladóceros de los lagos.

OBJETIVOS

- Contribuir al conocimiento taxonómico de los ciliados planctónicos de los Lagos de Chapultepec.

- Estudiar la variación temporal estacional de la comunidad de los ciliados planctónicos de los Lagos de Chapultepec.

- Comparar las variaciones en el comportamiento de la comunidad de los ciliados planctónicos de los tres Lagos de Chapultepec (variación espacial).

- Establecer la influencia de algunos parámetros ambientales (temperatura, oxígeno disuelto, pH, transparencia y conductividad específica) sobre la comunidad de los ciliados planctónicos en los mismos.

DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

El Bosque de Chapultepec se ubica al oeste-suroeste de la Cd. de México, delimitándose entre las coordenadas 19° 24' y 19° 26' Latitud Norte y 99° 11' y 99° 12' Longitud Oeste, dentro de la Delegación Miguel Hidalgo del Distrito Federal (S.P.P. 1983).

El clima de la zona es del tipo Cb(w1)(w)(i') correspondiente al templado subhúmedo con verano fresco largo y lluvias en verano y poca oscilación térmica, con vientos dominantes del noreste durante la mayor parte del año. Se encuentra a una altura media de 2240 m.s.n.m., con una temperatura promedio anual de 14.8 °C y las temperaturas mínima y máxima oscilan entre los 11.4 °C y los 17.3 °C respectivamente, presentándose una precipitación pluvial total anual de 755.2 mm (García 1988). En la Figura 1 se presentan los datos de temperatura y precipitación medias mensuales obtenidos durante 17 años en la estación meteorológica del Jardín Botánico de Chapultepec. Estos datos fueron tomados de García (1988).

El Bosque de Chapultepec incluye tres lagos: el Lago Viejo, el más conocido y que se ubica en la primera sección, se encuentra parcialmente dividido en dos regiones por la Avenida Heroico Colegio Militar, y el agua que lo llena proviene de aportes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Chapultepec, del Río Hondo y de pequeñas descargas de aguas crudas (aguas negras sin tratar) provenientes de los locales comerciales de la periferia. Los otros dos son el Lago Mayor y el Lago Menor, ambos ubicados en la segunda sección del Bosque, que

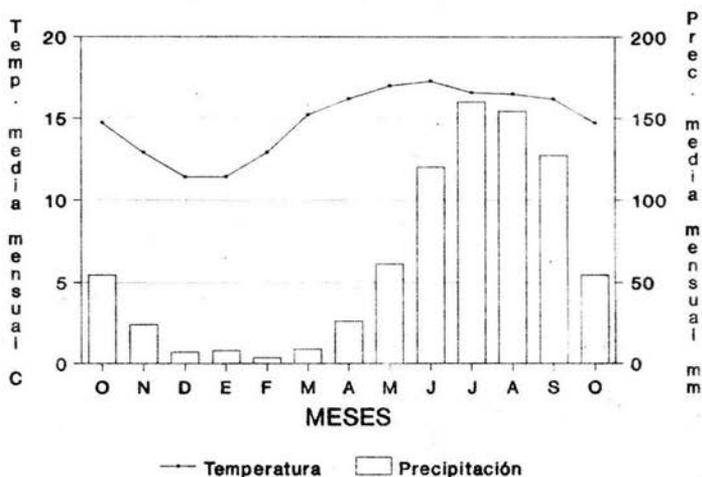


Figura 1. Datos climáticos de la zona del Bosque de Chapultepec (García 1988)

reciben aportes tanto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Chapultepec, como de pequeñas descargas de aguas crudas de los comercios y restaurantes de la periferia (Alcocer 1988).

Los tres lagos son pequeños y someros. Sus principales datos morfométricos se presentan en el Cuadro I.

Cuadro I. Algunos datos morfométricos de los Lagos de Chapultepec (Tomados de Alcocer 1988). (A = Area total, a = Area efectiva, V = Volumen, Z = Profundidad media, $Z_{\text{máx}}$ = Profundidad máxima y L = Línea de costa)

Parámetro	Lago Viejo	Lago Mayor	Lago Menor
A (m ²)	60240	58200	27600
a* (m ²)	48000	52400	23400
V (m ³)	49525	59709	26573
Z (m)	1.0	1.1	1.1
$Z_{\text{máx}}$ (m)	1.8	1.3	1.2
L (m)	1883	1858	1082

*Area efectiva = Area total - Area de las islas

MATERIAL Y METODOS

Se llevaron al cabo 12 muestreos mensuales en los tres lagos de Chapultepec entre octubre de 1984 y octubre de 1985. Por razones técnicas no fue posible realizar el muestreo correspondiente a enero de 1985. Las muestras se recolectaron en 12 estaciones distribuidas de la siguiente forma: 5 en el Lago Viejo, 4 en el Lago Mayor y 3 en el Lago Menor. La ubicación de las estaciones de muestreo se presenta en la Figura 2, tomada de Alcocer (1988), y se establecieron con base en un estudio preliminar efectuado en los lagos.

Trabajo de campo:

Las muestras se tomaron aproximadamente a 25 cm de profundidad con ayuda de una botella Van Dorn de 2.5 l de capacidad. Se obtuvieron muestras *in vivo* en frascos de boca ancha de 125 ml de capacidad, previamente esterilizados.

Las variables físicas y químicas que se midieron fueron: pH (potenciómetro Beckman mod. Chem-mate), oxígeno disuelto (oxímetro YSI mod. 51 B), temperatura del agua (termistor del oxímetro YSI), conductividad específica K25 (conductímetro Hach mod. DR/4) y Transparencia (disco de Secchi). Todas las variables, con excepción de la conductividad, fueron medidas en el campo. éstas son las que más influencia tienen sobre las poblaciones de ciliados.

Trabajo de laboratorio:

Los frascos con las muestras biológicas fueron trasladados rápidamente al laboratorio en condiciones de oscuridad y una vez ahí se destaparon y observaron mediante microscopía óptica, utilizando las técnicas de campo claro, campo oscuro, contraste de fases y contraste diferencial de interferencia (Foissner 1991). Los ciliados se determinaron morfológicamente mediante las claves de Curds (1969, 1982), Curds *et al.* (1983), Kahl (1930-1935), Kudo (1982), Lee *et al.* (1985), López-Ochoterena (1965) y Noland (1959). Cuando fue posible y necesario se aplicaron las técnicas de impregnación argéntica de Klein (Curds 1983) y de Fernández-Galiano (1976).

Para la cuenta de organismos, una vez observada la muestra *in vivo*, fue homogeneizada, se tomaron 10 ml de la misma y se fijaron con unas gotas (2 a 5) de glutaraldehído al 2.5% en solución 0.1 M de buffer de cacolitado de sodio. Se tomó un mililitro de la muestra fijada y se llenó una cámara de Sedgwick-Rafter, contándose los ciliados a un aumento de 160X, según el método propuesto por Finlay y Guhl (1992).

Análisis de la información

Para el análisis de los datos se hicieron gráficas de abundancia de los ciliados por mes de muestreo y por lago. En las gráficas se muestra el valor promedio mensual obtenido de los valores de las diferentes estaciones de cada lago, así como la desviación estándar. Para la determinación de las especies dominantes en cada lago se emplearon diagramas bivariados (García de León 1988) de frecuencia vs. abundancia. Con el fin de establecer la similitud en la

composición taxonómica de los lagos se calculó el índice de similitud de Jaccard (Crisci y López 1983).

Para establecer si existían diferencias significativas entre los números de ciliados presentes en las diversas estaciones de muestreo se realizó un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis empleando las estaciones de cada uno de los lagos (Steel y Torrie 1988).

Se obtuvieron los coeficientes de correlación por rangos de Spearman de los diferentes parámetros ambientales con el número de ciliados totales. Las variables físicas y químicas fueron transformadas a logaritmos base 10, con excepción del pH a cuyos datos se les restaron 5 unidades en el Lago Viejo y 7 en los Lagos Mayor y Menor con el objeto de hacer más homogénea su variación. Para los datos de números de ciliados se usó la transformación $\log(n + 1)$ (Green 1975, Steel y Torrie 1988).

Las biomásas se obtuvieron mediante el cálculo del biovolumen de cada especie (medidas promedio *in vivo* de al menos 20 individuos, siempre que fue posible) y aproximando la forma de cada especie a alguna figura geométrica (Beaver y Crisman 1982). Posteriormente se obtuvieron los biovolúmenes por muestra mediante la multiplicación del biovolumen de la especie por el número de individuos presentes por mililitro. El biovolumen fue transformado en valores de peso seco mediante el factor $0.279 \text{ pg } \mu\text{m}^{-3}$ (Beaver *et al.* 1988). Para la comparación con otros resultados, el biovolumen se transformó en valores de peso húmedo asumiendo una densidad de 1.0 g cm^{-3} (Schönberger 1994).

En el caso de las variables físicas y químicas se graficaron los resultados por lago utilizando la misma metodología usada en las gráficas de números de ciliados. Los datos de concentraciones de oxígeno fueron transformados a valores de porcentaje de saturación con base en la altitud de los lagos (2240 m.s.n.m.) y la temperatura del agua de cada muestra. Para la transformación se usó el nomograma de Mortimer que aparece en Wetzel y Likens (1979).

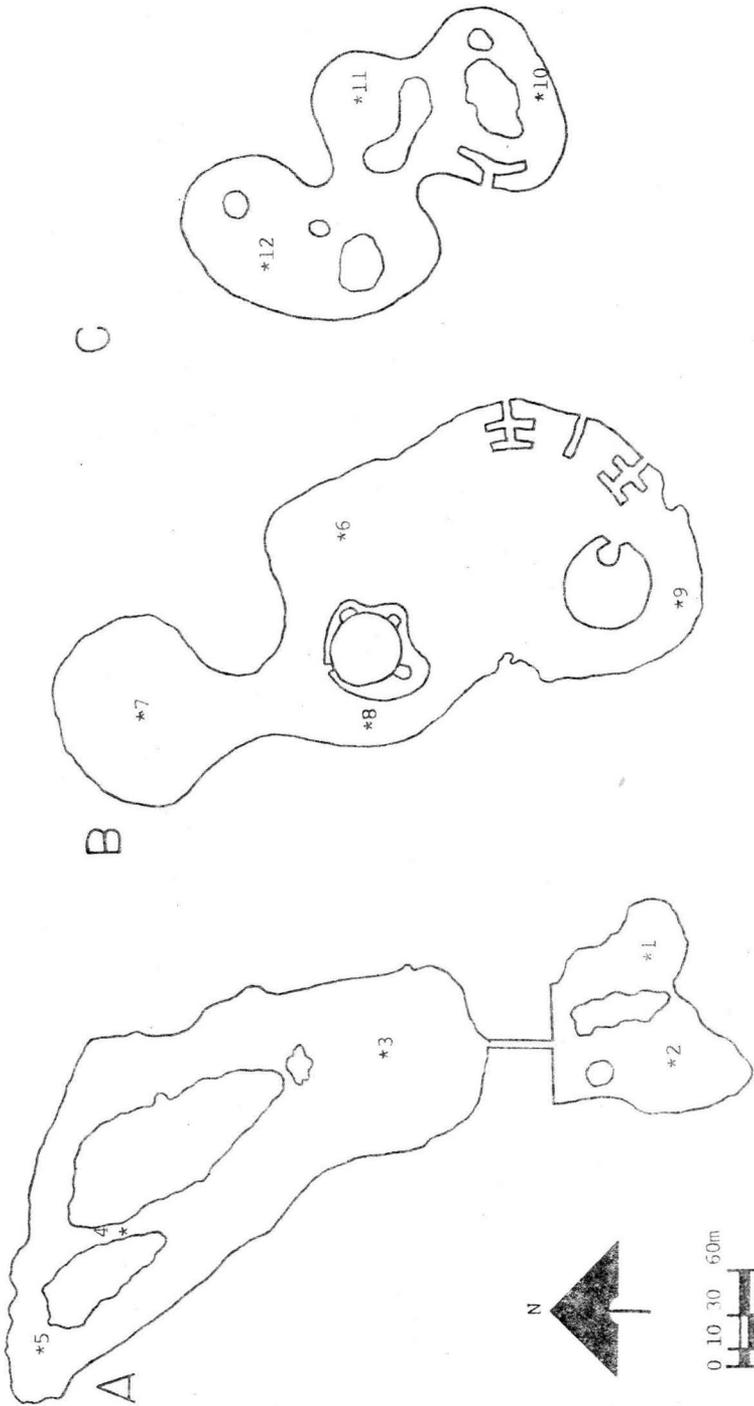


Figura 2. Localización de las estaciones de muestreo en A) Lago Viejo B) Lago Mayor; C) Lago Menor (modificado de Alcocer 1988)

RESULTADOS Y DISCUSION

En el plancton de los tres Lagos de Chapultepec se encontraron 30 especies de protozoos ciliados. A continuación se presenta la lista de las especies de acuerdo con Lee *et al.* 1985 y considerando los comentarios de Foissner 1988, que es una de las clasificaciones más recientes.

Ubicación Taxonómica de las especies

Phylum - Ciliophora Doflein, 1901

Subphylum - Postciliodesmatophora Gerassimova & Seravin, 1976

Clase - Spirotrichea Bütschli, 1889

Subclase - Choreotrichia nueva subclase

Orden - Choreotrichida nuevo orden

Suborden - Strobilidiina nuevo suborden

Familia - Strobilidiidae Kahl en Doflein y Reichenow, 1929

Género - *Strobilidium* Schewiakoff, 1983

Especie - *Strobilidium* sp. Schewiakoff, 1983

Orden - Oligotrichida Bütschli, 1887

Familia - Halteriidae Claparède & Lachmann, 1858

Género - *Halteria* Dujardin, 1841

Especie - *Halteria grandinella* O. F. Müller, 1773

Subclase - Stichotrichia nueva subclase

Orden - Stichotrichida Fauré-Fremiet, 1961

Suborden - Sporadotrichina Fauré-Fremiet, 1961

Familia - Oxytrichidae Ehrenberg, 1838

Género - *Stylonychia* Ehrenberg, 1830

Especie - *Stylonychia* del complejo *mytilus*

Subphylum - Rhabdophora Small, 1976

Clase - Protostomatea Schewiakoff, 1896

Orden - Protostatida Schewiakoff, 1896

Familia - Holophryidae Perty, 1852

Género - *Holophrya* Ehrenberg.

