

43



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales  
IZTACALA.

"Estudio de la variación temporal y vertical de los protozoos ciliados  
planetónicos en la columna de agua del lago Atchichica, Puebla."

T I S I S

que para obtener el título de

B i ó l o g a

p r e s e n t a :

María Soledad/García de la Cabada.

Director: Dr. Alfonso Lugo Vázquez.

Los Reyes Iztacala. edo. de Méx.

2001



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.

*Con todo cariño, dedico esta tesis*

*A Andrea, el más grande y tierno regalo  
de amor que Dios me ha dado*

*A mis padres, que con su amor y apoyo incondicional,  
contribuyeron en gran medida a este logro.*

*A mis hermanos, Rosy, Raji, José, Laura, Mario, Tere, Pablo,  
Luz y Carmen, con quienes cuento en todo momento.*

*GRACIAS.*

## *Agradezco*

*A Dios, por permitirme conocer su grandeza  
a través de la pequeñez del microcosmos*

*A Dr. Alfonso Lugo, por su paciencia y atinada dirección en la elaboración  
de este trabajo, pero sobre todo, por su amistad.*

*A mis amigos Dra. Rosario Sánchez, Dr. Javier Alcocer, Dr. Salvador Rodríguez,  
Biol. Mario Chávez, por su amistad y consejos, y por las observaciones  
y comentarios con que contribuyeron a mejorar este trabajo*

*A todos los que participan en el proyecto CyMA, que de una manera u otra, también  
contribuyeron a la elaboración de este trabajo y me hicieron la vida más amable.*

*A todos los profesores que, a lo largo de mi vida, dieron lo mejor de sí  
para mi formación académica, profesional y personal.*

*Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo financiero  
brindado a través de los proyectos n° 25430-T y 34893-T, a cargo del Dr. Javier Alcocer.*

**INDICE:**

1.- Resumen.	i
2.- Introducción.	1
3.- Objetivos.	6
4.- Antecedentes.	6
5.- Área de estudio	8
6.- Material y métodos.	12
7.- Resultados y discusión:	
A).- Condiciones ambientales del Lago.	13
B).- Distribución temporal de los ciliados.	16
C).- Distribución vertical de los ciliados.	19
D).- Composición taxonómica de las comunidad de ciliados.	21
E).- Relaciones interespecíficas.	26
8.- Conclusiones.	27
9.- Referencias.	38
10.- Anexo.	45

## RESUMEN

En los años recientes los microorganismos, incluyendo a los protistas, han sido incorporados con un papel central dentro del modelo de la red trófica del plancton, tanto en ambientes marinos como dulceacuícolas. Sin embargo, en lagos salinos se han realizado muy pocos estudios al respecto. Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como finalidad conocer la composición y la variación tanto temporal como a lo largo de la columna de agua, de los ciliados planctónicos del lago salino de Alchichica, Puebla, y su posible relación con algunas variables ambientales seleccionadas.

Se realizaron 12 muestreos mensuales, de agosto de 1993 a agosto de 1994 (a excepción de julio de '94), en una estación ubicada en la zona más profunda del lago, a 0, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 40 50 y 60m de profundidad. Los parámetros físicos y químicos de temperatura, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, conductividad específica y pH se midieron *in situ* por medio de una Sonda Multisensor, marca Hydrolab. Las muestras biológicas se fijaron con acetato de lugol y los ciliados se contaron en una cámara Sedgwick-Rafter, con microscopía de contraste de fase. Los datos obtenidos indican que se trata de un lago oligo-mesotrófico, monomítico, cálido, hiposalino y alcalino, con dos épocas claramente definidas: circulación (dic-mzo) y estratificación (abr-nov). El ciclo anual de densidad de ciliados mostró un patrón con un pico (3,000 org.l<sup>-1</sup>) al principio de la época de estratificación (mayo) y un máximo (4,000 org.l<sup>-1</sup>) a mediados de la misma (agosto), con bajas concentraciones (350 org.l<sup>-1</sup>) durante el período de circulación (feb). La máxima riqueza específica (16 taxa) se presentó en septiembre, cuando el lago se encontraba plenamente estratificado. Las densidades de ciliados fueron similares a las de otros lagos oligotróficos, especialmente de las regiones tropicales y subtropicales. Entre agosto de '93 y agosto de '94 se detectaron algunas diferencias en las condiciones ambientales que se reflejaron, sobre todo, en la densidad de ciliados, ya que en '94 la densidad fue considerablemente superior (>3,500org.l<sup>-1</sup>) que en '93 (>1,200 org.l<sup>-1</sup>). En cuanto a la distribución vertical, la mayor concentración de ciliados (>3,000 org.l<sup>-1</sup>) se presentó entre los 15 y 30m en la época de estratificación, coincidiendo con la zona metalimnética y con condiciones de anoxia en el hipolimnion. La distribución temporal y vertical de los ciliados estuvo determinada, aparentemente, por los procesos de estratificación y mezcla del lago, así como por la posición de la termoclina y la oxiclina.

La comunidad de ciliados planctónicos estuvo integrada por 24 taxa, pertenecientes a 11 familias, principalmente. Los taxa dominantes fueron: *Cyclidium* sp., *Vorticella* del complejo *aquadulcis*, *Halteria* sp., *Rhabdostyla* sp., *Chilodonella* sp., un Hipotrico, un Holotrico y un Cirtoforido. Un taxa es constante: *Limnastrombidium* sp., y el resto son raros. Predominaron los grupos de ciliados bacterívoros, aunque organismos alguívoros, que pueden ser mixotróficos, también estuvieron presentes. El género que apareció con mayor frecuencia fue *Cyclidium* sp., pero *Vorticella* del complejo *aquadulcis* fue el que presentó la mayor densidad total (>46,000org.l<sup>-1</sup>). Taxa como *Bursellopsis* sp., *Mesodinium* sp., *Litonotus* sp. y un holotrico, además de *Vorticella* del complejo *aquadulcis*, *Loxodes* sp., un cirtoforido y un hipotrico grande únicamente se encontraron en la época de estratificación. Prácticamente no hubo taxa exclusivos de la época de circulación.

# **Estudio de la variación temporal y vertical de los protozoos ciliados planctónicos en la columna de agua del lago Alchichica, Puebla.**

## **INTRODUCCIÓN.**

La comprensión de la estructura y función de los ecosistemas pelágicos ha cambiado dramáticamente durante las últimas décadas. Hasta principios de los años 70's, el punto de vista general sostenía que el plancton tenía una estructura piramidal simple, siendo el fitoplancton explotado por el zooplancton, principalmente formado por microcrustáceos, que a su vez proveían de una fuente de energía a peces y mamíferos marinos, por lo que se consideraba que los microcrustáceos y otros elementos jugaban el papel principal en la transferencia de energía a través de la cadena de alimentos. Varias ideas interesantes comenzaron a desarrollarse a fines de la década de los 60's, impulsando una nueva inquietud sobre la red de alimentos clásica: Johannes (1964) sugirió que los protozoarios (microheterótrofos) eran más importantes que los copépodos en la remineralización; Steele (1974) planteó la teoría de que la producción primaria marina estimada hasta entonces era demasiado pequeña para sostener los niveles de captura de peces registrados; Pomeroy (1974) fue uno de los primeros en sugerir que las bacterias deberían incluirse en la red de alimentos marina; Sorokin (1971 y 1981) argumentó que los microorganismos debían desempeñar un papel dinámico y central en la redes de alimentos.

Actualmente, el modelo clásico de la cadena de alimentos en el plancton ha sido reemplazado por un paradigma que reconoce la importancia de los microorganismos. Ahora se han incorporado los niveles tróficos "microbianos", incluyendo bacterias y protozoos, cuya actividad es fundamental en los procesos ecológicos del flujo de energía y el reciclamiento de los nutrimentos esenciales (Gifford, 1991).