Especie - *Holophrya simplex* Schewiakoff, 1883

Orden - Prodontida Corliss, 1974

Familia - Colepidae Ehrenberg, 1838

Género - *Coleps* Nitzsch, 1827

Especie - *Coleps hirtus* (O. F. Müller, 1786)

Clase - Litostomatea Small & Lynn, 1981

Subclase - Haptoria Corliss, 1974

Orden - Haptorida Corliss, 1974

Familia - Lacrymariidae de Fromentel, 1876

Género - *Lacrymaria* Bory de St. Vincent, 1826

Especie - *Lacrymaria olor* (O. F. Müller, 1786)

Familia - Trachelophyllidae Kent, 1886

Género - *Trachelophyllum* Claparède & Lachmann, 1859

Especie - *Trachelophyllum pusillum* (Perty, 1852)

Orden - Pleurostomatida Schewiakoff, 1896

Familia - Amphileptidae Bütschli, 1880

Género - *Litonotus* Wrzesniowski, 1870

Especie - *Litonotus fasciola* (O. F. Müller, 1773)

Subphyllum - Cyrtophora Small, 1976

Clase - Phyllopharyngea de Puytorac *et al.*, 1974

Subclase - Phyllopharyngia de Puytorac *et al.*, 1974

Orden - Cyrtophorida Fauré-Fremiet en Corliss, 1956

Suborden - Chlamydodontina Deroux, 1976

Familia - Chilodonellidae Deroux, 1970

Género - *Chilodonella* Strand, 1928

Especie - *Chilodonella uncinata* (Ehrenberg, 1838)

Género - *Trithigmostoma* Jankowski, 1967

Especie - *Trithigmostoma cucullulus* (O. F. Müller, 1786)

Suborden - Dysteriina

Familia - Dysteriidae

Género - *Trochilia* Dujardin, 1841

Especie - *Trochilia minuta* (Roux, 1901)

Subclase - Suctoria Claparède & Lachmann, 1858

Orden - Exogenida Collin, 1912

Familia - Podophryidae Haeckel, 1866

Género - *Podophrya* Ehrenberg, 1838

Especie - *Podophrya fixa* (O. F. Müller, 1786)

Clase - Nassophorea Small & Lynn, 1981

Subclase - Nassophoria Small & Lynn, 1981

Orden - Peniculida Fauré-Fremiet en Corliss, 1956

Suborden - Parameciina Jankowski nuevo suborden

Familia - Parameciidae Dujardin, 1840

Género - *Paramecium* O. F. Müller, 1773

Especie - *Paramecium caudatum* Ehrenberg, 1833

Paramecium trichium Stokes, 1885

Paramecium multimicronucleatum Powers y Mitchell, 1910

Subclase - Hypotrichia Stein, 1859

Orden - Euplotida nuevo orden

Suborden - Euplotina nuevo suborden

Familia - Aspidiscidae Ehrenberg, 1838

Género - *Aspidisca* Ehrenberg, 1830

Especie - *Aspidisca cicada* (O. F. Müller, 1786)

Aspidisca lynceus (O. F. Müller, 1773)

Aspidisca cf. bengalensis Ghosh, 1921

Clase - Oligohymenophorea de Puytorac *et al*, 1974

Subclase - Hymenostomatia Delage & Hérouard, 1896

Orden - Hymenostomatida Delage & Hérouard, 1896

Suborden - Tetrahymenina Faurè-Fremiet en Corliss, 1956

Familia - Glaucoidae Corliss, 1956

Género - *Glaucoma* Ehrenberg, 1830

Especie - *Glaucoma setosa* Schewiakoff, 1830

Familia - Tetrahymenidae Corliss, 1952

Género - *Tetrahymena* Furgason, 1940

Especie - *Tetrahymena pyriformis* (Ehrenberg, 1830)

Orden - Scuticociliatida Small, 1967

Suborden - Philasterina Small, 1967

Familia - Cinetochilidae Perty, 1852

Género - *Cinetochilum* Perty, 1852

Especie - *Cinetochilum margaritaceum* (Ehrenberg, 1831)

Suborden - Pleuronematina Faurè-Fremiet en Corliss, 1956

Familia - Cyclidiidae Ehrenberg, 1838

Género - *Cyclidium* O. F. Müller, 1773

Especie - *Cyclidium glaucoma* O. F. Müller, 1773

Subclase - Peritrichia Stein, 1859

Orden - Sessilida Kahl, 1933

Familia - Operculariidae Faurè-Fremiet en Corliss, 1979

Género - *Propyxidium* Corliss, 1979

Especie - *Propyxidium* sp. Corliss, 1979

Familia - Scyphidiidae Kahl, 1933

Género - *Scyphidia* Dujardin, 1841

Especie - *Scyphidia* sp. Dujardin, 1841

Familia - Vorticellidae Ehrenberg, 1838

Género - *Vorticella* Linnaeus, 1767

Especie - *Vorticella campanula* Ehrenberg, 1831

Vorticella convallaria (Linnaeus, 1758)

Vorticella microstoma Ehrenberg, 1830

Vorticella octava Stokes, 1885

Clase - Colpodea de Puytorac *et al*, 1974

Orden - Cyrtolophosidida Foissner, 1978

Familia - Cyrtolophosididae Stokes, 1888

Género - *Cyrtolophosis* Stokes, 1885

Especie - *Cyrtolophosis* sp. Stokes, 1885

Orden - Bursariomorphida Fernández-Galiano, 1978

Familia - Bursariidae Dujardin, 1840

Género - *Bursaria* O. F. Müller, 1773

Especie - *Bursaria truncatella* O. F. Müller, 1773

Del total de las especies, 25 estuvieron presentes en el Lago Viejo y en el Lago Menor, mientras que en el Lago Mayor, el más extenso, se encontraron sólo 22 especies. El Índice de Similitud de Jaccard calculado para los lagos con base en los datos de ausencia-presencia de las especies (Crisci y López 1983), no aportó información valiosa pues los tres lagos compartieron el mismo número de especies comunes: 20 especies. Esto motivó que el valor del índice entre el Lago Viejo y el Mayor y entre el Mayor y el Menor fuera igual: 0.744. Un valor ligeramente más bajo se encontró entre los Lagos Viejo y Menor: 0.666. Los resultados indican una elevada similitud de la composición taxonómica de las comunidades de ciliados planctónicos entre los tres lagos.

Considerando los tres Lagos, y basándose en el esquema taxonómico de Corliss (1979), antiguo pero ampliamente usado en trabajos ecológicos (Ver Anexo 1), los grupos de ciliados representados fueron 11 (Fig. 3). Los Peritricos presentaron el mayor número de especies (6), seguidos por los Hymenostomatidos (5 especies) y los Hipotricos (4 especies). Los Pleurostomatidos y los Suctores únicamente estuvieron representados por una especie cada uno.

En la Figura 4 se presenta el número de especies de los grupos, pero en este caso, en cada lago. Nuevamente, el grupo con mayor número de especies fue el de los Peritricos. Los Hipotricos estuvieron presentes con 4 especies en los tres lagos. Un hecho interesante es que en el Lago Viejo no se presentó ningún Suctor. De acuerdo con Foissner (1994) los grupos de protozoos típicamente presentes en la zona planctónica de los lagos son: Prostomatidos, Hymenostomados, Scuticociliatidos, Peritricos, Oligotricos, Heterotricos e Hipotricos. En los Lagos de Chapultepec, se encontraron representantes de todos los grupos mencionados por Foissner, con excepción de los Heterotricos. Pero además, se observaron especies de Colpodidos, Cyrtoforidos, Pleurostomatidos, Suctores y Haptoridos. Algunas especies representadas de Pleurostomatidos y Haptoridos han sido encontradas en estudios de protozoos

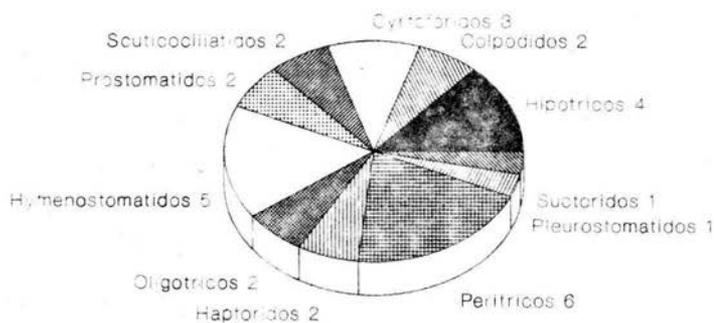


Figura 3. Número de especies de ciliados por grupo taxonómico.

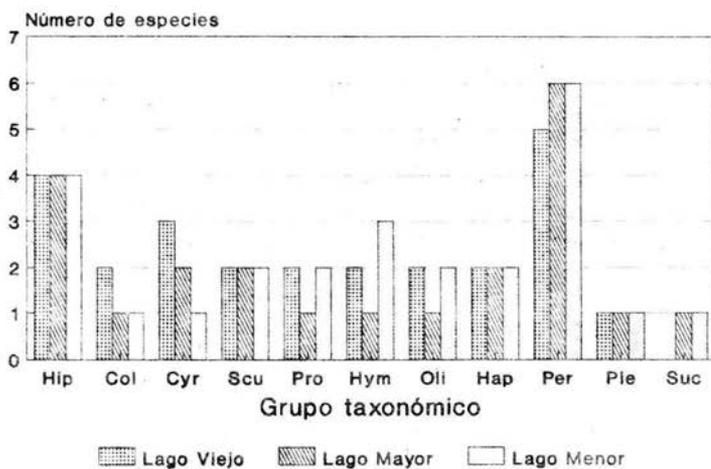


Figura 4. Número de especies de ciliados por grupo taxonómico en cada lago

planctónicos (Beaver y Crisman 1982, Schweizer 1994), lo mismo que de Suctores (Schweizer 1994). Puede considerarse que únicamente los Colpodidos y Cyrtoforidos no corresponden al hábitat planctónico. Entre las razones que explican la presencia de estos grupos pueden mencionarse el tipo de agua que abastece a los lagos, la cual acarrea muchos ciliados habitantes de sistemas de tratamiento de lodos activados, y la baja profundidad, además procesos de mezcla debido al viento y remo intenso que favorece que aún la zona limnética tenga gran similitud con la zona litoral de otros lagos más profundos.

El grupo de los Oligotricos es normalmente el dominante en términos de abundancia y biomasa en la comunidad de ciliados planctónicos, tanto en el agua dulce como en el mar (Foissner 1994). En Chapultepec los Oligotricos únicamente estuvieron presentes con dos especies y su importancia numérica no fue notable, con excepción del Lago Viejo. Esta diferencia también puede ser atribuida al tipo de agua con que son llenados los lagos y al estado trófico de los mismos (Alcocer 1988).

López-Ochoterena (1965) encontró un total de 52 especies de ciliados en diversos cuerpos de agua del Bosque de Chapultepec, como fuentes, canales y el Lago Viejo. Dieciocho de las especies del presente estudio coincidieron con las observadas por López-Ochoterena. Desafortunadamente, no es posible saber cuántas de esas 52 especies fueron encontradas en el Lago.

Dominancia de las especies

Para establecer la importancia de cada una de las especies en los lagos, se utilizaron los diagramas bivariados de Frecuencia vs Abundancia (García de León 1988) donde se graficaron los valores de frecuencia (%) y abundancia ($\log n$) y perpendicularmente a los ejes se trazaron líneas cuyo origen es el valor promedio de los datos de cada variable. Mediante estos diagramas fue posible separar a las especies dominantes (alta frecuencia y alta abundancia) de las temporales (baja frecuencia y alta abundancia), las constantes (alta frecuencia y baja abundancia) y las raras (frecuencia y abundancia bajas) en cada lago. Las especies de ciliados en los Lagos se separaron en tres grupos diferentes: dominantes, temporales y raras. No se encontraron especies constantes.

Los análisis de Frecuencia vs Abundancia por lago arrojaron los siguientes resultados: para el Lago Viejo se encontraron 9 especies dominantes, 6 temporales y 10 raras; en el Lago Mayor se obtuvieron 8 especies dominantes, 3 temporales y 11 raras y en cuanto al Lago Menor, 7 especies fueron dominantes, 8 temporales y 10 raras (Cuadro II y III).

A. cicada, *C. glaucoma*, *C. hirtus*, *L. fasciola* y *V. convallaria* aparecieron como dominantes en los tres lagos. *C. glaucoma* fue la especie más abundante y frecuente en los Lagos Viejo y Mayor, en tanto que en el Lago Menor fue la más abundante aunque no la más frecuente. Todas estas especies pueden considerarse como típicamente planctónicas (Beaver y Crisman, 1982; Foissner 1994; Laybourn-Parry *et al.* 1990). *A. cicada* y *V. microstoma* generalmente se asocian a material flotante como algas, detritos, etc. (Bick 1972).

Cuadro II. Especies de ciliados dominantes y temporales en cada uno de los Lagos de Chapultepec con base en los análisis de Frecuencia vs. Abundancia

LAGO VIEJO	LAGO MAYOR	LAGO MENOR
ESPECIES DOMINANTES		
<i>A. cicada</i>	<i>A. cicada</i>	<i>A. cicada</i>
<i>C. margaritaceum</i>	-	-
<i>C. hirtus</i>	<i>C. hirtus</i>	<i>C. hirtus</i>
<i>C. glaucoma</i>	<i>C. glaucoma</i>	<i>C. glaucoma</i>
-	<i>Cyrtolophosis sp.</i>	-
-	-	<i>L. olor</i>
-	-	<i>L. fasciola</i>
-	<i>S. mytilus</i>	<i>S. mytilus</i>
<i>V. campanula</i>	<i>V. campanula</i>	-
<i>V. convallaria</i>	<i>V. convallaria</i>	<i>V. convallaria</i>
<i>V. striata</i>	-	-
ESPECIES TEMPORALES		
<i>A. cf. bengalensis</i>	<i>A. cf. bengalensis</i>	<i>A. cf. bengalensis</i>
<i>Cyrtolophosis sp.</i>	-	<i>Cyrtolophosis sp.</i>
-	-	<i>P. multimicronuc.</i>
-	-	<i>P. trichium</i>
<i>S. mytilus</i>	-	-
<i>T. pyriformis</i>	<i>T. pyriformis</i>	-
-	-	<i>T. pusillum</i>
<i>T. cucullulus</i>	<i>T. cucullulus</i>	-
-	-	<i>T. minuta</i>
-	-	<i>V. campanula</i>
<i>V. microstoma</i>	-	-
-	-	<i>V. striata</i>

De acuerdo con Beaver y Crisman (1982) en los lagos eutróficos tienden a dominar numéricamente los grupos de ciliados pequeños ($<20 \mu\text{m}$), como los Scuticociliatidos, que se alimentan de las grandes cantidades de bacterias disponibles. Esto ocurrió en los Lagos de Chapultepec donde el Scuticociliatido *C. glaucoma* fue la especie más abundante. Sin embargo, las otras especies clasificadas como dominantes fueron de alimentación variada, pudiendo consumir bacterias (*A. cicada*, *V. convallaria*), algas o detritos (*C. hirtus*) o flagelados y ciliados (*L. fasciola*). Esta diversidad de alimentación reflejó los principales tipos de materiales nutritivos presentes en los lagos.

Además de las especies anteriormente mencionadas, otras resultaron también importantes. Especies dominantes en dos lagos, aunque los lagos que dominaron fueron diferentes. *V. campanula* y *S. mytilus* (Cuadro II), ambas dominantes en el Lago Mayor, la primera de ellas además dominante en el Lago Viejo, mientras que la segunda lo fue en el Lago Menor. Entre las especies dominantes para un lago se encontraron *C. margaritaceum*, *V. striata* y *H. grandinella* para el Lago Viejo, mientras que *Cyrtolophosis* sp. fue dominante en el Lago Mayor y *L. olor* en el Lago Menor.

Respecto a las especies temporales, poco frecuentes pero muy abundantes, *A. cf. bengalensis* fue la única para los tres lagos, en tanto que entre las especies temporales para dos lagos quedaron ubicadas *T. cucullulus* y *T. pyriformis* para el Lago Viejo y Lago Mayor, mientras que *Cyrtolophosis* sp. lo fue en el Lago Viejo y en el Lago Menor. Las especies temporales de un lago, *V. microstoma* y *S. mytilus* lo fueron para el Lago Viejo, *P. multimicronucleatum*, *P. trichium*, *T. pusillum*, *T. minuta*, *V. striata* y *V. campanula* se ubicaron como temporales sólo en el Lago Menor.

En cuanto a las especies raras (Cuadro III), poco frecuentes y abundantes, que fueron el grupo con el mayor número de especies en los tres lagos, se encontraron *Scyphidia* sp. y *A. lynceus* tanto en el Lago Viejo como en los Lagos Mayor y Menor; para el caso de especies raras en dos lagos *H. simplex* y *Strobilidium* sp. se encontraron en los Lagos Viejo y Menor; *L. olor*, *T. pusillum* y *T. minuta* en los Lagos Viejo y Mayor; mientras que en los Lagos Mayor y Menor se encontraron *C. margaritaceum*, *H. grandinella*, *P. fixa*, *Propygidium* sp. y *V. microstoma*. Las especies raras sólo del Lago Viejo fueron *B. truncatella*, *C. uncinata* y *G. setosa*; en el Lago Mayor se encontró *V. striata* mientras que en el Lago Menor fue *P. caudatum*.

Según Bick (1972), todas las especies ubicadas como dominantes en los tres lagos son cosmopolitas y con una amplia distribución. *A. cicada*, *C. glaucoma* y *V. convallaria* son consumidores principalmente de bacterias; *C. hirtus* es carnívoro y detritófago (López-Ochoterena 1965), mientras que *L. fasciola* consume flagelados y pequeños ciliados.

Cuadro III. Especies raras de ciliados en cada uno de los Lagos de Chapultepec con base en los análisis de Frecuencia vs. Abundancia

LAGO VIEJO	LAGO MAYOR	LAGO MENOR
ESPECIES RARAS		
<i>A. lynceus</i>	<i>A. lynceus</i>	<i>A. lynceus</i>
<i>B. truncatella</i>	-	-
-	<i>C. margaritaceum</i>	<i>C. margaritaceum</i>
<i>C. uncinata</i>	-	-
<i>G. setosa</i>	-	-
-	<i>H. grandinella</i>	<i>H. grandinella</i>
<i>H. simplex</i>	-	<i>H. simplex</i>
<i>L. olor</i>	<i>L. olor</i>	-
-	-	<i>P. caudatum</i>
-	<i>P. fixa</i>	<i>P. fixa</i>
-	<i>Propyxidium sp.</i>	<i>Propyxidium sp.</i>
<i>Scyphidia sp.</i>	<i>Scyphidia sp.</i>	<i>Scyphidia sp.</i>
<i>Strobilidium sp.</i>	-	<i>Strobilidium sp.</i>
<i>T. pusillum</i>	<i>T. pusillum</i>	-
<i>T. minuta</i>	<i>T. minuta</i>	-
-	<i>V. microstoma</i>	<i>V. microstoma</i>
-	<i>V. striata</i>	-

Datos ecológicos de las especies dominantes

Algunos datos ecológicos de las especies dominantes, de acuerdo con Bick (1972) y Foissner *et al.* (1994) son los siguientes:

A. cicada puede tolerar altos grados de contaminación, temperatura entre 0-30°C, pH de 5.4-9.4 y oxígeno disuelto de 0.1-12 mg l⁻¹.

C. hirtus se encuentra en agua que contenga detritos orgánicos o con mediana contaminación,

temperatura entre 2-30 °C, un pH óptimo de 6.5-7.5, concentraciones de oxígeno 0.1-0.5 mg l⁻¹.

- C. glaucoma* fue el protozoo ciliado más abundante y frecuente con la más amplia distribución de los encontrados en Chapultepec, y por lo tanto sus rangos de tolerancia para los diferentes factores físicos y químicos son más amplios que en el resto de las especies. Sus intervalos ecológicos, según Foissner *et al.* (1994) son: temperatura 0-51 °C, pH 5.7-9.8, oxígeno disuelto de 0 a 21 mg l⁻¹. Esta amplia tolerancia a grandes variaciones ambientales permite que esta especie sea muy común en diferentes ambientes.
- L. fasciola* puede aparecer en todos los tipos de agua contaminada con materia orgánica en descomposición, sus rangos de temperatura fueron 0-21°C, pH entre 7.1-8.0, para las concentraciones de oxígeno disuelto el intervalo es de entre 0.3-6.0 mg l⁻¹.
- V. convallaria* puede encontrarse adherida a crustáceos, insectos, moluscos, detritus, piedras y plantas, con temperatura entre 2-23°C, pH entre 5.5-9.0 y concentraciones de oxígeno disuelto entre 1.0-13.0 mg l⁻¹.

Las especies que resultaron dominantes en dos lagos fueron *S. mytilus* y *V. campanula*, ambas con distribución cosmopolita.

V. campanula es consumidora de bacterias y algas, evita condiciones de elevada contaminación con temperaturas de 0-23 °C, pH de 6.9-9.0, concentraciones de oxígeno disuelto de entre 4.5-16 mg l⁻¹.

S. mytilus consume algas, flagelados e incluso a otros ciliados, tolera temperaturas de 2-25 °C, pH 4.0-8.4 y concentraciones de oxígeno disuelto de 0-9.2 mg l⁻¹.

Entre las especies dominantes para un lago se ubicaron *C. margaritaceum*, *H. grandinella*, *L. olor* y *V. octava*.

C. margaritaceum es bacterívoro y presenta óptimos de temperatura de 15 °C, el pH de 7, y concentraciones de oxígeno disuelto de 0-6 mg l⁻¹.

H. grandinella tolera bajas concentraciones de oxígeno disuelto de entre 0.1-1 mg l⁻¹, temperatura de 1-35 °C y pH de 7-7.5. Se alimenta de bacterias y algas.

L. olor presenta una amplia distribución, aparece en agua dulce, salina y salobre, su tolerancia a la temperatura es de 0-25°C, pH entre 6.4-7.5, concentraciones de oxígeno entre 0.2-12 mg l⁻¹. Se trata de un ciliado carnívoro que se alimenta de flagelados y otros ciliados.

V. octava puede vivir en aguas claras o altamente contaminadas, aparentemente prefiere niveles altos de oxígeno disuelto, rangos de temperatura de 2-23°C, pH 5-8 y concentraciones de oxígeno disuelto 3-12 mg l⁻¹. Su principal alimento son las bacterias.

Para el caso de *Cyrtolophosis* sp. no se encontraron datos acerca de sus intervalos ecológicos.

Fue muy evidente que, en el caso de los Lagos de Chapultepec, numerosas especies de ciliados se encontraron en valores de las variables ambientales superiores o inferiores a los señalados por Bick (1972). Cabe señalar que los estudios de Bick se realizaron en el laboratorio en condiciones más o menos controladas y usando cepas de ciliados propias de climas templados. En condiciones naturales y en climas diferentes las mismas especies parecen capaces de soportar

condiciones ambientales mucho más variadas.

Variación Espacial

Como ya se mencionó, se tomaron muestras en un total de 12 estaciones repartidas entre los tres lagos. Para probar si existían diferencias significativas de los números de ciliados totales entre las estaciones de un mismo lago se realizó un análisis no paramétrico de comparación de medianas de Kruskal-Wallis. Este análisis mostró que, con un nivel de confianza del 95%, no existieron diferencias significativas entre los números de ciliados totales encontrados en las estaciones de cada lago a lo largo del año, por lo cual se decidió presentar los resultados por lago. Sin embargo, en algunos muestreos la variación espacial de los ciliados fue elevada.

Para denotar el grado de variación espacial intralacustre (entre los sitios de muestreo de un mismo lago) se presenta la media mensual y el intervalo de variación correspondiente a ± 1 desviación estándar. Es evidente que en algunos muestreos, especialmente en aquéllos donde se presentaron los números mayores de ciliados, la variación entre los sitios fue elevada.

Variación estacional

La variación temporal del número de ciliados presentó un comportamiento similar en los tres lagos, aunque la similitud fue mayor entre los lagos Viejo y Menor (Fig. 5). Se observaron dos fases claramente diferenciadas a lo largo del año: la primera, con bajos números de ciliados, corresponde a la época fría y seca del año que abarcó los meses de octubre a marzo; la otra, donde el número de ciliados fue notablemente mayor, comprendió del mes de abril al mes de septiembre, temporada cálida y lluviosa. Si se comparan estas épocas con la Fig. 1, que corresponde a los datos climáticos del Bosque de Chapultepec, resulta claro que existe una notable relación entre la temperatura ambiental y el número de ciliados.

Para la primera época (octubre de 1984 a marzo de 1985) se encontraron los valores más bajos en los tres Lagos: 3.5 ciliados ml^{-1} en el mes de marzo para el Lago Menor, 10.4 ciliados ml^{-1} durante el mes de febrero para el Lago Viejo y 20.2 ciliados ml^{-1} para el mes de marzo en el Lago Mayor. Durante toda esta época los números en los tres lagos estuvieron por debajo de 50 ciliados ml^{-1} . La variación del número de ciliados en esta temporada en los Lagos Viejo y Menor fue más notable, mientras que en el Lago Mayor la fluctuación fue muy pequeña, con una tendencia constante hacia la baja (Fig. 5).

A partir del mes de abril, cuando las condiciones de temperatura cambian y se inicia la época cálida y húmeda, se presentó un incremento considerable en el número de ciliados; en el Lago Viejo y Lago Mayor la tendencia ascendente se mantuvo hasta el mes de junio, en tanto que en el Lago Menor este ascenso se observó sólo hasta mayo, ya que para el mes de junio hubo un descenso en el número, aunque nuevamente se incrementó para el siguiente mes. En los tres Lagos se observó un descenso ligero del número de ciliados durante agosto.

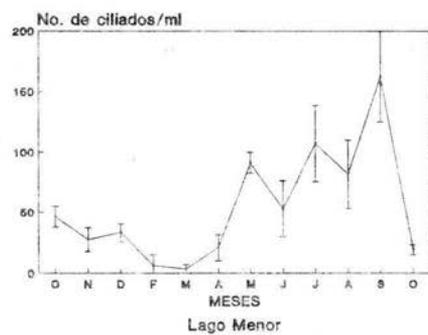
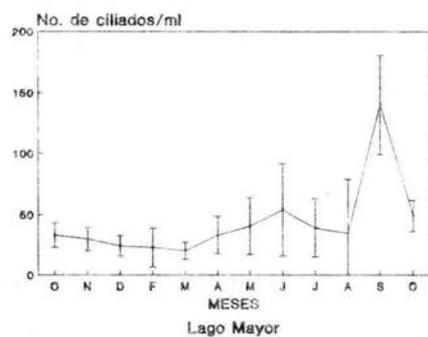
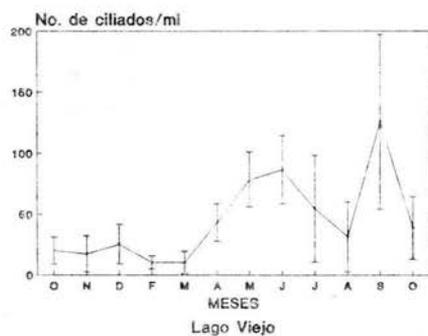


Figura 5. Variación temporal de los ciliados
(Media \pm 1 d.e.)

En septiembre, mes que corresponde al final de la época cálida (principio del otoño), se obtuvieron los valores más altos en los tres Lagos: 162.3 ciliados ml^{-1} para el Lago Menor, 140 ciliados ml^{-1} para el Lago Mayor y 125.8 ciliados ml^{-1} para el Lago Viejo. Un análisis más detallado de los valores durante este mes, mostró que en el Lago Menor, donde se encontró el número más alto, fueron parecidos en todas las estaciones, lo cual se reflejó en una baja desviación estándar. En el Lago Mayor ocurrió un fenómeno similar pues la desviación estándar también fue moderada. Para el caso del Lago Viejo la variación en el número de ciliados en las diferentes estaciones de muestreo durante este mes fue alta y esto se reflejó en una desviación estándar grande. Sin embargo, como ya se comentó anteriormente, consideradas globalmente las estaciones de cada lago no mostraron diferencias significativas en cuanto al número de ciliados totales.

Después de septiembre, el descenso en el número total de ciliados en los tres Lagos para el mes de octubre fue muy evidente, encontrándose valores de 18.6 ciliados ml^{-1} para el Lago Menor, 49 ciliados ml^{-1} en el Lago Mayor y 39 ciliados ml^{-1} para el Lago Viejo, lo que hace suponer que nuevamente se inició la fase de números bajos de ciliados correspondiente a la época fría y seca.

Debe señalarse que en el Lago Mayor las dos épocas mencionadas son más difíciles de apreciar pues los datos promedio de ciliados, con excepción del mes de septiembre, resultaron muy homogéneos.

Laybourn-Parry (1994) discute los casos conocidos de variación estacional de los ciliados en lagos de diferentes latitudes. Presenta algunos casos de estudios desde el ecuador hasta los polos, aunque para lagos ubicados en las zonas subtropicales y tropicales la información es muy escasa. Nuevamente, la variación estacional de los ciliados en los Lagos de Chapultepec presentó semejanzas importantes con el comportamiento de los lagos subtropicales. Por ejemplo, en el caso del ya mencionado Lago Oglethorpe (Georgia, E.U.A.) las coincidencias son notables. Este lago es meso-eutrófico y su número máximo de ciliados se presentó en el fin del verano y principio del otoño (Pace 1982). El caso de los Lagos de Chapultepec es similar, alcanzándose los valores máximos durante el verano y principios del otoño. De la misma manera, en el estanque Holden (Florida, E.U.A.) los valores más altos de ciliados se presentaron en los meses de verano y otoño (Beaver *et al.* 1988). Laybourn-Parry (1992) afirma que en los lagos eutróficos subtropicales los valores más altos de ciliados se presentan en la época correspondiente a finales del verano y principios del otoño. Justamente en esta época fue donde se observaron las mayores abundancias de ciliados en los Lagos de Chapultepec.

En contraste, los resultados obtenidos en lagos oligotróficos y mesotróficos de latitudes similares (Beaver *et al.* 1988) o diferentes (Salbrechter y Arndt 1994, Schweizer 1994) presentan diferencias notables en cuanto al número y la temporada de máxima abundancia de los ciliados. En lagos coloreados de Florida (cuya media anual en la concentración de color es mayor a 100 unidades de Pt) con condiciones oligo o mesotróficas los números de ciliados fueron, generalmente, considerablemente menores que en Chapultepec.

Abundancias de ciliados y estado trófico de los Lagos de Chapultepec.