El término "circuito microbiano" (microbial loop), propuesto en primera instancia por Azam *et al.* (1983), describe la función ecológica de los microorganismos en las cadenas de alimentos pelágicas. El circuito microbiano consta de una serie de niveles tróficos adicionales en una cadena de alimentos donde los metazoarios y los protozoos compiten por los mismos recursos alimenticios. Gifford (1991) sugiere que el circuito microbiano no opera como una entidad separada, sino que funciona en conjunto con el fitoplancton, como una vía de mayor reciclamiento en el ecosistema pelágico. El fitoplancton y los organismos del circuito microbiano, juntos, alimentan a la cadena clásica de alimentos (Gifford, 1991; Laybourn-Parry, 1994).

La categoría de tamaño que Sieburth *et al.* (1978, citado por Gifford, 1991) designaron como microzooplancton ( $>20 < 200 \mu\text{m}$ ) abarca un grupo taxonómicamente diverso de organismos que tienen en común primordialmente su tamaño, incluyendo a protozoarios planctónicos, rotíferos y estadios larvales y nauplio del ciclo de vida de varios metazoarios. En adición a la diversidad taxonómica, el microzooplancton es tróficamente diverso y realiza múltiples funciones en los ecosistemas pelágicos: son consumidores de fitoplancton y bacterias, recicladores de nutrimentos, productores primarios y presas para consumidores de niveles superiores (Gifford, 1991).

El microzooplancton (en general) y los protozoos (en particular) están implicados como un eslabón trófico para los metazoarios consumidores, ya que las presas de los protozoarios, tales como bacterias y picofitoplancton, son tan pequeñas que no son accesibles para la mayoría de los metazoarios (Gifford, 1991). Diversos trabajos alrededor del mundo han confirmado la idea de que el protozooplancton no sólo constituye una parte significativa de la biomasa planctónica sino que, además, desempeña una función principal en el flujo de energía y reciclado de nutrimentos fundamentales. La revisión de trabajos de sistemas dulceacuícolas y marino realizada por Gifford (1991) indica que, a nivel ecosistema y bajo algunas condiciones, los protozoos ciliados y otro microplancton pueden ser un alimento de buena calidad y constituyen una fracción significativa del alimento ingerido por consumidores del mesoplancton, que incluye cladóceros, copépodos (calanoideos y ciclopoideos) y rotíferos. Por esta vía, a la que Gifford denominó "reempaquetado trófico", la energía fijada durante la producción primaria se mueve hacia niveles más altos en la red alimentaria: los protozoos planctónicos "reempaquetan" a sus presas (bacterias y picofitoplancton) en partículas accesibles, una fracción de la producción bacteriana consumida y reempaquetada por estos microheterótrofos y sus presas es transferida al componente del mesozooplancton (Gifford, 1991). Actualmente se acepta que alrededor de la mitad de la producción primaria pasa a través de los protozoarios microheterótrofos antes de la mineralización (Williams, 1981; Pomeroy y Wiebe, 1988, citados en Laybourn-Parry, 1992).

La clave de la importancia de los protozoos recae sobre su pequeño tamaño y sus elevadas tasas metabólicas específicas, ya que los organismos pequeños tienen potencial para un rápido crecimiento y un coeficiente metabólico alto, que resultan en una rápida transferencia de energía y reciclado de nutrimentos, tales como fósforo y nitrógeno (Laybourn-Parry, 1992, 1994; Fenchel, 1987). Los ecosistemas naturales son desiguales en tiempo y espacio. En tales ambientes heterogéneos, el tamaño del cuerpo y los potenciales de crecimiento se convierten en parámetros de nicho. Debido a su potencial de crecimiento, las poblaciones de protozoarios pueden aprovechar rápidas fluctuaciones en los niveles de los recursos y, debido a su pequeño tamaño, pueden explotar "parches" de recursos muy pequeños (Fenchel, 1987).

Los protozoos muestran complejas estrategias de comportamiento, fisiología y ciclos de vida que igualan a las de los organismos planctónicos mayores. Un aspecto de su metabolismo que contribuye a su éxito como grupo, principalmente entre los



Oligotricos, y es muy significativo en el reciclado del carbono en aguas planctónicas, es el fenómeno de "mixotrofia". Literalmente, significa "nutrición mixta", e involucra cierto grado de autotrofia combinado con heterotrofia. En los ciliados, la mixotrofia puede ser de 2 tipos. La mixotrofia organelar, que consiste en el "secuestro" de plástidos de los fitoflagelados que capturan. El ciliado se alimenta de fitoflagelados y, mientras los digiere, retiene los plástidos y los utiliza para fijar carbono mediante la fotosíntesis. Los plástidos funcionan dentro del ciliado, pero no se replican y, por tanto, eventualmente tienen que ser reemplazados. En contraste, la mixotrofia celular implica una relación simbiótica entre un ciliado y un autótrofo endosimbionte. En esta situación, el endosimbionte se reproduce junto con el ciliado. Cuando la energía para crecer no se puede obtener únicamente de la ingesta de las partículas de alimento dispersas, los fotosintatos trasladados desde los plástidos o los endosimbiontes, permiten que la célula siga creciendo y pueda sobrevivir. Es claro que estos ciliados pueden representar un impacto significativo en la fijación de carbono y el flujo de energía (Laybourn-Parry, 1992). Foissner *et al.* (1999) consideran que un alto porcentaje (23%) de especies de ciliados euplanctónicas son mixotróficas, y que esta es una adaptación importante para la vida planctónica. Estos autores también afirman que los ciliados mixotróficos son comunes en agua dulce, pero raros en el mar y que a menudo están asociados a la picnoclina o a capas micro-oxigenadas.

La complejidad de estas interacciones indica que una mezcla de factores, tanto bióticos como abióticos, es de suma importancia en la determinación de la sucesión estacional de la composición y abundancia específicas del protozooplancton. (Laybourn-Parry, 1994). La cantidad de protozoarios y su actividad frecuentemente no están distribuidos homogéneamente en la columna de agua. Un pico en la distribución de los protozoarios coincide con la presencia de fuentes alimenticias en capas de agua, tales como en la termoclina y la oxiclina, donde se lleva a cabo la descomposición de la producción primaria (Taylor y Haynen, 1987, Fenchel *et al.*, 1990, Dolan y Coats, 1990, citados por Macek *et al.*, 1994; Laybourn-Parry *et al.*, 1990; Macek, 1994).

Según Foissner *et al.* (1999), es muy probable que los cambios estacionales más fuertes para la comunidad pelágica estén relacionados con varios factores: la estratificación del lago; la incidencia estacional de depredadores, especialmente rotíferos y crustáceos; y la alta variación de los recursos alimenticios.

Dentro del ambiente acuático, la existencia de los ciliados requiere de ciertos intervalos de factores físicos y químicos, que funcionan como controladores de su distribución temporal: incidencia de la luz solar, duración del día, cantidad y calidad de alimento disponible, concentración de oxígeno, pH, potencial redox (Eh), precipitación pluvial, temperatura, concentración de iones, etc. (Fenchel, 1987; Finlay, 1980). Laybourn-Parry (1992, 1994) afirma que existen diferentes patrones del número de ciliados del plancton como resultado del estado trófico de los lagos y su ubicación latitudinal. Por ejemplo, la zona eufótica, donde ocurre la producción primaria, se extiende desde la superficie del agua hasta la profundidad en que sólo el

1% de la intensidad luminosa superficial penetra; esta profundidad, en un lago determinado, variará en función de los ciclos diarios y estacionales. En un lago eutrófico, donde hay una gran concentración de materia disuelta y particulada, incluyendo las células del fitoplancton, la zona eufótica puede ser tan solo 2-5m de profundidad, mientras que en un lago oligotrófico con su baja cantidad de nutrimentos, la zona eufótica puede extenderse decenas de metros.