Beaver y Crisman (1982) establecieron una relación entre el número de ciliados planctónicos y el estado trófico de los lagos. De acuerdo con ellos, mientras se avanza de la oligotrofia hacia la eutrofia aumenta el número de ciliados, además de que tienden a predominar numéricamente ciliados de menor tamaño y bacterívoros, como los pertenecientes al grupo de los Scuticociliatidos. En el caso de los Lagos de Chapultepec esta última aseveración se confirma pues la especie dominante, *C. glaucoma*, es un pequeño Scuticociliatido. Estos mismos autores encontraron los siguientes valores promedio anuales de abundancia de ciliados en lagos de Florida con diferentes estados tróficos: oligotróficos 10.8 ± 5.4 ; mesotróficos 27.5 ± 7.7 ; eutróficos 55.5 ± 7.6 e hipertróficos 155 ± 60.9 ciliados ml^{-1} . En los Lagos de Chapultepec los valores promedio anuales fueron: Lago Viejo 45.1 ± 45.4 ; Lago Mayor 43.4 ± 39.2 y Lago Menor 54.1 ± 49.6 ciliados ml^{-1} . Los valores de Chapultepec se encuentran cercanos a los valores de la eutrofia, pero a diferencia de los lagos de Florida, la variación temporal es más marcada, como lo demuestran las elevadas desviaciones estándar. Estas elevadas desviaciones estándar reflejan la fuerte variación temporal que presentaron los ciliados en los lagos.

Foissner *et al.* (1992) proponen, con base en diversos estudios, algunos intervalos de abundancias anuales de ciliados planctónicos en lagos de acuerdo con su estado trófico. Los intervalos son: oligotróficos de 2.3 a 10.8 ciliados ml^{-1} , mesotróficos de 18.0 a 70.9 ciliados ml^{-1} , eutróficos de 55.5 a 145.1 ciliados ml^{-1} e hipertróficos de 90.0 a 215.0 ciliados ml^{-1} . En Chapultepec, en el Lago Viejo el intervalo fue de 10.4 a 125.8 ciliados ml^{-1} , en el Lago Mayor entre 20.2 y 140 ciliados ml^{-1} y en el Lago Menor de 3.5 a 162.3 ciliados ml^{-1} . De lo anterior se desprende que los lagos de Chapultepec variaron, globalmente, según este criterio, entre la oligotrofia y la hipertrofia. El Lago Viejo presentaría condiciones de oligotrofia a eutrofia; el Lago Mayor de mesotrofia a eutrofia, mientras que el Lago Menor sería el más variable con condiciones desde oligotrofia hasta hipertrofia. La ocasional presencia de condiciones hipertróficas en este lago se vió confirmada por la presencia exclusiva en él de ciliados del género *Paramecium*, el cual según Beaver y Crisman (1982), se presenta característicamente en condiciones de hipertrofia. La aplicación de estos intervalos en lagos de otras latitudes parece tener algunos problemas pues, por ejemplo, Pace (1982) encontró en el Lago Oglethorpe, eutrófico y subtropical, valores de ciliados desde 0.1 hasta 200 ciliados ml^{-1} . Según el criterio de Foissner *et al.* (1992) tendría un estado trófico desde menos de oligotrofia hasta hipertrofia.

Resultó claro, que tanto en el caso del Lago Oglethorpe (Georgia, E.U.A.) como en los Lagos de Chapultepec el número máximo de ciliados es el que mejor indica las condiciones tróficas y en ambos casos esos números denotan condiciones de eutrofia. Según Alcoer (1988), quien evaluó el estado trófico con base en diversas características, los tres lagos presentan un estado hipertrófico. Entre las condiciones que caracterizan los lagos hipertróficos se mencionan la someridad y circulación limitada, falta de estratificación con resuspensión periódica de sedimentos, regímenes de nutrimentos y oxígeno no balanceados y productividad muy elevada (concentraciones de clorofila $> 400 \text{ mg m}^{-3}$) (Barica 1980). Todas estas condiciones se presentaron en los Lagos de Chapultepec (Alcoer 1988). Como se discutirá a continuación, la localización geográfica de los lagos y el clima de la región, además del estado trófico, parecen influir sobre las abundancias de ciliados. Durante la mayor parte del tiempo del estudio los

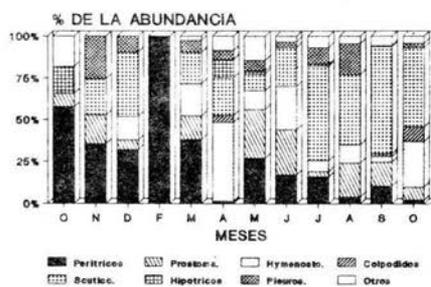
valores de abundancias de ciliados correspondieron a los encontrados en otros lagos eutróficos.

Al comparar el número de ciliados totales contados en los Lagos de Chapultepec con los encontrados en otros cuerpos de agua se encontraron similitudes y diferencias. Laybourn-Parry *et al.* (1990) estudiaron la variación anual de los ciliados en el Lago Esthwaite (Cumbria, Inglaterra) un lago eutrófico de clima templado. Los valores oscilaron entre menos de 1 ciliado ml^{-1} hasta un máximo de 9.2 ciliados ml^{-1} . Estos valores resultan aproximadamente comparables con los encontrados en el Lago Viejo y Menor durante la época fría y seca. En los meses cálidos y lluviosos los ciliados en Chapultepec fueron considerablemente más abundantes que en el Lago Esthwaite. Debe considerarse que este Lago presentó temperaturas menores (4-20 °C) que Chapultepec (14-21 °C).

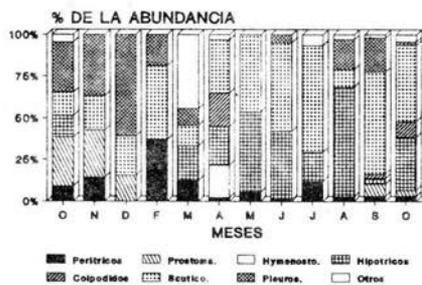
En la recopilación de datos de abundancia de ciliados en cuerpos de agua con diferentes estados tróficos, que presentan Foissner *et al.* (1992) predominan los estudios realizados en lagos de latitudes elevadas, como en Canadá, Reino Unido y Polonia. En los lagos eutróficos estudiados en estos países el número máximo de ciliados -entre 0.5 y 23.5 cil ml^{-1} - fue considerablemente menor al de los Lagos de Chapultepec.

Beaver *et al.* (1988) presentan datos de abundancia de ciliados en lagos coloreados de Florida con diferentes estados tróficos. En este caso, al comparar los datos de Chapultepec con los del estanque Holden, pequeño lago eutrófico subtropical, los valores resultan más parecidos, aunque con ventaja para el estanque Holden (Florida, E.U.A.). El valor máximo de ciliados en este último cuerpo de agua fue de 360 cil ml^{-1} . Sin embargo, durante la mayor parte del tiempo los números variaron entre 100 y 200 cil ml^{-1} . Como ya se mencionó, los valores encontrados por Pace (1982) durante un ciclo anual en el Lago Oglethorpe (Georgia, E.U.A.) lago eutrófico subtropical, estuvieron entre 0.1 y 200 ciliados ml^{-1} , valores semejantes a los de los Lagos de Chapultepec, que también pueden ser considerados como subtropicales y eutróficos.

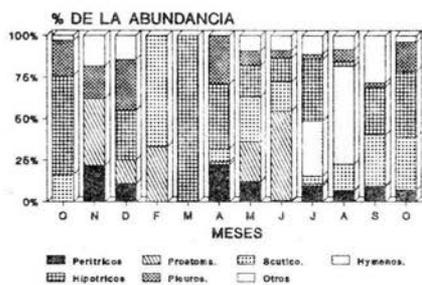
Los datos de abundancia de ciliados en los Lagos de Chapultepec, parecen encontrarse en una posición intermedia entre los estudios realizados en lagos eutróficos de climas templados y los ubicados en climas subtropicales más cálidos que el de la Ciudad de México. Aparentemente, además del estado trófico, el clima tiene un papel destacado en la determinación del número de ciliados en un cuerpo de agua. La abundancia de ciliados en los Lagos de Chapultepec se parece a la de los lagos templados durante la época fría del año pero durante la temporada más cálida los valores se incrementan y se tornan semejantes a los de cuerpos de agua de zonas cálidas. El posible efecto de la latitud y del clima sobre la abundancia de ciliados ha sido señalado por Laybourn-Parry (1992). Si se consideran globalmente las abundancias de Chapultepec, sus valores se encuentran más cercanos a los observados en lagos subtropicales y tropicales, por lo que puede proponerse que las semejanzas del número de ciliados entre cuerpos de agua ubicados en latitudes similares y climas más benignos son mayores en relación con aquellos ubicados en otras latitudes. Además, probablemente las temperaturas más elevadas, entre otros factores, permiten que en igualdad de condiciones tróficas, los ciliados sean más abundantes en cuerpos de agua de climas más cálidos. Por tanto, se concluye que los valores de ciliados encontrados en Chapultepec corresponden a un estado eutrófico.



Lago Viejo



Lago Mayor



Lago Menor

Figura 6. Composición porcentual de la abundancia mensual por grupo taxonómico

Al analizar el porcentaje con que contribuyó cada uno de los grupos a la abundancia total de ciliados a lo largo del tiempo se encuentran tendencias interesantes (Fig. 6). Durante la época de sequía, en el Lago Viejo predominaron los Peritricos, seguidos en importancia por los Scuticociliatidos y los Hymenostomatidos. Pero a partir del mes de abril el número de Peritricos disminuyó y los Scuticociliatidos, Prostomatidos e Hymenostomatidos pasaron a ocupar los lugares más importantes en abundancia. En el Lago Mayor los Pleurostomatidos, Scuticociliatidos y Prostomatidos dominaron durante la época seca. En la época de lluvias los Scuticociliatidos e Hipotricos fueron los grupos más abundantes. En el Lago Menor los patrones de dominancia fueron menos claros pues a lo largo del año existieron importantes variaciones de todos los grupos. Los Hipotricos, Scuticociliatidos, Pleurostomatidos y Prostomatidos presentaron las mayores abundancias.

Las comunidades de ciliados planctónicos son generalmente dominadas numéricamente por tres órdenes: Oligotricos, Scuticociliatidos y Haptoridos (Schönberger 1994). En Chapultepec, con excepción de los Scuticociliatidos, estos grupos no fueron abundantes y otros, como los Hipotricos, Peritricos, Prostomatidos y Pleurostomatidos mostraron mayor abundancia numérica. Schweizer (1994) describe la dominancia por parte de los Prostomatidos en un estudio realizado en el Lago Constanza (fronteras de Austria, Alemania y Suiza) lago europeo muy profundo y mesotrófico. Schumann y Schiewer (1994) observaron una contribución importante ocasional a la biomasa de ciliados por parte del grupo de los Hipotricos en muestras de un estuario en Alemania. La presencia y abundancia de los Peritricos se ve favorecida por la presencia de diatomeas o colonias algales flotantes (Canter *et al.* 1992, Schweizer 1994). En Chapultepec se observó la asociación de las diversas especies de *Vorticella* con las colonias de la cianobacteria *Mycrocystis aeruginosa*, muy abundantes en los lagos. Este hecho favoreció los elevados números de *Vorticella* observados. Laybourn-Parry (1992) señala la dominancia del género *Vorticella* y de los Prostomatidos en lagos eutróficos.

La variación en el número de especies presentes por muestreo en cada lago se muestra en la Fig. 7. El Lago Viejo presentó la mayor fluctuación de los tres con un intervalo entre 1 (febrero) y 16 (mayo) especies por muestreo. En el Lago Mayor la fluctuación fue de 3 (diciembre) a 14 (octubre de 1985) y en el Menor de 2 (febrero y marzo) hasta 15 (septiembre) especies. La riqueza específica también fue mayor en la época de abril a octubre (5 a 16 especies) en relación a los meses de noviembre a marzo (1 a 9 especies).

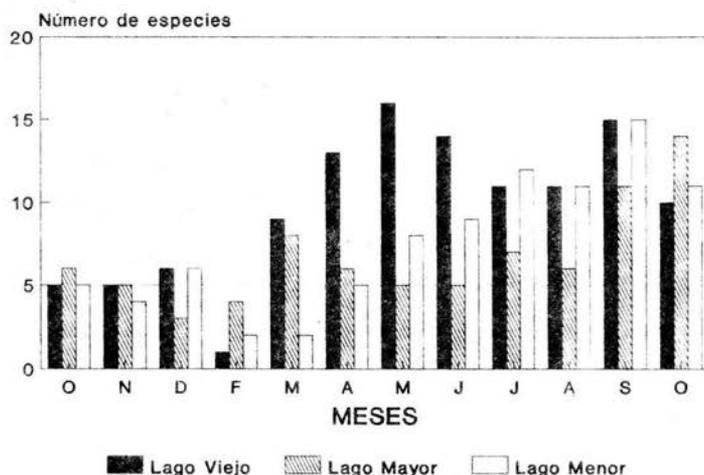


Figura 7. Variación temporal del número de especies de ciliados en los Lagos.

Variación de la cantidad y composición de la biomasa

En términos generales, la variación de la biomasa a lo largo del ciclo anual (Fig. 8) se comportó de manera muy semejante con el número total de ciliados por mililitro, aunque en algunos casos se presentaron diferencias.

Los valores más altos de biomasa en los Lagos Viejo y Mayor (608.5 y 406.8 mg de peso seco m^{-3}) correspondieron al mes de septiembre y coincidieron con el máximo número total de ciliados. En el caso del Lago Menor la mayor biomasa de ciliados se obtuvo en el mes de julio (730.4 mg de peso seco m^{-3}) aunque el mayor número de ciliados se presentó en septiembre. Esto se debió a que durante julio fueron abundantes los Hymenostomatidos del género *Paramecium* que representan una contribución importante a la biomasa. En septiembre los grupos que más contribuyeron a la biomasa en este lago fueron los Peritricos, Hipotricos y Pleurostomatidos.

Los valores mínimos de biomasa se presentaron, en los Lagos Viejo y Menor en el mes de marzo (3.2 y 5.3 mg m^{-3} , respectivamente) y en abril en el Lago Mayor (25.5 mg m^{-3}). Únicamente en el caso del Lago Menor coincide el mes del menor número de ciliados totales con la menor biomasa; durante éste mes la biomasa total estuvo representada sólo por los Hipotricos y cuyo pequeño tamaño no les permite tener una gran contribución a la biomasa total del lago.