Los cambios temporales y espaciales en la distribución de los microorganismos dentro de la comunidad planctónica de los lagos ha atraído el interés de los limnólogos, conforme se ha demostrado la importancia del circuito microbiano en este ambiente (Macek *et al.*, 1994). Sin embargo, las investigaciones sobre protozooplancton dulceacuícola se han rezagado en relación con los estudios marinos no sólo en cuanto a datos de campo sobre abundancia y composición de especies, sino también en cuanto a procesos como el flujo de energía y regeneración de nutrimentos. De hecho, existe más información sobre el protozooplancton marino debido a que la mayoría de los trabajos pioneros fueron realizados en este ambiente o con especies marinas. Por ello, el punto de vista sobre los ecosistemas planctónicos está basado principalmente en estos estudios, pero parece ser aplicable también a ambientes dulceacuícolas. Según Laybourn-Parry *et al.* (1990), unos cuantos estudios de los años 60's y 70's demostraron la presencia de un plancton protozoológico significativo en lagos eutróficos y oligotróficos, y señalan que hay cierta cantidad de paralelismos interesantes entre los grupos de protozooplancton dulceacuícolas y marinos (Laybourn-Parry *et al.*, 1990; Laybourn-Parry, 1992; Gifford, 1991).

En México, este tipo de investigaciones han sido muy limitadas y con una perspectiva principalmente taxonómica. En la recopilación efectuada por López-Ochoterena (1970), se mencionan estudios de protozoos, principalmente planctónicos, en diversos cuerpos de agua del Valle de México, como son: el Lago de Xochimilco, la Laguna de San Pedro Xochiltepec, en Puebla, las Lagunas de Zempoala, los Lagos de Pátzcuaro y Zirahuen y en pequeñas fuentes y el Lago Viejo de Chapultepec. Si bien los estudios en cuerpos de agua dulce mexicanos son limitados, para el caso de los lagos salinos de México son casi inexistentes (Alcocer y Hammer, 1998).

La mayor parte del agua se encuentra en los océanos (97.6%), mientras que cantidades relativamente pequeñas de ella (0.017%) componen lagos dulceacuícolas, lagos salinos y ríos. A pesar de ello, el volumen total de agua en los lagos salinos no es menor que el del agua dulce (Wetzel, 1975, citado en Alcocer y Williams, 1993). Los lagos salinos son, en la mayoría de los casos, la fase terminal de las cuencas de drenaje endorréico y, por ende, su distribución está asociada a la de las cuencas internas. Su alcance latitudinal es amplio y representa, en cierto modo, la ubicación de las regiones áridas y semiáridas, en ambos hemisferios (Alcocer y Williams, 1993).

Más del 50% de México se caracteriza por ecosistemas de zonas áridas y semiáridas y la distribución del agua salina en el país es muy amplia. Prácticamente en todos los estados se encuentran lagos, ríos, manantiales o pozos con elevado contenido de sales y, de los 8 lagos más grandes de México, 4 son salinos (Cuitzeo, Michoacán; Totolcingo, Puebla-Tlaxcala; Sayula, Jalisco; Texcoco, México), aunque la superficie y volumen de estos es muy variable (Alcocer y Williams, 1993; Alcocer y Hammer, 1998).

Según Alcocer y Williams (1993), los lagos salinos en general, han sido desdeñados y calificados como "vastas áreas desperdiciadas de agua inservible", en parte, por no ser "buenos" para la obtención de agua potable y, por lo tanto, "no merecen ser considerados como un sitio de interés de conservación". Sin importar la falta de atención que se les presta, los lagos salinos son un componente muy importante de la biosfera y su uso y valor como ecosistema es innegable. Sin embargo, en un grado considerable, estos usos y valores han sido y están siendo degradados por diversos agentes (Alcocer y Williams, 1993).

Por sus valores culturales, estéticos y recreativos, muchos de los lagos salinos reciben un sinnúmero de visitantes y, los más profundos, son muy solicitados para el buceo en altitud (p.e. Alchichica y Atexcac, en el estado de Puebla, cuya profundidad excede los 40m y se encuentran a altitudes superiores a los 2,000 msnm). Desde el punto de vista económico, son fuente de minerales (sal común, litio, uranio), de proteína animal (cultivo de peces de importancia comercial) y de productos bioquímicos (cultivo de organismos halobiontes, como *Artemia*, *Spirulina*, *Dunaliella*). Diversas disciplinas científicas se benefician del estudio de los lagos salinos (Alcocer y Williams, 1993).

Se reconoce que la salinidad es un factor primario en la determinación de la composición y distribución comunitaria y que los organismos acuáticos son capaces de habitar en un amplio intervalo de salinidad (Alcocer y Williams, 1993). Los organismos protista, según Wetzel (1981), conservan una eurihalinidad evolutiva considerable, es decir, se adaptan a un gran espectro de salinidad, por lo que presentan una distribución amplia con respecto a este factor. Dentro de este intervalo de salinidades, la depredación, la disponibilidad de alimento, la competencia y otras formas de interacción biológica y, posiblemente, otros factores producto de las interacciones entre factores físicos y químicos (incluyendo la salinidad misma), más que la salinidad *per se*, parecen ser lo que determina las tasas de extinción o persistencia y, en última instancia, la diversidad biológica de estos sistemas (Colburn, 1988 y Williams *et al.*, 1990, citados en Alcocer y Williams, 1993).

Considerando que los lagos salinos son un recurso importante y poco conocido en México, es preciso comprender su ecología para un mejor aprovechamiento y conservación de los mismos. El presente es parte de toda una serie de estudios enfocados a la comprensión de la ecología de un lago hiposalino (Alchichica, Puebla), que es un tanto diferente a la mayoría de los lagos salinos por su profundidad (más de 40m), puesto que Alcocer y Williams (1993) afirman que en su mayoría, estos

lagos son someros. Por otro lado, Foissner *et al.* (1999) señalan que prácticamente no hay estudios sobre ciliados de lagos salinos y, dada la importancia del circuito microbiano y de los protozoos (particularmente de los ciliados) dentro de éste, se hace necesario conocer la estructura y variación del protozooplancton en estos lagos. El trabajo realizado se refiere a la estructura y variación de la comunidad de ciliados planctónicos del lago Alchichica tanto en la columna de agua como temporalmente, y pretende determinar la relación, si es que la hay, de su distribución con algunos factores físicos y químicos, por lo que, además de contribuir al conocimiento de los ciliados de lagos salinos, contribuye a una mejor comprensión de la ecología de dicho lago.

### **OBJETIVO GENERAL:**

- Determinar la variación en la distribución vertical y temporal de los ciliados planctónicos en un lago cráter salino, y establecer si tiene relación con las variaciones de algunos parámetros físicos y químicos seleccionados.

### **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- Determinar la composición taxonómica de la comunidad de ciliados planctónicos presentes en el Lago Alchichica.
- Determinar la distribución de los ciliados a lo largo de la columna de agua.
- Determinar el patrón de sucesión estacional de la abundancia y composición específica de los ciliados planctónicos del lago Alchichica.
- Establecer si hay relación de la distribución de los ciliados con parámetros ambientales como temperatura, pH, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno y conductividad.

### **ANTECEDENTES.**

Existen 6 lagos cráter (maars) en la Cuenca de Oriental, en la porción central de México, que son conocidos en la región con el nombre de "axalapazcos" (voz náhuatl que significa "vasijas de arena llenas de agua"). El área de la cuenca es de 4 982 km<sup>2</sup> y la altitud promedio es de 2 300 msnm. Los seis lagos reciben agua principalmente de fuentes subterráneas y, secundariamente, por la lluvia. (Alcocer *et al.* 1998). La desviación excesiva del agua subterránea en los alrededores es causa

lagos son someros. Por otro lado, Foissner *et al.* (1999) señalan que prácticamente no hay estudios sobre ciliados de lagos salinos y, dada la importancia del circuito microbiano y de los protozoos (particularmente de los ciliados) dentro de éste, se hace necesario conocer la estructura y variación del protozooplancton en estos lagos. El trabajo realizado se refiere a la estructura y variación de la comunidad de ciliados planctónicos del lago Alchichica tanto en la columna de agua como temporalmente, y pretende determinar la relación, si es que la hay, de su distribución con algunos factores físicos y químicos, por lo que, además de contribuir al conocimiento de los ciliados de lagos salinos, contribuye a una mejor comprensión de la ecología de dicho lago.

### **OBJETIVO GENERAL:**

- Determinar la variación en la distribución vertical y temporal de los ciliados planctónicos en un lago cráter salino, y establecer si tiene relación con las variaciones de algunos parámetros físicos y químicos seleccionados.

### **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- Determinar la composición taxonómica de la comunidad de ciliados planctónicos presentes en el Lago Alchichica.
- Determinar la distribución de los ciliados a lo largo de la columna de agua.
- Determinar el patrón de sucesión estacional de la abundancia y composición específica de los ciliados planctónicos del lago Alchichica.
- Establecer si hay relación de la distribución de los ciliados con parámetros ambientales como temperatura, pH, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno y conductividad.

### **ANTECEDENTES.**

Existen 6 lagos cráter (maars) en la Cuenca de Oriental, en la porción central de México, que son conocidos en la región con el nombre de "axalapazcos" (voz náhuatl que significa "vasijas de arena llenas de agua"). El área de la cuenca es de 4 982 km<sup>2</sup> y la altitud promedio es de 2 300 msnm. Los seis lagos reciben agua principalmente de fuentes subterráneas y, secundariamente, por la lluvia. (Alcocer *et al.* 1998). La desviación excesiva del agua subterránea en los alrededores es causa

lagos son someros. Por otro lado, Foissner *et al.* (1999) señalan que prácticamente no hay estudios sobre ciliados de lagos salinos y, dada la importancia del circuito microbiano y de los protozoos (particularmente de los ciliados) dentro de éste, se hace necesario conocer la estructura y variación del protozooplancton en estos lagos. El trabajo realizado se refiere a la estructura y variación de la comunidad de ciliados planctónicos del lago Alchichica tanto en la columna de agua como temporalmente, y pretende determinar la relación, si es que la hay, de su distribución con algunos factores físicos y químicos, por lo que, además de contribuir al conocimiento de los ciliados de lagos salinos, contribuye a una mejor comprensión de la ecología de dicho lago.

### **OBJETIVO GENERAL:**

- Determinar la variación en la distribución vertical y temporal de los ciliados planctónicos en un lago cráter salino, y establecer si tiene relación con las variaciones de algunos parámetros físicos y químicos seleccionados.

### **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- Determinar la composición taxonómica de la comunidad de ciliados planctónicos presentes en el Lago Alchichica.
- Determinar la distribución de los ciliados a lo largo de la columna de agua.
- Determinar el patrón de sucesión estacional de la abundancia y composición específica de los ciliados planctónicos del lago Alchichica.
- Establecer si hay relación de la distribución de los ciliados con parámetros ambientales como temperatura, pH, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno y conductividad.

### **ANTECEDENTES.**

Existen 6 lagos cráter (maars) en la Cuenca de Oriental, en la porción central de México, que son conocidos en la región con el nombre de "axalapazcos" (voz náhuatl que significa "vasijas de arena llenas de agua"). El área de la cuenca es de 4 982 km<sup>2</sup> y la altitud promedio es de 2 300 msnm. Los seis lagos reciben agua principalmente de fuentes subterráneas y, secundariamente, por la lluvia. (Alcocer *et al.* 1998). La desviación excesiva del agua subterránea en los alrededores es causa

de que estos lagos estén siendo desecados actualmente, con la consecuente disminución de la zona litoral. (Alcocer y Williams, 1993).

En lo que se refiere a la geología, la región se originó hace alrededor de un millón de años. La planicie de la Cuenca de Oriental alcanzó su elevación debido al plegamiento de rocas de origen marino del Mesozoico, a la acumulación de rocas y derrames volcánicos y a la enorme cantidad de sedimentos piroclásticos que, en última instancia, han dado la configuración actual a la cuenca. Las formas fisiográficas volcánicas se han producido desde principios del Cenozoico hasta el Cuaternario (Gasca, 1982).

Estos lagos han sido estudiados desde diferentes perspectivas: Ordoñez (1906) describe la geología y el origen de los lagos de Puebla; Gasca (1982) estudió esta misma región desde los puntos de vista morfológico y estratigráfico, a fin de establecer su génesis; Fuentes (1972) describió las regiones naturales del estado de Puebla, agrupando a los lagos cráter en dos zonas: Los Llanos de San Andrés y los de San Juan, haciendo énfasis en el clima, la edafología y la vegetación; Reyes (1979) también hizo estudios sobre la geología del área. Datos sobre la composición química de las aguas se encuentran en el reporte de la CFE (1960-62), Alcocer y Escobar (1990), Arredondo *et al.* (1984), Díaz y Guerra (1979), Piña (1984), Ramírez-García y Novelo (1984), Ramírez-García y Vázquez-Gutiérrez (1989), Taylor (1943) y Vilaclara *et al.* (1989 y 1993). Garzón (1990) realizó la caracterización sapotrófica de los seis lagos-cráter.

Con respecto a los estudios biológicos, la mayoría son sobre organismos superiores: Taylor (1943) y Brandon *et al.* (1981) describieron la especie *Ambystoma taylorii*, anfibio ambistómido endémico del lago Alchichica; De Buen (1945) menciona para el mismo lago, una nueva especie de la familia Atherinidae, *Poblana alchichica*, también estudiada por Vázquez (1982); Alvarez (1950) estudió la fauna ictiológica de la zona, marcando algunas consideraciones acerca de su posible origen; Flores (1998) hizo un estudio poblacional de tres especies de *Poblana* en tres de los lagos; Alcocer *et al.* (1993a) hicieron estudios sobre la macrofauna bentónica de los seis lagos y, en Alchichica, sobre quironómidos litorales (Alcocer *et al.*, 1993b); Lugo *et al.* (1999) estudiaron la variación de la población del copépodo *Leptodiptomus novamexicanus*, en el lago Alchichica. En el aspecto botánico, Ramírez (1983), Ramírez-García y Novelo (1984) y Ramírez-García y Vázquez-Gutiérrez (1989) realizaron estudios sobre la vegetación de los seis lagos cráter.

En años recientes se han realizado estudios microbiológicos en los lagos de la Cuenca de Oriental del estado de Puebla; por ejemplo, Lugo (1993) estudió las comunidades de protozoarios litorales en los seis lagos; Lugo *et al.* (1993 y 1998), determinaron el estado trófico de los lagos mediante el estudio de la comunidad de protozoos litorales y determinaron la composición protozoológica litoral de dos de los lagos; Macek *et al.* (1994), estudiaron los cambios en la comunidad de ciliados con relación a la estratificación en el lago Atexcac; Alcocer *et al.* (1998) estudiaron el bentos litoral de estos lagos; Escobar-Briones *et al.* (1998) compararon las

fluctuaciones de carbón entre la comunidad litoral y pelágica del lago Alchichica; Macek *et al.* (2000), hicieron una comparación de la composición de ciliados pelágicos del lago Atexcac, con la de lagos europeos similares; y, Alcocer *et al.* (2000) hicieron un análisis de la implicaciones de la estratificación del lago Alchichica.

## ÁREA DE ESTUDIO.

El lago Alchichica está situado en la llamada Cuenca Hidrológica de Oriental, en la parte noreste del estado de Puebla (fig.1), cerca del poblado del mismo nombre (Gasca, 1982) a un costado de la carretera Huamantla-Perote. Es el mayor y más profundo de los 6 lagos cráter ubicados en esta cuenca, siendo además, el lago más profundo de México (64m). Su localización, según Alvarez (1950) es: 97° 23' 52" de longitud W y 19° 24' 22" de latitud N, a 2 345 msnm. El lago se encuentra alojado en el cráter de un volcán que pertenece a la provincia fisiográfica del eje volcánico, en donde se cruzan la Sierra Madre del Sur y la Sierra de Puebla.