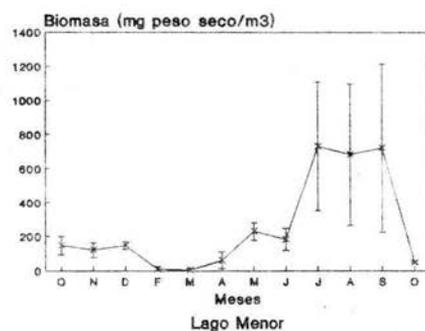
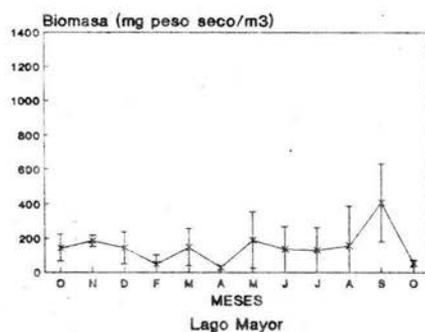
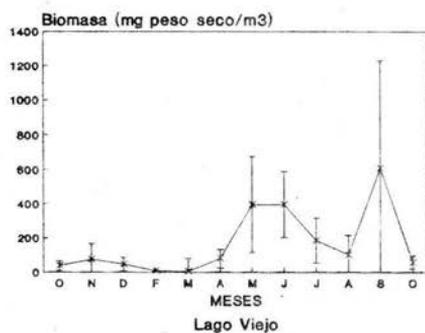


Figura 8. Variación temporal de la biomasa de ciliados en los lagos

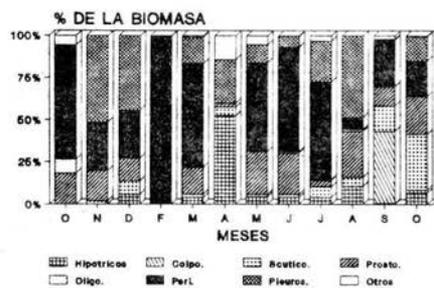
En los Lagos Viejo y Menor, al igual que para el caso del número total de ciliados, se observaron dos épocas claramente diferenciadas de variación de la biomasa. La primera, correspondiente a los meses de menor temperatura y precipitación (octubre a marzo), se caracterizó por valores bajos, en general inferiores a 100 mg m^{-3} . El mes de marzo tuvo el valor más bajo en el Lago Viejo (3.23 mg m^{-3}) y en el Lago Menor (5.3 mg m^{-3}). A partir del mes de abril, y hasta septiembre, la biomasa se incrementó por arriba de los 100 mg m^{-3} . En el mes de octubre de 1985 nuevamente descendió a niveles similares a los observados en el mismo mes del año anterior en ambos lagos.

En el Lago Mayor, la variación en la biomasa no fue tan notable como en los otros dos lagos, pues se mantuvieron valores parecidos durante la mayor parte del año. El valor más bajo correspondió al mes de abril (25.5 mg m^{-3}) y el valor más alto al mes de septiembre (406.8 mg m^{-3}). Se observó que el valor mínimo de este lago fue considerablemente mayor que los valores mínimos de los otros dos lagos mientras que el máximo fue menor que los de los otros lagos. Puede suponerse que el estado menos eutrófico de este lago, reflejado por una mayor transparencia, es la causa de esta variación menor. Además, al parecer, los aportes de agua, tanto de la planta de tratamiento como de los restaurantes, hacia el lago es más constante (Alcocer 1988) y esto favorece una menor fluctuación del número de ciliados. En los Lagos Viejo y Menor la variación en el aporte de agua y nutrimentos es mayor (Alcocer 1988), lo cual, combinado con otros factores, provoca condiciones menos favorables para el desarrollo de los protozoos, especialmente durante ciertas estaciones del año.

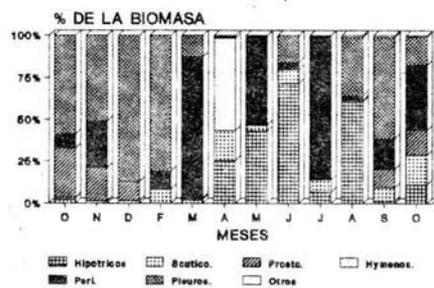
Al observar el porcentaje con que contribuyó cada uno de los grupos de ciliados a la biomasa mensual en el Lago Viejo (Fig. 9), resultó que los Peritricos fueron el grupo con la mayor proporción de biomasa durante la mayoría de los muestreos. En el mes de octubre contribuyeron con más del 60 %, siendo su porcentaje mayor durante febrero en donde fueron el único grupo presente, es decir, contribuyeron con el 100 %, en tanto que en los meses de marzo, mayo, junio y julio su contribución fue de más del 50 %; para los meses de noviembre, diciembre, agosto y octubre su porcentaje presentó fluctuaciones entre el 10 y el 30 %, siendo el mes de abril donde se presentó el porcentaje más bajo con un valor menor al 5 %.

Los Pleurostomatidos fueron el segundo grupo que tuvo las más altas contribuciones a la biomasa. Durante los meses de noviembre, diciembre y agosto contribuyeron con más del 45 %; en tanto que, en los meses de marzo, abril, mayo, junio, julio y octubre su porcentaje presentó fluctuaciones entre el 10 y el 25 %; para el mes de septiembre el porcentaje fue menor al 5 %, y en los meses de octubre y febrero no se presentaron.

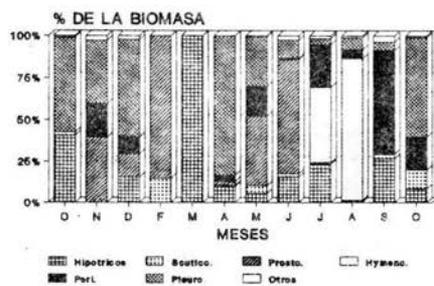
El grupo de los Prostomatidos, se pudo determinar que fue el grupo más homogéneo en cuanto a su porcentaje, ya que no presentó las grandes fluctuaciones de los otros grupos, puesto que a excepción del mes de febrero en donde no se presentaron, y durante los meses de abril y julio, en los que se presentaron en un porcentaje menor al 5 %; en el resto de los meses el porcentaje se mantuvo oscilando entre el 10 y el 25 %.



Lago Viejo



Lago Mayor



Lago Menor

Figura 9. Composición porcentual de la biomasa mensual por grupo taxonómico

El último grupo importante fueron los Hipotricos, puesto que en el mes de Abril contribuyeron con un porcentaje considerable, mayor al 50 %, en tanto que en los demás meses su porcentaje se mantuvo menor al 10 %, excepto para los meses de octubre, noviembre y febrero en donde estuvieron ausentes.

Los Colpodidos y Scuticociliatidos presentaron también valores altos, pero ocasionales. El resto de los grupos tuvieron valores bajos, generalmente menores del 10%, durante todos los muestreos.

En el caso de los Lagos Mayor y Menor los Pleurostomatidos fueron el grupo con la proporción más alta de biomasa durante la mayor parte del tiempo. Este grupo está representado por una sólo especie: *Litonotus fasciola*, que se alimenta de flagelados y otros ciliados. Los Peritricos, Hipotricos, Prostomatidos y Scuticociliatidos también contribuyeron de manera importante a la biomasa en estos lagos.

En el Lago Mayor se pudo observar una relación muy estrecha entre dos grupos, los Pleurostomatidos y los Peritricos, ya que en los meses en donde se presentaron ambos, al aumentar el porcentaje de un grupo disminuía el del otro, por ejemplo, en los meses de octubre, noviembre, diciembre, febrero, junio, agosto y septiembre, el porcentaje de Pleurostomatidos fue muy alto, mientras que el porcentaje de Peritricos fue bajo; para los meses de abril, mayo, junio y octubre, el porcentaje de Peritricos fue mayor, en tanto que el de los Pleurostomatidos fue bajo.

Puede notarse que no existe correspondencia entre la contribución de los grupos a la abundancia y la contribución a la biomasa. Algunos grupos numéricamente muy importantes, como los Scuticociliatidos, debido a su pequeño tamaño contribuyen escasamente a la biomasa. Por el contrario, otros grupos menos numerosos, como los Pleurostomatidos, debido a su gran tamaño aportan una cantidad de biomasa considerablemente mayor.

La biomasa máxima en forma de peso seco de los Lagos de Chapultepec fue superior a las biomásas máximas observadas en diversos lagos coloreados de Florida, subtropicales, con condiciones oligotróficas o mesotróficas. Por ejemplo, en los Lagos Norris, Dorr, Ida y Jefford, oligotróficos, los valores máximos variaron entre 100 y 300 mg peso seco m^{-3} (Beaver *et al.* 1988), valores inferiores a los de Chapultepec. Sin embargo, la comparación con el estanque Holden (Florida, E.U.A.) eutrófico, resulta desventajosa para Chapultepec pues en aquél se midieron hasta 1500 mg m^{-3} . En Chapultepec el valor máximo (Lago Menor) fue aproximadamente la mitad del observado en Holden (Florida, E.U.A.). Debe considerarse que el número total máximo de ciliados en los lagos también se acercó a la mitad del máximo de Holden (Florida, E.U.A.).

Para la comparación de la biomasa de los ciliados de los Lagos de Chapultepec con las halladas en otros lagos fue necesario utilizar diferentes unidades de expresión de esta variable. Además de la expresión en forma de peso seco (mg m^{-3}), se usaron las expresiones de biovolumen ($mm^3 l^{-1}$) y biomasa en forma de peso húmedo ($\mu g l^{-1}$).

Mathes y Arndt (1994) estudiaron el protozooplancton de 19 lagos con diferente estado trófico ubicados en el norte de Alemania durante las épocas de primavera y verano. Observaron que la biomasa de ciliados se incrementó conforme aumentó el estado trófico. Su resultado promedio de biovolumen de ciliados en lagos ligeramente eutróficos varió entre 0.3 (primavera) y 1.4 (verano) $\text{mm}^3 \text{l}^{-1}$, mientras que en lagos altamente eutróficos los valores oscilaron entre 2 (primavera) y 0.5 (verano) $\text{mm}^3 \text{l}^{-1}$. En los lagos de Chapultepec durante la primavera y el verano el biovolumen promedio fue: Lago Viejo 1.039 y 1.070 $\text{mm}^3 \text{l}^{-1}$; Lago Mayor 0.4144 y 0.8247 $\text{mm}^3 \text{l}^{-1}$ y Lago Menor 0.5631 y 2.5458 $\text{mm}^3 \text{l}^{-1}$. Estos valores indican condiciones de eutrofia ligera a fuerte, siendo el Lago Menor el más eutrófico y el Mayor el de menor eutrofia. Una diferencia notable fue que en Chapultepec los valores mayores de biovolumen se presentaron en el verano, mientras que en los lagos alemanes fuertemente eutróficos el biovolumen más elevado se observó durante la primavera, como lo explican Mathes y Arndt (1994). La diferencia puede atribuirse a la variación en la localización geográfica de los lagos. Laybourn-Parry (1992) afirma que en lagos subtropicales y tropicales los máximos de ciliados se presentan generalmente hacia el fin del verano mientras que en lagos templados los valores mayores se presentan a fines de primavera e inicios del verano, con un segundo pico durante el otoño.

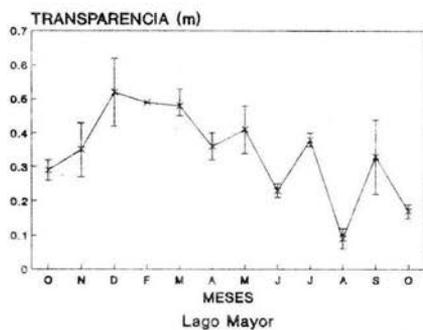
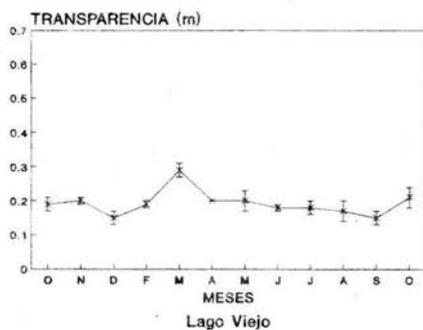
Schönberger (1994) estudió la variación de la biomasa de ciliados en la zona pelágica del Lago Neusiedler (Austria/Hungría) y en una poza aislada en la zona litoral del mismo lago denominada Ruster Poschen, ambos considerados como mesotróficos, aunque la poza con una mayor tendencia hacia la eutrofia. En el lago la biomasa máxima se presentó en el verano y fue de 185 μg peso húmedo l^{-1} . En Ruster Poschen el máximo de biomasa fue de 596 μg peso húmedo l^{-1} y se presentó en septiembre. Ambos valores son considerablemente menores que los cuantificados en Chapultepec, donde la biomasa en forma de peso húmedo alcanzó valores de hasta 2500 μg l^{-1} . Esto confirma que las condiciones de eutrofia favorecen una mayor abundancia y biomasa de pequeños ciliados bacterívoros.

PARAMETROS FISICOS Y QUIMICOS

Para caracterizar el ambiente en los Lagos de Chapultepec se midieron 5 variables consideradas entre las de mayor influencia sobre los ciliados (Bamforth 1985). Estas variables fueron: la temperatura del agua, el pH, el oxígeno disuelto (y el porcentaje de saturación) y la conductividad específica a 25 °C. Además, se midió también la transparencia del disco de Secchi como una variable indicadora del estado trófico.

Transparencia del Disco de Secchi

El comportamiento de este parámetro en el Lago Viejo y en el Lago Menor fue muy semejante; en ambos casos los valores promedio de transparencia fluctuaron entre 0.13 y 0.29 m, que corresponden a valores bajos; en tanto que en el Lago Mayor la transparencia fue mayor con valores entre 0.09 y 0.52 m. (Fig. 10)



Media +/- 1 d.e.

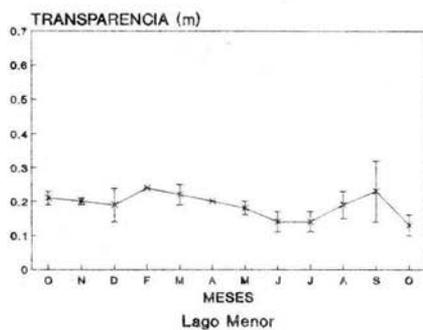


Figura 10. Variación temporal de la transparencia del disco de Secchi en los lagos

Al analizar los patrones de variación de la transparencia en los lagos no se encontró un comportamiento constante pues cada uno de ellos alcanzó sus valores mínimo y máximo en diferente mes (Fig. 10): La baja transparencia de los Lagos Viejo (0.15 - 0.29 m) y Menor (0.13 - 0.24 m) puede atribuirse a las grandes cantidades presentes de sólidos suspendidos y fitoplancton, especialmente de la cianobacteria planctónica *Microcystis aeruginosa*. Esta cianobacteria posee vacuolas de gas que le permiten mantenerse flotando y forma una densa capa en la zona superficial de los lagos, impidiendo el paso de la luz hacia la parte más profunda. En el caso del Lago Mayor las cantidades de sólidos y de fitoplancton son considerablemente menores, por lo que se favorece una mayor penetración de la luz en este lago. Con base en los valores de transparencia, se concluye que el Lago Mayor es el menos eutrófico seguido del Lago Viejo y el más eutrófico es el Menor. Según los resultados de Alcocer (1988) el orden de trofismo (basado en las concentraciones de clorofila *a*, nutrientes, transparencia) es Lago Viejo > Lago Mayor > Lago Menor. Esto indica que la transparencia, aunque útil para tener idea acerca del estado trófico de un cuerpo de agua, no proporciona un valor definitivo acerca del trofismo de los lagos.