La forma general del lago Alchichica es circular, con una longitud máxima de 1,733m, con orientación SE-NO. Las paredes del lago son muy inclinadas, incrementándose bruscamente la profundidad conforme se aleja de la orilla. Ésta acentuada inclinación finaliza en una plataforma a los 60m, desplazada ligeramente hacia el NE y cortada por la parte más profunda que alcanza aproximadamente los 64m. En la zona litoral, casi a lo largo de toda la orilla, se presentan bajos o salientes de roca volcánica que configuran una pequeña plataforma, sobre todo hacia el NE, N y NO. La batimetría refleja seis paredes opuestas simétricamente en sentido NE-SO, que llegan hasta la plataforma central (Arredondo-Figueroa *et al.*, 1983). Presenta depósitos columnares de tufa (precipitados de carbonato de sodio y de magnesio) en la zona litoral (Alcocer y Williams, 1993).

Recibe alimentación hídrica a partir de la red hidrográfica subterránea (manto freático) de la región y, en menor medida, por la precipitación pluvial directa (Alvarez, 1950; Arredondo-Figueroa *et al.*, 1984). La zona litoral del lago se ha visto reducida por el descenso del nivel de las aguas ocasionada por la desviación del agua subterránea, lo cual ha disminuido la producción de charal y la desaparición de aves acuáticas que en otros tiempos acudían a este lago como sitio de refugio, alimentación, reproducción y crianza (Alcocer y Williams, 1993). La transparencia del agua se informó con una profundidad de disco de Secchi de 8m en invierno y de 3.6m en abril, disminuida a causa de un bloom de *Nodularia* sp. (Alcocer y Hammer, 1998).

Lugo (1993) registró a Alchichica como el lago más salado de la zona, con salinidad constante de 7 g.Kg<sup>-1</sup> en la zona litoral. Según Vilaclara *et al.* (1993) la zona limnética del lago Alchichica es salina (8.5 g.l<sup>-1</sup>) y básica (pH alrededor de 9.0), el cloruro de sodio es la sal más abundante y las dominancias de iones son: Na>Mg>K>Ca, en cuanto a cationes, y Cl>HCO<sub>3</sub>>SO<sub>4</sub>>CO<sub>3</sub> para los aniones, y



fluctuaciones de carbón entre la comunidad litoral y pelágica del lago Alchichica; Macek *et al.* (2000), hicieron una comparación de la composición de ciliados pelágicos del lago Atexcac, con la de lagos europeos similares; y, Alcocer *et al.* (2000) hicieron un análisis de la implicaciones de la estratificación del lago Alchichica.

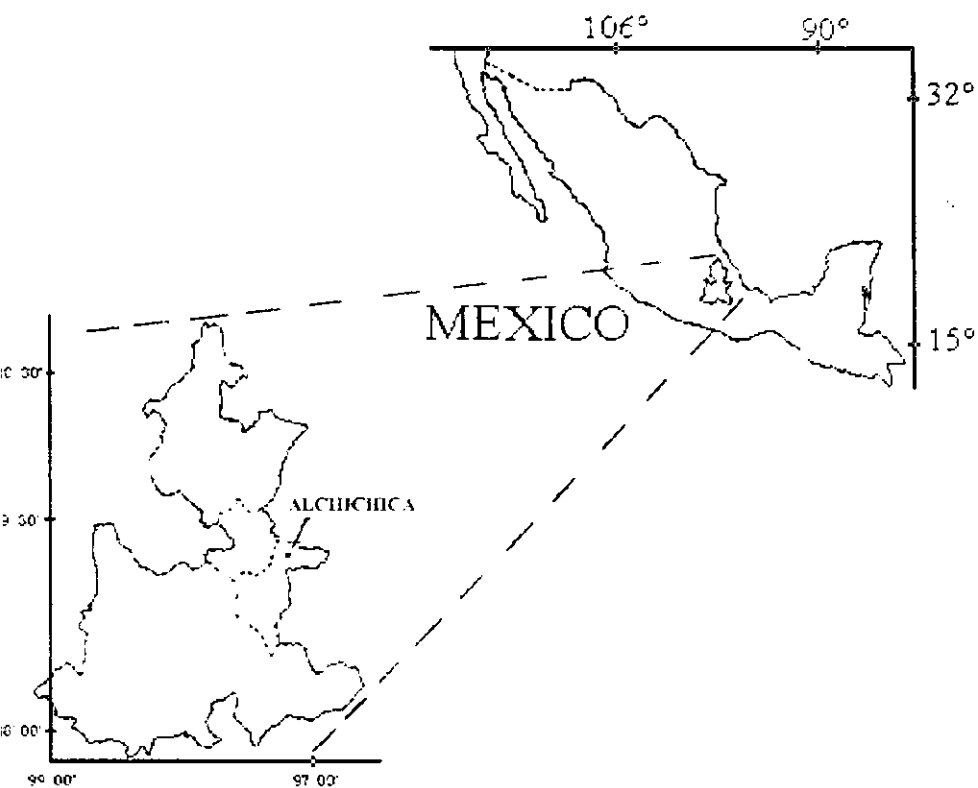
## ÁREA DE ESTUDIO.

El lago Alchichica está situado en la llamada Cuenca Hidrológica de Oriental, en la parte noreste del estado de Puebla (fig.1), cerca del poblado del mismo nombre (Gasca, 1982) a un costado de la carretera Huamantla-Perote. Es el mayor y más profundo de los 6 lagos cráter ubicados en esta cuenca, siendo además, el lago más profundo de México (64m). Su localización, según Alvarez (1950) es: 97° 23' 52" de longitud W y 19° 24' 22" de latitud N, a 2 345 msnm. El lago se encuentra alojado en el cráter de un volcán que pertenece a la provincia fisiográfica del eje volcánico, en donde se cruzan la Sierra Madre del Sur y la Sierra de Puebla.

La forma general del lago Alchichica es circular, con una longitud máxima de 1,733m, con orientación SE-NO. Las paredes del lago son muy inclinadas, incrementándose bruscamente la profundidad conforme se aleja de la orilla. Ésta acentuada inclinación finaliza en una plataforma a los 60m, desplazada ligeramente hacia el NE y cortada por la parte más profunda que alcanza aproximadamente los 64m. En la zona litoral, casi a lo largo de toda la orilla, se presentan bajos o salientes de roca volcánica que configuran una pequeña plataforma, sobre todo hacia el NE, N y NO. La batimetría refleja seis paredes opuestas simétricamente en sentido NE-SO, que llegan hasta la plataforma central (Arredondo-Figueroa *et al.*, 1983). Presenta depósitos columnares de tufa (precipitados de carbonato de sodio y de magnesio) en la zona litoral (Alcocer y Williams, 1993).

Recibe alimentación hídrica a partir de la red hidrográfica subterránea (manto freático) de la región y, en menor medida, por la precipitación pluvial directa (Alvarez, 1950; Arredondo-Figueroa *et al.*, 1984). La zona litoral del lago se ha visto reducida por el descenso del nivel de las aguas ocasionada por la desviación del agua subterránea, lo cual ha disminuido la producción de charal y la desaparición de aves acuáticas que en otros tiempos acudían a este lago como sitio de refugio, alimentación, reproducción y crianza (Alcocer y Williams, 1993). La transparencia del agua se informó con una profundidad de disco de Secchi de 8m en invierno y de 3.6m en abril, disminuida a causa de un bloom de *Nodularia* sp. (Alcocer y Hammer, 1998).

Lugo (1993) registró a Alchichica como el lago más salado de la zona, con salinidad constante de 7 g.Kg<sup>-1</sup> en la zona litoral. Según Vilaclara *et al.* (1993) la zona limnética del lago Alchichica es salina (8.5 g.l<sup>-1</sup>) y básica (pH alrededor de 9.0), el cloruro de sodio es la sal más abundante y las dominancias de iones son: Na>Mg>K>Ca, en cuanto a cationes, y Cl>HCO<sub>3</sub>>SO<sub>4</sub>>CO<sub>3</sub> para los aniones, y



ESTADO DE PUEBLA

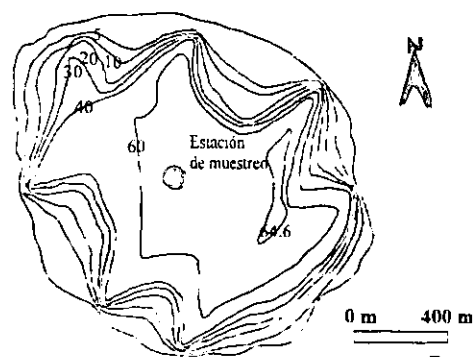


Fig 1 : Localización del lago Alchichica, en México.

además contiene cantidades importantes de boro. Aunque Arredondo *et al.* (1983) mencionan que la composición es muy parecida a la del agua de mar, Lugo (1993) afirma que esto no es del todo cierto, puesto que en el mar los órdenes de magnitud de los iones son:  $\text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{K}$  para los cationes y  $\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3 > \text{CO}_3$  para los aniones (Hutchinson, 1957, citado por Lugo, 1993).

La clasificación climática de Köppen modificada por García (1981), indica que el clima es templado seco, con verano cálido y régimen de lluvias en verano, con una precipitación promedio anual menor a 400mm y una temperatura media anual de 12.9 °C. La evaporación es muy elevada y causa un déficit de agua notorio, principalmente en marzo (Arredondo *et al.* 1984). La temporada de lluvias se presenta durante el verano, al igual que las temperaturas más altas. En invierno, la precipitación es muy baja y la temperatura es la más baja.

Arredondo *et al.* (1984) consideran el régimen térmico del lago como polimíctico; Garzón (1990), considera que Alchichica es un lago monomíctico templado (de acuerdo con la clasificación de Wetzel, 1975). Alcocer y Hammer (1998) consideran que se ha malinterpretado el régimen térmico de Alchichica, y afirman que es un lago cálido monomíctico, con un período de circulación desde el invierno hasta principios de primavera (3 meses), pero permanece estratificado el resto del año. Lugo *et al.* (1999) también reportaron un régimen monomíctico para este lago.

De acuerdo a las concentraciones de clorofila *a* encontradas en Alchichica, Garzón (1990), Vilaclara *et al.* (1993) y Macek *et al.* (1994) lo catalogaron como Oligomesotrófico. Lugo *et al.* (1993) determinaron el status trófico por medio del nivel de colonización por protozoarios de unidades de poliuretano, caracterizando a Alchichica como Oligomesotrófico también.

La biota animal superior que habita este lago está compuesta básicamente por 2 géneros: *Poblana* (familia Atherinidae) y *Ambystoma* (familia Ambystomatidae), cuyas especies son endémicas (Taylor, 1943; Brandon *et al.*, 1981; De Buen, 1945; Alvarez, 1950). En cuanto a macroinvertebrados bentónicos, se señalan organismos pertenecientes a cuatro grupos: nemátodos, anélidos, artrópodos y moluscos (Alcocer *et al.*, 1993a). Alcocer *et al.* (1993b) consideran a los quironómidos como un grupo importante dentro de los macroinvertebrados litorales, por ser el más diverso. Lugo *et al.* (1999) informan sobre el copépodo *Leptodiptomus novamexicanus*. Dyer y Brandon (1973, citado por Alcocer y Hammer, 1998) observaron un nemátodo intestinal parasitando a las salamandras.

Las únicas macrófitas acuáticas presentes son *Cyperus laevigatus*, que se distribuye en algunas zonas al borde del lago, y *Ruppia marítima*, que ocupa áreas densas y regulares en partes protegidas a lo largo de la zona litoral, llegando hasta una profundidad de 2m (Ramírez-García y Novelo, 1984; Ramírez-García y Vázquez-Gutiérrez, 1989).



Vista panorámica del Lago Alchichica, Puebla.

## MATERIAL Y MÉTODOS.

Se realizaron 12 muestreos mensuales, de Agosto de 1993 a Agosto de 1994, (a excepción de julio de 1994), con una botella van Dorn, de 6 l de capacidad, en una estación cercana a la zona más profunda del lago. Las muestras fueron tomadas a las profundidades de 0, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 y 60m. En cada uno de los muestreos, se midieron *in situ* perfiles verticales de temperatura, conductividad específica ( $K_{25}$ ), pH, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno, utilizando para ello una Sonda Multisensor, marca Hydrolab, modelo Datasonde 3, equipado con un registrador Surveyor 3.

Cincuenta mililitros de muestra se fijaron con acetato de lugol al 1% (Finlay y Guhl, 1992) y se concentraron por sedimentación (Finlay y Guhl, 1992). Los ciliados en las muestras concentradas se contaron en una cámara Sedgwick-Rafter, con un microscopio Zeiss de contraste de fase, siguiendo la técnica descrita por Wetzel y Likens (1979), con un nivel de confianza de  $\pm 30\%$ . Durante la cuantificación, se hizo una identificación prospectiva de los organismos.

Otros 50 ml de muestra se fijaron con solución de Nissenbaum (Small y Lynn, 1985), en proporción 1:19, para una determinación más precisa de las especies de ciliados mediante la técnica de impregnación argéntica, de acuerdo con Fernández-Galiano (1994).

Para la identificación de los organismos se utilizaron las siguientes publicaciones: Curds (1982), Curds *et al.* (1983), Foissner *et al.* (1991, 1992, 1994a, 1994b y 1999), Kahl (1930-1935), Lee *et al.* (1985) y Noland (1959).

El análisis de la información se realizó mediante la observación y comparación de los perfiles de distribución de los ciliados en los diferentes muestreos. Se hicieron correlaciones entre los números de ciliados y los valores de los parámetros físicos y químicos, transformados a  $\log. n$  o  $\log. n+1$ , utilizando el coeficiente de correlación producto-momento de Pearson (Steel y Torrie, 1988).

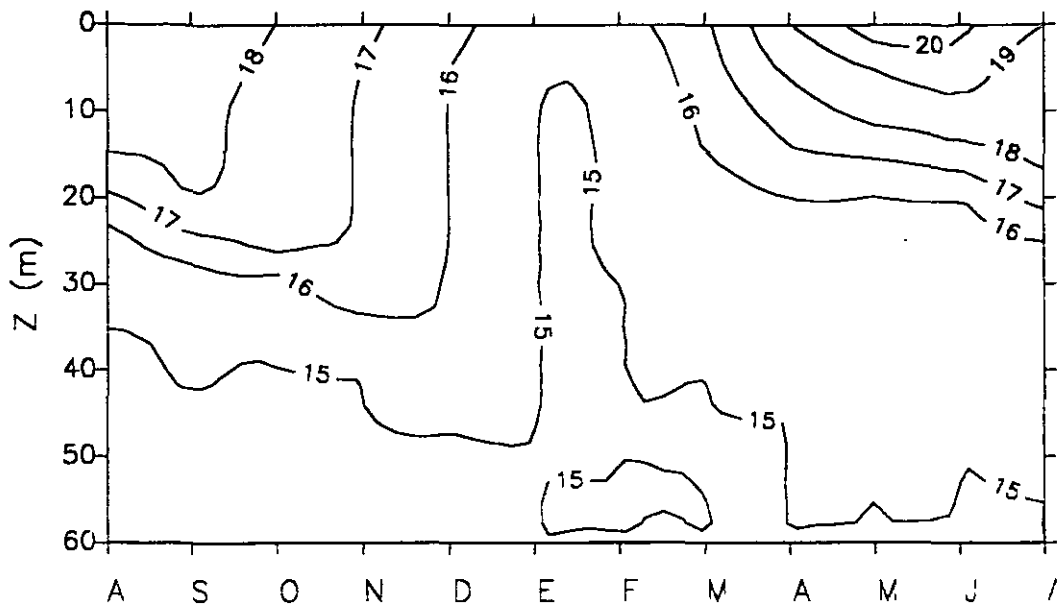
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### Condiciones ambientales del lago.