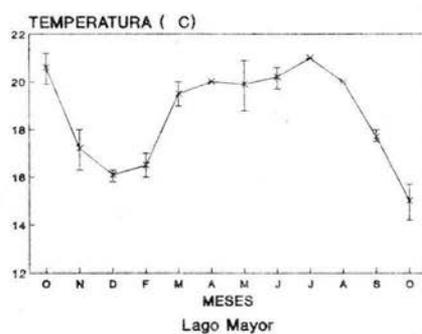
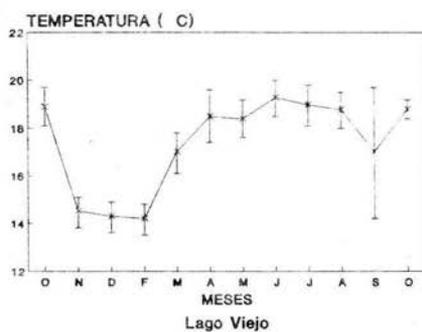
Temperatura del agua

Para esta variable (Fig. 11) se observaron fluctuaciones entre los 14 °C y los 21°C, presentándose un comportamiento más parecido entre el Lago Mayor y el Menor. Los valores menores fueron medidos en los meses de octubre a febrero, que según García (1988) corresponden al período más frío en esa zona, mientras que las temperaturas más altas se presentaron durante los meses de marzo a septiembre, que conforman la época cálida.

Según los datos climáticos que presenta García (1988) obtenidos en la estación climatológica del Jardín Botánico de Chapultepec, los meses más fríos son diciembre y enero, mientras que la mayor temperatura promedio mensual se presenta generalmente en el mes de junio. Este comportamiento climático corresponde bastante bien con las temperaturas medidas en el agua de los lagos.

En el Lago Viejo, al igual que en el resto de los Lagos, se observaron claramente las dos principales épocas, los valores menores fueron registrados en los meses de octubre a febrero, que corresponderían a la época fría, obteniéndose el menor valor en febrero con 14.2°C. A partir de este mes la temperatura fue incrementándose, coincidiendo con el inicio de la época cálida, hasta obtener el valor más alto en junio con 19.3°C; en septiembre se observó un pequeño decremento a 17°C y nuevamente se incrementó la temperatura en octubre hasta 18.8°C.

Para el Lago Mayor se observaron también fluctuaciones, con dos períodos: el primero, de octubre a febrero, donde se registraron los menores valores, el menor valor del ciclo anual correspondió al mes de octubre con 15°C, valores que fueron aumentando conforme las condiciones climáticas fueron cambiando, hasta obtener el máximo valor en el mes de julio con 21°C.



Media +/- 1 d.e.

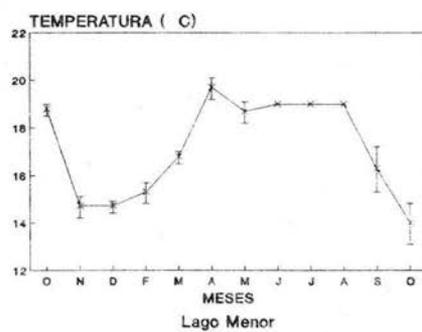


Figura 11. Variación temporal de la temperatura en los lagos

En el Lago Menor el comportamiento fue semejante al anterior, registrándose el valor máximo de 19.7°C durante el mes de abril y el menor valor en octubre con 14°C.

Además, se observó que las temperaturas de los Lagos Mayor y Menor fueron ligeramente superiores a las del Lago Viejo. Esto puede explicarse por la diferencia en la hora de muestreo de los lagos. El Lago Viejo era el primero en ser muestreado y esto generalmente ocurría entre las 9:00 y las 12:00 hrs. Los otros dos lagos eran muestreados posteriormente, cuando la radiación solar era más fuerte (entre las 12:00 y 15:00 horas). Otro factor puede ser la presencia alrededor del Lago Viejo de grandes árboles que proporcionan sombra a las aguas. En los otros dos lagos no existe el sombreado, y el agua recibe directamente la radiación solar.

Aunque las temperaturas medidas en esta investigación correspondieron exclusivamente al nivel superficial, indican que se trata de lagos templados. Alcocer (1988), con base en datos de temperatura del agua en el fondo obtuvo la misma conclusión.

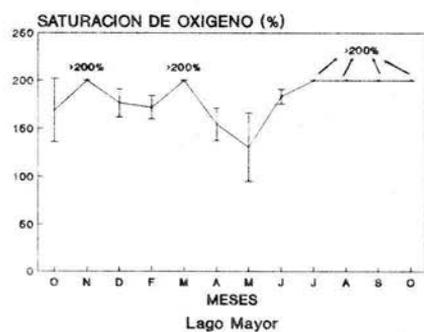
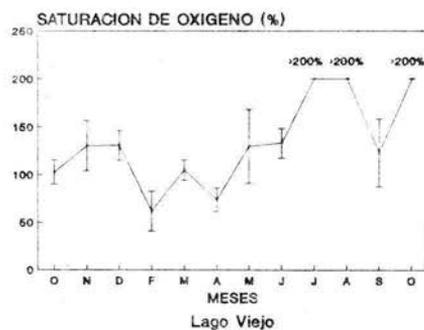
Oxígeno Disuelto

En cuanto a esta variable (Fig. 12), cada uno de los Lagos mantuvo su propio comportamiento presentando entre los tres un intervalo de variación de 4.7 a >15 mg l⁻¹. Debido a que el oxímetro empleado tiene como límite superior de su escala 15 mg l⁻¹, en las ocasiones en que el oxígeno superó este valor se consideraron los datos como >15 mg l⁻¹. Para realizar adecuadamente la comparación de las concentraciones de oxígeno en los tres lagos los datos fueron expresados en forma de porcentaje de saturación de oxígeno disuelto.

En el Lago Viejo se observó que los niveles de oxígeno disuelto se mantuvieron generalmente por debajo de 10 mg l⁻¹, puesto que de todo el ciclo anual ocho de los doce valores promedio estuvieron por debajo de este valor. Lo anterior significó que los valores de saturación fueron inferiores, en la mayoría de los casos, a 150%. En el lapso de octubre a junio se observaron los valores menores, siendo el mínimo de 62% (4.7 mg l⁻¹) que correspondió a febrero; posteriormente se presentaron oscilaciones importantes hasta alcanzar el valor de 133% (9 mg l⁻¹) durante mayo y junio. En julio y agosto los valores se incrementaron y fueron mayores a 200% (>15 y 14.7 mg l⁻¹ respectivamente). En septiembre el valor promedio descendió hasta 123% (8.9 mg l⁻¹), valor que nuevamente se incrementó a más de 200% (>15 mg l⁻¹) durante el mes de octubre.

En el Lago Mayor se presentaron los valores más altos del % de saturación de oxígeno, pues todos los valores promedio se encontraron entre 100 y $>200\%$, lo cual indica que en todos los muestreos se presentó sobresaturación. La mayoría de los valores obtenidos de la concentración de oxígeno, es decir once de los doce, estuvieron comprendidos entre 10 mg l⁻¹ y >15 mg l⁻¹. El menor valor de saturación fue registrado durante el mes de mayo con 131% (8.8 mg l⁻¹); en cambio, durante los meses de noviembre, marzo, julio, agosto, septiembre y octubre los valores promedio de saturación en el lago fueron superiores al 200%.

Para el Lago Menor se detectó un comportamiento parecido, pues en los meses de noviembre, diciembre, agosto, septiembre y octubre se obtuvieron los valores más altos de todo



Media +/- 1 d.e.

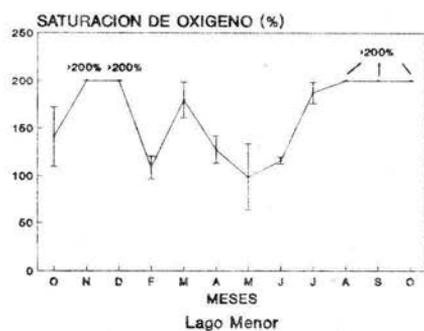


Figura 12. Variación temporal del porcentaje de saturación de oxígeno en los lagos

el ciclo anual los cuales fueron superiores al 200% . Al igual que en el Lago Mayor, en el mes de mayo se obtuvo la menor saturación promedio con un valor de 98 % (8.8 mg l⁻¹). Los valores de saturación de oxígeno en el Lago Menor fueron menores que los del Lago Mayor pero más elevados que los del Lago Viejo.

Se concluye que los valores de saturación de oxígeno en el Lago Viejo fueron más bajos que en los otros dos. Pueden citarse como causas de lo anterior el ya mencionado factor de la hora del muestreo, la baja transparencia del agua en este lago debida a la gran densidad de la capa de *Microcystis aeruginosa* y el mayor sombreado alrededor del lago Viejo.

En general, los valores más elevados de saturación de oxígeno disuelto se presentaron durante la época más cálida. Esto se debe a que las temperaturas más altas estimulan una mayor velocidad de fotosíntesis y favorecen la generación biogénica de este gas. La producción de oxígeno por la algas es tan elevada que supera al factor adverso sobre la solubilidad del gas representado por el incremento de la temperatura, además, a mayor temperatura baja la solubilidad por lo que se satura más rápidamente.

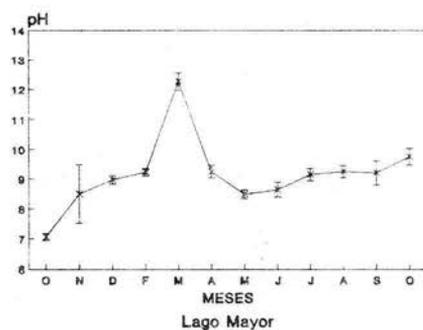
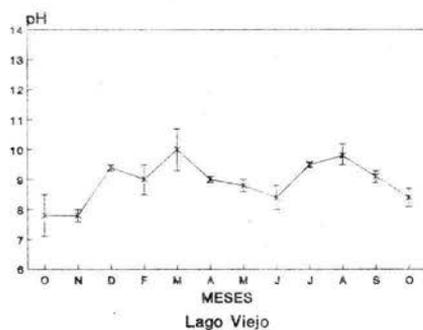
pH

Los valores de pH encontrados en los Lagos difirieron entre sí (Fig. 13), ya que cada uno de ellos observó un comportamiento diferente, aunque una pequeña semejanza fue detectada entre los Lagos Mayor y Menor. De manera general, puede decirse que en los tres Lagos el valor promedio máximo registrado correspondió al mes de marzo, el cual coincide con el inicio de la época cálida, en tanto que los menores valores promedio de pH correspondieron a la época más fría que abarcaría de octubre a diciembre. La tendencia fue hacia valores por arriba de 7, es decir, pH básico, pues sólo se registró un valor promedio menor a 7, correspondiente a condiciones de acidez, el cual se obtuvo en el Lago Menor.

En el Lago Viejo se encontraron las menores oscilaciones, para los meses de octubre y noviembre se registró un valor de 7.8, el cual aumentó a 10 para el mes de marzo, el mayor valor del ciclo anual; a partir de este mes, el pH fluctuó notablemente hasta alcanzar un valor de 8.4 durante el mes de octubre.

Para el Lago Mayor esta variable mostró oscilaciones importantes; la tendencia fue la de mantener dos períodos: el primero abarcaría los meses de octubre a marzo, donde se registraron grandes fluctuaciones, puesto que para octubre se obtuvo un valor 7.0, el cual se incrementó considerablemente durante noviembre a 8.5 y diciembre a 9.0, continuando su incremento durante los meses de febrero y marzo; en este último mes se registró el máximo valor de todo el ciclo anual para este lago que fue de 12.3. De abril a octubre, que podría considerarse el segundo período, los valores de pH oscilaron entre 8.5 en mayo y 9.8 en octubre.

El Lago Menor presentó las mayores variaciones de esta variable pues en él se registraron el valor mayor y menor del ciclo anual en los tres lagos. Al igual que el Lago Mayor, la variación del pH mostró dos períodos. Para el primer período en octubre se registró el menor valor que fue de 6.9, después de este mes los valores se incrementaron paulatinamente



Media +/- 1 d.e.

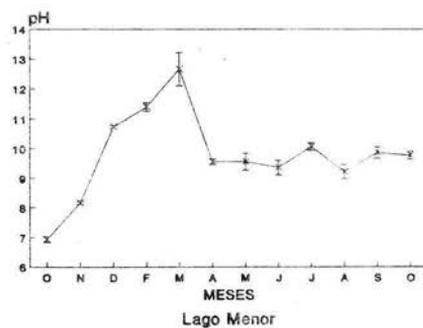


Figura 13. Variación temporal del pH en los lagos

hasta lograr su máximo durante marzo con 12.7; a partir de abril, que inicia el segundo período, las oscilaciones de esta variable fueron pequeñas, ya que los valores fluctuaron entre 9.2 y 10.1. Los muy altos valores de marzo reflejan un proceso fotosintético muy activo. Los lagos además, presentan una baja reserva alcalina y elevada fotosíntesis lo que hace variar fácilmente el pH hacia valores básicos.

Conductividad Específica (K_{25})

En los tres Lagos se observó un comportamiento más o menos semejante (Fig. 14), los valores que se registraron estuvieron entre $132 \mu\text{S cm}^{-1}$ en el Lago Viejo hasta $332 \mu\text{S cm}^{-1}$ para el Lago Mayor. Se observó que en los tres Lagos el menor valor para cada uno correspondió al mes de octubre con $132 \mu\text{S cm}^{-1}$ para el Lago Viejo y $170 \mu\text{S cm}^{-1}$ tanto para el Lago Mayor como para el Menor.

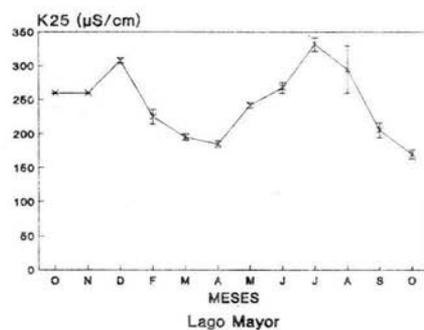
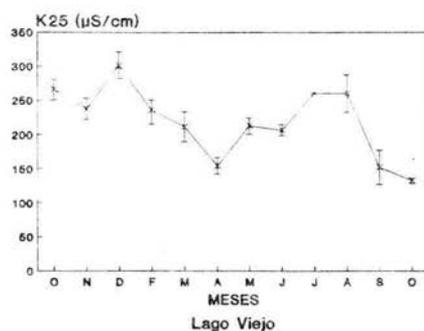
Para el Lago Viejo se registraron valores de 266 y $238 \mu\text{S cm}^{-1}$ para los meses de octubre y noviembre, el máximo valor fue encontrado en diciembre con $302 \mu\text{S cm}^{-1}$, disminuyendo considerablemente, hasta $154 \mu\text{S cm}^{-1}$ en abril, valor que se fue incrementando hasta los meses de julio y agosto donde se obtuvieron $260 \mu\text{S cm}^{-1}$, disminuyendo a $132 \mu\text{S cm}^{-1}$ en octubre, el valor mínimo para este Lago.