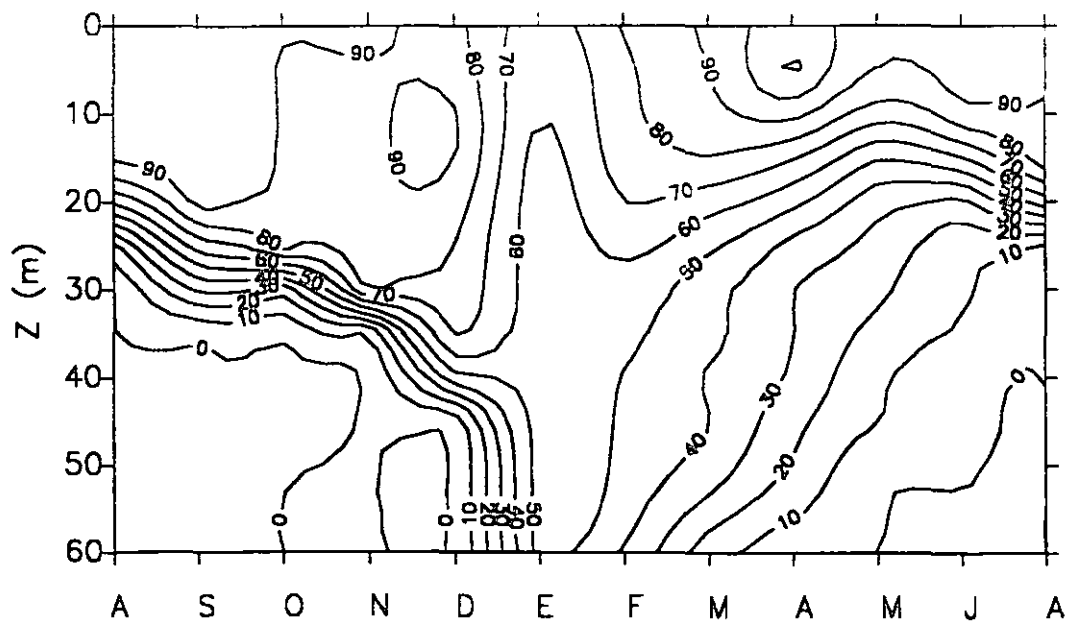
La temperatura del agua del lago varió entre los 14.8° y 19.8°C (gráf.1). Se observó un periodo de circulación del agua durante la estación fría y seca (dic-mzo), con una temperatura de alrededor de 15°C en toda la columna de agua, y un periodo de estratificación térmica a lo largo de la estación cálida y lluviosa (abr-nov). La estratificación más marcada se observó entre mayo y agosto, con diferencia de >4°C entre la superficie y el fondo. En este momento, pudo distinguirse una muy clara separación entre el epilimnion y el hipolimnion. La termoclina en este período se detectó alrededor de los 25m de profundidad. La máxima temperatura (19.8°C) se presentó en mayo, en la superficie, y la temperatura mínima (14.8°C) se registró en el fondo, en septiembre. La temperatura en la superficie fluctuó entre 19.8°C (may) y 15.1°C (ene). Estos datos indican que es un lago monomítico cálido coincidiendo con Garzón (1990), Alcocer y Hammer (1998) y Lugo *et al.* (1999).

Lugo *et al.* (1999), informan sobre la presencia de dos florecimientos de algas en el lago Alchichica durante 1994: uno de diatomeas, en enero, probablemente ocasionado por la circulación del agua, y otro de la cianobacteria fijadora de nitrógeno *Nodularia spumigena*, en abril. Estos florecimientos pudieron ser confirmados al encontrar gran cantidad de este tipo de organismos en las muestras correspondientes, al ser revisadas al microscopio.

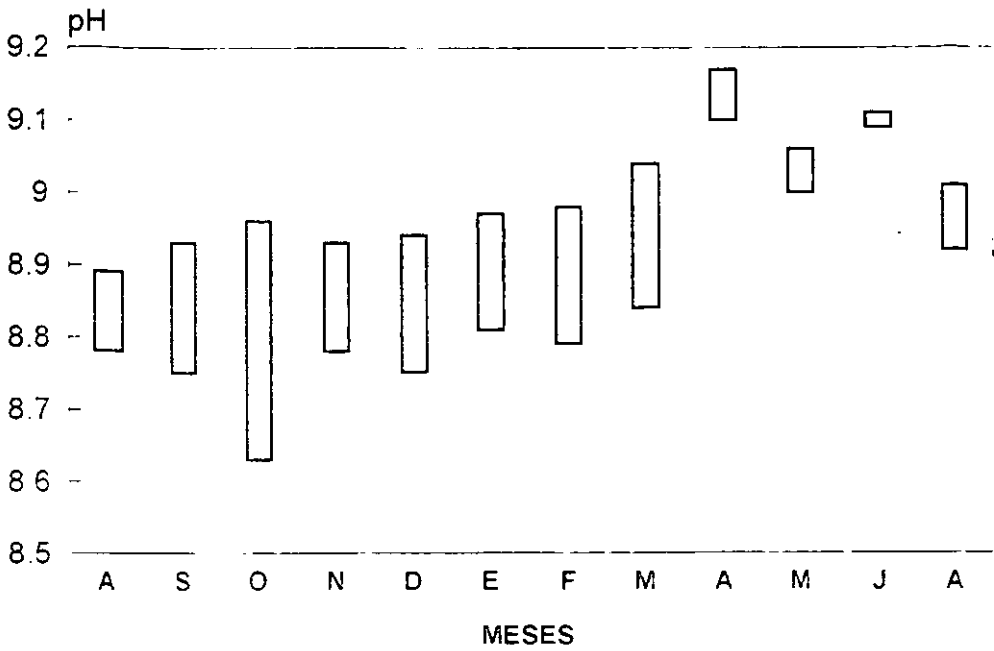
La fluctuación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (O.D.) en el lago estuvo asociada al régimen de temperatura (gráf.2). En agosto del 93, se reconoció una oxiclina aproximadamente a los 25m, con anoxia por debajo de los 30m y un 96% de saturación de oxígeno en la porción superficial. Al iniciar la estación fría (oct.), la capa anóxica comenzó a disminuir de tamaño, y también descendieron los valores del porcentaje de saturación en el epilimnion (máximo 90%). En el primer mes del período de circulación (diciembre) se encontró O.D. en toda la columna de agua, pero con una baja concentración en el fondo, equivalente a menos del 1% de saturación, mientras que por arriba de los 15m se midieron valores >85% de saturación. Durante el período de circulación completa (ene-mzo) hubo entre 50-70% de saturación de oxígeno en toda la columna de agua. La concentración de O.D. en el fondo disminuyó gradualmente, llegando a la aparición de condiciones de anoxia en abril. La capa anóxica se hizo paulatinamente más grande, hasta abarcar desde el fondo hasta los 25m de profundidad en agosto del 94. A lo largo del período anual, la saturación del oxígeno en la capa más superficial del lago fluctuó entre 70 y 115%. Los valores de sobresaturación (115%) se encontraron en el mes de abril, en los primeros 5m, seguramente asociados al florecimiento de *N. spumigena*, que implica la presencia de una elevada tasa de fotosíntesis y por lo tanto de producción de oxígeno.