En el Lago Mayor durante octubre y noviembre, se obtuvieron valores de $260 \mu\text{S cm}^{-1}$ en ambos meses, aumentando a $308 \mu\text{S cm}^{-1}$ en diciembre, valor que fue disminuyendo hasta $185 \mu\text{S cm}^{-1}$ en el mes de abril, nuevamente este valor se incrementó hasta el valor máximo del ciclo anual de $332 \mu\text{S cm}^{-1}$, durante el mes de julio, que se ve disminuido nuevamente hasta el menor valor de $170 \mu\text{S cm}^{-1}$ durante el mes de octubre.

En el Lago Menor durante el mes de octubre se registró un valor de $233 \mu\text{S cm}^{-1}$, aumentando hasta el mes de febrero con $290 \mu\text{S cm}^{-1}$, cuyo valor disminuye a $197 \mu\text{S cm}^{-1}$ durante abril, nuevamente se observa un incremento a $297 \mu\text{S cm}^{-1}$, a partir de este mes los valores de conductividad van disminuyendo hasta el mes de octubre donde se obtuvo un valor de $170 \mu\text{S cm}^{-1}$ que fue el menor valor del ciclo anual para este Lago.

No se observa claramente algún patrón de comportamiento de esta variable a lo largo del tiempo, como por ejemplo, en relación con la época de sequía y de lluvias. La regulación artificial de la entrada de agua hacia los lagos puede ser la causa de la falta de periodicidad de la variación de la conductividad en los lagos. En todos los casos los valores de conductividad fueron bajos, indicando claramente que las aguas de los lagos están poco mineralizadas y son aguas dulces.

Los resultados de las variables ambientales, en especial de la transparencia y el pH indican el estado eutrófico a hipertrófico de los lagos.



Media \pm 1 d.e.

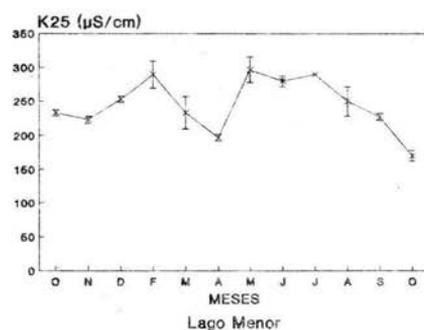


Figura 14. Variación temporal de la conductividad específica en los lagos

Correlaciones entre variables ambientales y el número total de ciliados.

Se realizaron análisis de correlación no paramétrica (coeficiente de correlación por rangos de Spearman) entre los parámetros físicos y químicos (oxígeno disuelto, temperatura, conductividad, pH y transparencia) y el número total de ciliados para cada uno de los Lagos, de los cuales se obtuvo lo siguiente:

En el Lago Viejo el coeficiente de correlación mostró la existencia de una correlación significativa directa (0.3053, $p < 0.05$) entre la temperatura y el número total de ciliados. En el Lago Mayor ninguna de las correlaciones entre los parámetros físicos y químicos y el número total de ciliados fue significativa. Finalmente, para el Lago Menor entre el número total de ciliados y la temperatura el coeficiente de correlación de Spearman fue de 0.3472, es decir, existió una correlación directa significativa ($p < 0.05$). Al igual que en el Lago Viejo, al parecer el número de ciliados se relaciona con el incremento en la temperatura. Adicionalmente se obtuvo en este lago una correlación inversa (-0.5151, $p < 0.05$), entre el número total de ciliados y el pH lo que indica que los valores tan elevados de pH que se presentaron en este lago tuvieron un efecto negativo sobre el número de ciliados.

Los resultados del análisis de correlación apoyan la visión de la influencia de la temperatura sobre la abundancia de los ciliados planctónicos en los Lagos de Chapultepec. El incremento de la temperatura tiene un efecto acelerador sobre la reproducción de los ciliados, además de que éstos responden al aumento de la temperatura con una disminución en su tamaño (Margalef 1983). Los resultados también señalan que los valores extremos de una variable importante como es el pH, tienden a disminuir la abundancia de los ciliados. Como afirman Bick (1972) y Foissner *et al.* (1991, 1992, 1994) una gran cantidad de especies de ciliados no son capaces de sobrevivir en condiciones de pH elevado.

Importancia Biológica de los ciliados en los Lagos de Chapultepec

A pesar de su poca profundidad y su reducido tamaño, los Lagos de Chapultepec son sistemas bastante complejos donde coexisten numerosas especies de muy diversos grupos (Alcocer *et al.* 1993). Dentro del funcionamiento de estos sistemas los ciliados desempeñan varios papeles ecológicos de importancia.

Los ciliados bacterívoros consumen bacterias y controlan el crecimiento de las poblaciones de estos descomponedores que son más numerosos e importantes en sistemas eutróficos. Los ciliados alguívoros son consumidores primarios y aprovechan los elevados números de organismos fitoplanctónicos que existen. Algunos ciliados carnívoros devoran a flagelados y ciliados más pequeños. A su vez los ciliados pueden ser consumidos por los rotíferos y los microcrustáceos, tanto cladóceros como copépodos.

En diversos estudios se ha observado que la dominancia en el macrozooplancton de especies de *Daphnia* de gran tamaño tiene un efecto supresor sobre el zooplancton más pequeño. El nanofitoplancton y los nanoflagelados heterótrofos son también mantenidos en números muy bajos. Unas pocas algas de gran tamaño pueden llegar a convertirse en dominantes. Los

flagelados y ciliados consumen cantidades insignificante de picoalgas. La producción bacteriana es directamente consumida por los cladóceros. En cambio, cuando domina metazooplancton de pequeño tamaño, como cladóceros pequeños y rotíferos, puede encontrarse una alta diversidad y abundancia de fitoplancton y de protozoos fagótrofos (Jürgens 1994). Este es el caso en los Lagos de Chapultepec, en los que las especies de cladóceros presentes pertenecen a géneros de pequeño tamaño como *Moina*, *Alona* y *Leydigia* (Muro 1994) y se encuentran diversos y numerosos rotíferos (Vilaclara y Sládeček 1989). En estas condiciones, los flagelados y ciliados pequeños son los principales consumidores de bacterias y de picoalgas, mientras que los flagelados y ciliados más grandes son consumidores importantes de nanofitoplancton. El metazooplancton contribuye de manera poco significativa al consumo de bacterias. La biomasa del protozooplancton puede alcanzar valores superiores a la del metazooplancton (Jürgens 1994).

Además de lo anterior, según se ha establecido recientemente, los protozoos ciliados pueden ser también consumidos por larvas de peces (Gifford 1991, Lair *et al.* 1994). En los Lagos de Chapultepec se encuentran dos especies que se alimentan de zooplancton: el aterínido *Chirostoma jordani* y el goodeido *Girardinichthys viviparus* (Alcocer *et al.* 1993). Es muy probable que los alevines de estas dos especies, principalmente de *Girardinichthys* que es la más abundante, consuman de manera importante a los ciliados durante sus primeros días de vida.

En la Fig. 15 se presenta un esquema de las principales relaciones tróficas que existen entre los diversos grupos de organismos que habitan en los Lagos de Chapultepec. Puede resaltarse el papel preponderante que tienen los ciliados como consumidores de organismos de menor tamaño y como presas para organismos mayores.

De todo lo anterior se concluye que los protozoos ciliados resultan de gran importancia dentro del funcionamiento trófico de los Lagos de Chapultepec. Constituyen un eslabón para la transferencia de energía desde la cadena de detritos hacia la cadena trófica habitual con los metazoos. Pero también permiten el paso de una importante fracción de la cadena de producción hacia los niveles tróficos superiores, incluyendo a los vertebrados. Es posible que, al menos durante la época cálida, los ciliados constituyan una fuente de alimento de gran importancia para los cladóceros y los alevines de peces que habitan en los Lagos de Chapultepec.

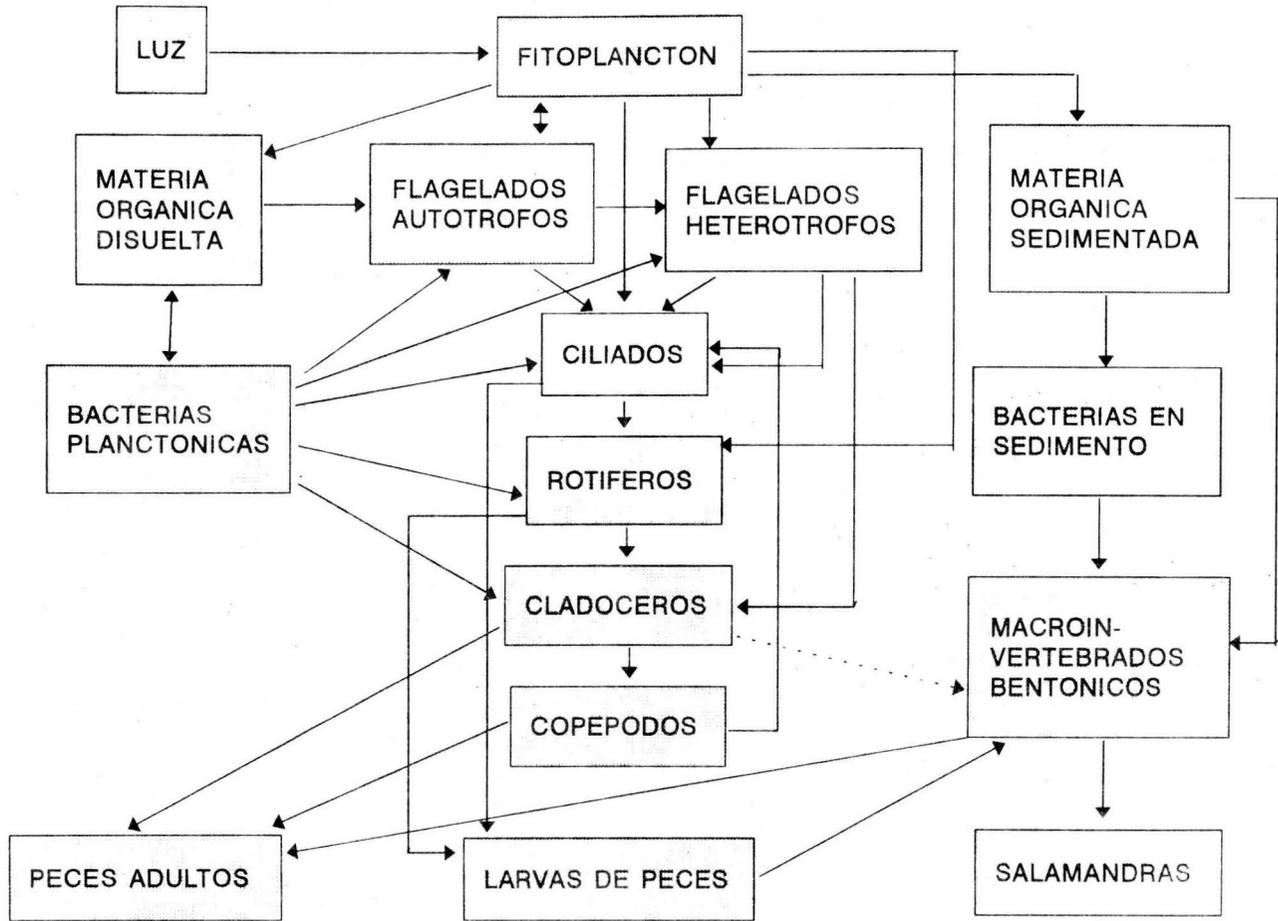


Figura 15. Relaciones tróficas en los Lagos de Chapultepec incluyendo a los microorganismos

C O N C L U S I O N E S

- Se determinaron 30 especies de protozoos ciliados pertenecientes a 22 familias y 23 géneros.

- Las especies dominantes fueron *A. cicada*, *C. glaucoma*, *C. hirtus*, *L. fasciola* y *V. convallaria*. evidentemente estas especies encontraron las condiciones ambientales adecuadas y el tipo de alimento conveniente, principalmente bacterias y algas pequeñas.

- *C. glaucoma* fue el protozoo ciliado más abundante y frecuente, con la más amplia distribución. Esta especie ha sido registrada en un amplio intervalo de condiciones ambientales, característica que resulta una ventaja competitiva con respecto a otras especies

- Existe una elevada similitud en la composición taxonómica de las comunidades de ciliados planctónicos entre los tres lagos.

- No existieron diferencias significativas entre el número de ciliados totales en las estaciones de cada lago a lo largo del año, es decir, el comportamiento espacial en los tres lagos fue muy semejante. Esto se aplica tanto intra como interlagos.

- Se observaron dos épocas claramente diferenciadas a lo largo del año: la primera fría y seca que abarcó los meses de Octubre a Marzo, y la segunda cálida y lluviosa comprendida entre los meses de Abril a Septiembre. Durante la primera época los valores del número total de ciliados y biomasa fueron los más bajos para los tres lagos, en tanto que durante la segunda época las mismas variables tuvieron sus valores más altos.

- La variación temporal de los lagos a través del ciclo anual presentó semejanzas muy importantes en los Lagos Viejo y Menor, es decir, su comportamiento fue muy similar; en tanto que el del Lago Mayor fue diferente, presentando un comportamiento más homogéneo, sin las grandes variaciones a lo largo del tiempo que se presentaron en los otros dos.

- No existió correspondencia entre la contribución de los grupos a la abundancia y la contribución a la biomasa, puesto que algunos grupos numéricamente muy importantes, debido a su pequeño tamaño contribuyeron escasamente a la biomasa; mientras que otros grupos menos numerosos, debido a su gran tamaño aportan una considerable biomasa.

- De acuerdo al número total de ciliados planctónicos, los Lagos de Chapultepec presentaron un estado eutrófico.

- Las variables ambientales que más afectan a la comunidad de ciliados planctónicos de los lagos de Chapultepec fueron la temperatura del agua y el pH.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alcocer, J. 1988. Caracterización Hidrobiológica de los Lagos de Chapultepec, México. Tesis de Maestría (Oceanografía Biológica y Pesquera). UACPYP, ICMYL, UNAM. 89 pp.
- Alcocer-Durand, J. y Escobar-Briones, E. 1992. The aquatic biota of the now extinct lacustrine complex of the Mexico basin. Freshwater Forum. 2: 171-183.
- Alcocer, J., Flores, M.L., Kato, E., Lugo, A. y Escobar, E. 1993. La Ictiofauna remanente del Lago de México. Actas del VI Congreso Español de Limnología. 33: 315-321.
- Arndt, H. 1994. Preface. Mar. Microb. Food Webs 8: 3
- Azam, F., Fenchel, T., Field, J.G., Gray, J.S. Meyer-Reil, R.A. y Thingstad, F. 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. Mar. Ecol. Prog. Serv. 10: 257-263.
- Bamforth, S.S. 1958. Ecological studies on the planktonic protozoa of small artificial pond. Limnol. Oceanogr. 3: 398-412.
- Bamforth, S.S. 1985. Ecology of Protozoa. **En:** Lee, J.J., Hutner, S.H. y Bovee, E.C. (eds.). An Illustrated Guide to the Protozoa. Society of Protozoologist, Kansas. pp. 7-12.
- Barica, J. 1980. Why Hypertrophic Ecosystems ?. **En:** Barica, J. y Mur, L.R. (eds.) Hypertrophic Ecosystems. Developments in Hydrobiology. Dr. W. Junk Publishers, La Haya. ix-xi.
- Bragg, N.A. 1960. An ecological study of the protozoa of Crystal Lake, Norman, Oklahoma. The Wasmann Journal of Biology 18: 37-85.
- Beaver, J.R. y Crisman, T.L. 1982. The trophic response of ciliated protozoans in freshwater lakes. Limnol. Oceanogr. 27: 246-253.
- Beaver, J.R., Crisman, T.L. y Bienert, R.W. Jr. 1988. Distribution of planktonic ciliates in highly coloured subtropical lakes: Comparison with clear water ciliate communities and the contribution of mixotrophic taxa to total autotrophic biomass. Freshwat. Biol. 20: 51-60.
- Belova, S.L. 1989. Seasonal changes in composition of the infusoria of Mozhaysk reservoir. Hidrobiol. J. 25: 27-31.
- Bick, H. 1972. An illustrated Guide to Ciliated Protozoa used as biological indicators in freshwater ecology. W. H. O. Ginebra. 198 pp.

- Canter, H.M., Walsby, A.E., Kinsman, R. e Ibelings, B.W. 1992. The Effect of Attached Vorticellids on the Buoyancy of the Colonial Cyanobacterium *Anabaena lemmermannii*. Br. phycol. J. 27: 65-74.
- Corliss, J.O. 1979. The ciliated protozoa. Characterization, classification and guide to the literature. 2a. ed. Pergamon Press, Cambridge. 455 pp.
- Crisci, J.V. y López, A.Ma.F. 1983. Introducción a la Teoría y Práctica de la Taxonomía Numérica. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, Washington, D. C. 132 pp.
- Crisman, T.L., Beaver, J.R. y Bays, J.S. 1981. Examination of the relative impact of microzooplankton and macrozooplankton on bacteria in Florida Lakes. Int.Ver. Theor. Angew. Limnol. Vehr. 21: 359-362.
- Curds, C.R. 1969. An illustrated key to the British Freshwater ciliated Protozoa commonly found in activated sludge. Water Pollution Research Technical Paper No. 12, Londres. 90 pp.
- Curds, C.R. 1982. British and Other Freshwater Protozoa. Part 1. Ciliophora: Kinetofragminophora. Cambridge University Press, Cambridge. 387 pp.
- Curds, C.R., Gates, M.A. y Roberts, D.McL. 1983. British and Other Freshwater Protozoa. Part 2. Ciliophora: Oligohymenophora and Polyhymenophora. Cambridge University Press, Cambridge. 474 pp.
- Fenchel, T. 1987. Ecology of Protozoa. The Biology of Free-Living Phagotrophic Protist. Science Tech Publishers y Springer-Verlag, Michigan. 197 pp.
- Fernández-Galiano, D. 1976. Silver impregnation of protozoa: procedure yielding good results with pyridinated silver carbonate method. Trans. Amer. Microscop. Soc. 95: 557-560.
- Finlay, B.J. 1978. Community production and respiration by ciliated Protozoa in the benthos of a small eutrophic loch. Freshwater Biol. 8: 327-341.
- Finlay, B.J. 1992. Plankton sampling-freshwater. En: Lee, J. J. y Soldo, A. T. (eds.). Protocols in Protozoology. Society of Protozoologists, Kansas. B1.1-B1.5.
- Finlay, B.J., Rogerson, A. y Cowling, A.J. 1988. A beginners guide to the collection, isolation, cultivation and identification of freshwater protozoa. Natural Environment Research Council (CCAP), Windermere. 78 pp.
- Flores, M.L. 1991. Contribución al conocimiento de la Ictiofauna de los tres Lagos de Chapultepec México, D.F. Tesis de Licenciatura (Biología). ENEP Iztacala, UNAM. 79

pp.

- Foissner, W. 1988. Taxonomic and nomenclatural revision of Sládeček's list of ciliates (Protozoa: Ciliophora) as indicators of water quality. Hydrobiologia 166: 1-64.
- Foissner, W. 1991. Basic light and scanning electron microscopic methods for taxonomic studies of ciliated protozoa. Europ. J. Protistol. 27: 313-330.
- Foissner, W. 1994. Progress in taxonomy of planktonic freshwater ciliates. Mar. microb. Food Webs 8: 9-36
- Foissner, W., Blatterer, H., Berger, H. y Kohmann, F. 1991. Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems. Band I: Cyrtophorida, Oligotrichida, Hypotrichia, Colpodea. Informationsberichte des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, Munich, 1/91. 478 pp.
- Foissner, W., Berger, H. y Kohmann, F. 1992. Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems. Band II: Peritrichia, Heterotrichida, Odontostomatida. Informationsberichte des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, Munich, 5/92. 502 pp.
- Foissner, W., Berger, H. y Kohmann, F. 1994. Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems. Band III: Hymenostomata, Prostomatida, Nassulida. Informationsberichte des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, Munich, 1/94. 548 pp.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. E. García (ed.), México. 217 pp.
- García de León, A. 1988. Generalidades del Análisis de cúmulos y del análisis de componentes principales. Divulgación geográfica No. 8. Instituto de Geografía, Unam. México.
- Gates, M.A. 1984. Quantitative importance of ciliates in the planktonic biomass of lake ecosystems. Hydrobiologia 108: 233-238.
- Gates, M.A. y Lewg, U.T. 1984. Contribution of ciliated protozoa to the planktonic in a series of Ontario lakes: quantitative estimates and dynamical relationships. J. Plankton Res. 6: 443-456.
- Gifford, D.J. 1991. The protozoan-metazoan trophic link in pelagic ecosystems. J. Protozool. 38: 81-86.
- González de Infante, A. 1988. El Plancton de las Aguas Continentales. Monografías Científicas, Serie de Biología No. 33. Secretaría General de los Estados Americanos,

Washington, D.C.

- Green, R.H. 1975. Sampling design and statistical methods for environmental biologists. Wiley-Interscience, Toronto. 257 pp.
- Johannes, R.E. 1965. Influence of marine protozoa on nutrient regeneration. Limnol. Oceanogr. 10: 434-442.
- Jürgens, K. 1994. Impact of *Daphnia* on planktonic microbial food webs - A review. Mar. Microb. Food Webs. 8(1-2): 295- 324.
- Kahl, A. 1930-1935. Urtiere Order Protozoa. I Wimpertiere oder Ciliata (Infusoria), eine Bearbeitung der freilebenden und ectocommensalen Infusorien der Erde, unter Ausschluss der marinen Tintinnidae. **En:** Dahl, F. Die Tierwelt Deutschlands. Teil 18(1930), 21(1931), 25(1932), 30(1935). Gustav Fisher, Jena. 886 pp.
- Kudo, R. 1982. Protozoología. CECSA. México. 905pp.
- Lair, N., Leveille, J.C., Reyes-Marchant, P. y Taleb, H. 1994. The feeding of a larval fish, *Lebistes reticulatus*, on ciliates and rotifers. Mar. Microb. Food Webs. 8: 337-345.
- Lee, J.J., Hutner, S.H. y Bovee, E.C. 1985. An illustrated guide to the protozoa. Society of Protozoologists, Kansas. 629 pp.
- Laybourn-Parry, J. 1992. Protozoan Plankton Ecology. Chapman & Hall, Londres. 231 pp.
- Laybourn-Parry, J. 1994. Seasonal successions of protozooplankton in freshwater ecosystems of different latitudes. Mar. Microb. Food Webs. 8: 145-162.
- Laybourn-Parry, J., Olver, J., Rogerson, A. y Duverge, P.L. 1990. The temporal and spatial patterns of protozooplankton abundance in a eutrophic temperate lake. Hydrobiologia. 203: 99-110.
- López-Ochoterena, E. 1965. Ciliados mesosapróbicos de Chapultepec (Sistemática, Morfología y Ecología). Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 26: 115-247.
- López-Ochoterena, E. 1970. Historia de las investigaciones sobre protozoarios de vida libre de México. Rev. Soc. Mex. His. Nat. 21: 115-247.
- López-Ochoterena, E. y Barajas, E. 1963. Protozoarios ciliados de México. IV. Morfología y Sistemática de dos especies de protozoarios succionadores de Chapultepec. Rev. Soc. Mex. His. Nat. 24: 1-15.
- López-Ochoterena, E. y Barajas, E. 1964. Protozoarios ciliados de México. VIII. Morfología

- comparada de dos especies de Euplotes (Ciliata. Hypotrichida). Rev. Brasil Biol. 24: 139-146.
- López-Ochoterena, E. y Roure-Cane, M.T. 1970. Lista Taxonómica comentada de protozoarios de vida libre de México. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 31: 23-68.
 - López-Ochoterena, E. y Madrazo-Garibay, M. 1971. Protozoarios ciliados de México. XVIII. Ophrydium hazele sp. nov. (Perytrichidae, Sessilina). Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 21: 23-68.
 - Macek, M. 1991. Distribution of ciliates in the Rimov reservoir. Proceedings of the Carbon cycling measurements workshop. Helsingor. s/p.
 - Macek, M., Vilaclara, G. y Lugo, A. 1994. Changes in protozoan assemblage structure and activity in a stratified tropical lake. Mar. Microb. Food Webs. 8: 235-250.
 - Madrazo-Garibay, M. y López-Ochoterena, E. 1982. Segunda Lista taxonómica de Protozoarios de vida libre de México. Rev. Lat. de Microbiol. 24: 281-295
 - Mathes, J. y Arndt, H. 1994. Biomass and composition of protozooplankton in relation to lake trophy in north German lakes. Mar. Microb. Food Webs. 8: 357-375.
 - Muro, G. 1994. Contribución al conocimiento de la distribución y abundancia de los cladóceros en los tres lagos de Chapultepec. Tesis licenciatura (Biología) ENEP Iztacala, UNAM. 80 pp.
 - Müller, H., Geller, W. y Schön, A. 1991. Pelagic ciliates in Lake Constance: Comparison of epilimnion and hypolimnion. Verh. Internat. Verein. Limnol. 24: 846-849.
 - Noland, L.E. 1959. Ciliophora. En: Edmonson, W. T. (ed.). Fresh Water Biology. 2a. Ed. W. T. Wiley, Nueva York. pp. 265-297.
 - Pace, M.L. y Orcutt, J.D.Jr. 1981. The relative importance of protozoans, rotifers and crustaceans in freshwater zooplankton community. Limnol. Oceanogr. 26: 822-830.
 - Pace, M.L. 1982. Planktonic ciliates: their distribution, abundance and relationships to microbial resources in a monomictic lake. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 39: 1106-1116.
 - Porter, K.G., Pace, M.L. y Battey, J.F. 1979. Ciliated protozoans as links in freshwater planktonic food chain. Nature 277: 563-565.
 - Salbrechter, M. y Arndt, H. 1994. The annual cycle of protozooplankton in the alpine, mesotrophic Lake Mondsee (Austria). Mar. Microb. Food Webs. 8: 217-234.

- Schönberger, M. 1994. Planktonic ciliated protozoa of Neusiedler See (Austria/Hungary) - a comparison between the turbid open lake and a reedless brown-water pond. Mar. Microb. Food Webs, 8: 251-263.
- Shumann, R. y Schiewer, U. 1994. Influence of abiotic induced phytoplankton changes on protozoan communities from the Drass-Zingst Bodden Chain (Germany). Mar. Microb. Food Webs, 8: 265-282.
- Schweizer, A. 1994. Seasonal dynamics of planktonic Ciliophora along a depth transect in Lake Constance. Mar. Microb. Food Webs, 8: 283-293.
- Sorokin, Y.I. 1972. Biological productivity of the Rybinsk Reservoir. p. 439-502. En: Kajak Z. y Hillbricht A.- Il Kowska (eds.) Productivity problems of Freshwaters, Pol. Sci.
- Steel, R.G.D. y Torrie, J.H. 1988. Bioestadística: Principios y Procedimientos. McGraw-Hill, México. 622 pp.
- S.P.P. 1983. Carta Turística. Centro II Ciudad de México.
- Taylor, W. D. y Johannsson, O. E. 1991. A comparison of estimates of productivity and consumption by zooplankton for planktonic ciliates in Lake Ontario. J. Plankton Res. 13: 363-372.
- Vilaclara, G. y Sládeček, V. 1989. Mexican rotifers as indicators of water quality with description of *Collotheca riverae*, n. sp. Arch. Hydrobiol. 115: 257-263.
- Weisse, T. 1990. Trophic interactions among heterotrophic microplankton, nanoplankton and bacteria in Lake Constance. Hydrobiologia 191: 111-122.
- Wetzel, R.G. 1975. Limnology. W.B. Saunders Co., Filadelfia. 743 pp.
- Wetzel, R.G. y Likens, G.E. 1979. Limnological Analyses. W.B. Saunders Co., Filadelfia. 357 pp.

ANEXO 1

Ubicación de las especies de ciliados planctónicos de Chapultepec de acuerdo con los grupos taxonómicos de Corliss (1979) y biovolumen promedio calculado para cada especie

	Biovolumen μm^3
Prostomatida	
<i>Coleps hirtus</i>	15500
<i>Holoprya simplex</i>	3300
Haptorida	
<i>Lacrymaria olor</i>	3280
<i>Trachelophyllum pusillum</i>	2290
Pleurostomatida	
<i>Litonotus fasciola</i>	30410
Colpodida	
<i>Cyrtolophosis</i> sp.	1150
<i>Bursaria truncatella</i>	4644460
Cyrtophorida	
<i>Trithigmostoma cucullulus</i>	6580
<i>Chilodonella uncinata</i>	4150
<i>Trochilia minuta</i>	470
Suctorida	
<i>Podophrya fixa</i>	5580
Hymenostomatida	
<i>Tetrahymena pyriformis</i>	6800
<i>Glaucoma setosa</i>	4960
<i>Paramecium caudatum</i>	101787
<i>Paramecium trichium</i>	10621
<i>Paramecium multimicronucleatum</i>	287410
Scuticociliatida	
<i>Cyclidium glaucoma</i>	1360
<i>Cinetochilum margaritaceum</i>	6335

	Biovolumen
	μm^3
Peritrichida	
<i>Propyxidium</i> sp.	14890
<i>Scyphidia</i> sp.	71570
<i>Vorticella convallaria</i>	14530
<i>Vorticella campanula</i>	178160
<i>Vorticella octava</i>	1770
<i>Vorticella microstoma</i>	2160
Oligotrichida	
<i>Strobilidium</i> sp.	14780
<i>Halteria grandinella</i>	3050
Hypotrichida	
<i>Aspidisca cicada</i>	2660
<i>Aspidisca cf. bengalensis</i>	370
<i>Aspidisca lynceus</i>	2930
<i>Stylonychia mytilus</i>	15400