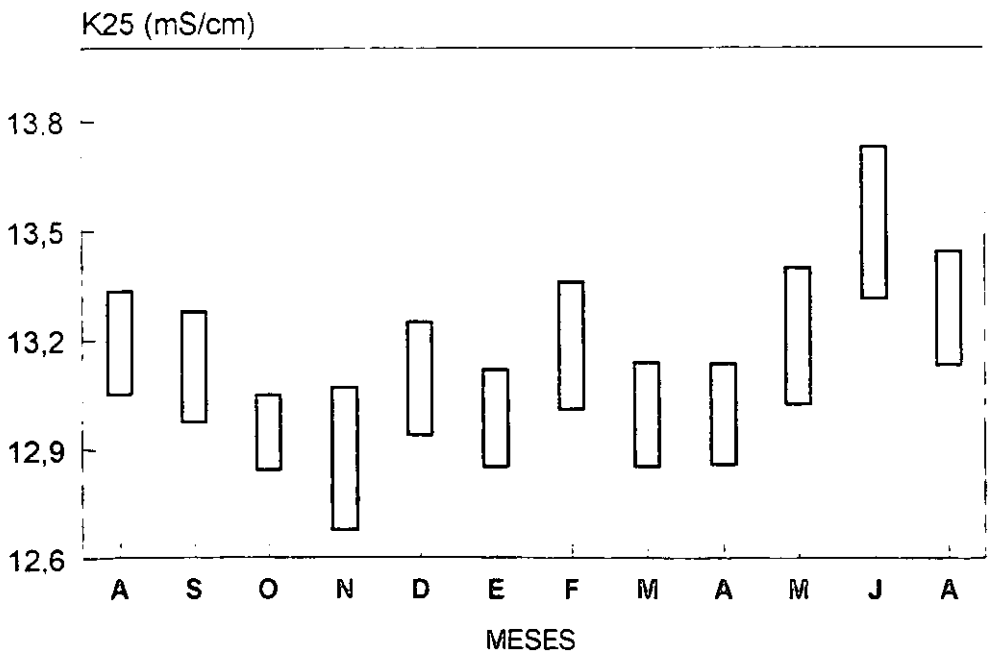
**Gráfica 1:** Isolinias de Temperatura ( $^{\circ}$  C) en el Lago Alchichica.



**Gráfica 2:** Isolinias del porcentaje de saturación de oxígeno en el Lago Alchichica.



**Gráfica 3:** Intervalos de pH por muestreo.



**Gráfica 4:** Intervalos de Conductividad por muestreo (mS/cm)



El pH en el lago varió entre 8.6 y 9.2 (gráf.3), reflejando condiciones básicas, y confirmando lo observado por Lugo (1993) y por Vilaclara *et al.* (1993). Los valores más altos (9.2) se registraron en abril, relacionados con el florecimiento de *N. spumigena*, en que el oxígeno liberado por la actividad fotosintética favorece el incremento de pH. Los valores más bajos (8.6) corresponden a octubre.

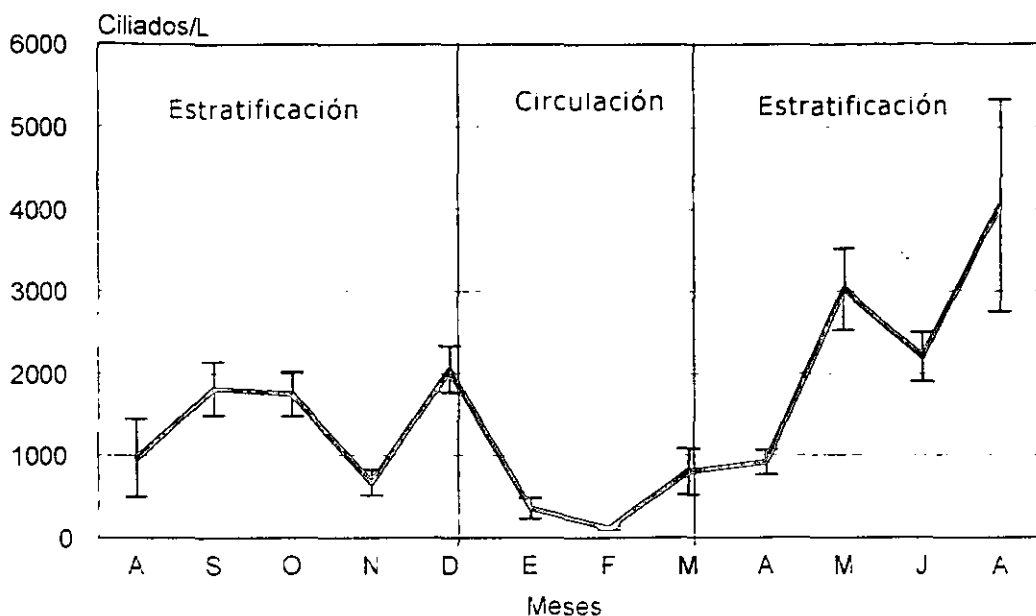
La conductividad específica ( $K_{25}$ ) en la zona limnética del lago varió entre 12.6 y 13.7  $mS.cm^{-1}$  (gráf.4), lo cual indica un agua mineralizada. Según Vilaclara *et al.* (1993), este intervalo de conductividad corresponde a una salinidad promedio de 8.5  $g.l^{-1}$ . Estos valores, de acuerdo con Hammer *et al.* (1990), indican que es un lago hiposalino (salinidad  $>3 < 20 g.l^{-1}$ ). El valor máximo se registró en junio, el mes más caluroso en el área y con una consecuente alta evaporación. El mínimo se registró en abril.

Las variaciones en cuanto a pH (gráf.3) y conductividad (=salinidad) (gráf.4) en la columna de agua son muy pequeñas como para considerarias determinantes en la distribución de los organismos. Ya se ha mencionado que, de acuerdo con variables como la temperatura y el porcentaje de saturación de oxígeno, el lago presenta dos épocas: circulación (dic-mzo) y estratificación (abr-nov). Cada época presenta condiciones ambientales características que, en conjunto, pueden ser importantes para la distribución de los ciliados. La época de circulación se caracteriza por una distribución homogénea de temperatura ( $15^{\circ}C$ ) y oxígeno disuelto ( $>4mg.l^{-1}$ ) en la columna de agua, aunque la saturación de oxígeno apenas era del 70%. En la época de estratificación, tanto la termoclina como la oxiclina se ubicaron alrededor de los 25m de profundidad, con condiciones de anoxia en el fondo; la saturación de oxígeno promedio en el epilimnion fue superior al 50% y la temperatura media fue de  $16^{\circ}C$ .

Entre agosto de '93 y agosto '94, hay algunas diferencias en las condiciones ambientales de la columna de agua (ver gráfs.1 y 2). En '93, la temperatura fluctuó de  $14.8-18.3^{\circ}C$  y la saturación de O.D. en los primeros 20m, de 62% a 96%. En '94, la temperatura varió entre  $15^{\circ}$  y  $19^{\circ}C$  y la saturación de O.D. en los primeros 20m, entre 57% y 93%. En ambos casos, por debajo de los 30m había condiciones anóxicas. Es evidente que en agosto de '94 la temperatura fue superior a '93 en casi  $1^{\circ}C$ , lo que explica la menor saturación de O.D. Es por esta diferencia de temperatura que en agosto de '93 la termoclina fue menos marcada que en '94, pero no así la oxiclina (gráfs.1 y 2). Es decir, la variación de temperatura en la columna de agua fue más gradual en '93 que en '94, pero la saturación de O.D. disminuyó más rápidamente en '93 que en '94.

### **Distribución temporal de los ciliados.**

El ciclo anual de los ciliados (gráf.5) se caracterizó por un pico de densidad al inicio de la época cálida (mayo) y un máximo a mitad de la temporada lluviosa y cálida (agosto), con bajas concentraciones durante la época seca y fría (enero a marzo). El mes con mayor densidad promedio fue agosto de '94 y la menor



**Gráfica 5:** Distribución temporal de los ciliados. Las barra indican error estandar (Promedio  $\pm$  error estandar).

	sp. F	<i>Trochilia</i> sp.	<i>Stylonychia</i> sp.	<i>Bursellopsis</i> sp.	<i>Mesodinium</i> sp.	<i>Litonotus</i> sp.	Holotrico	<i>Vorticella c. aquadulcis</i>	Cirtofóndo	Hipotrico grande	<i>Loxodes</i> sp.	sp. E	Hipotrico pequeño	<i>Cyclidium</i> sp.	<i>Halteria</i> sp.	<i>Rabdotstia</i> sp.	<i>Cólpoda</i> sp.	<i>Tachysoma</i> sp.	sp. A	<i>Chilodonella</i> sp.	<i>Limnostrombidium</i> spp.	sp. C	sp. D	sp. B	Nº de especies	
Ago-93			*		*	*	*	*	*					*	*					*	*				9	
Sep-93			*	*	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*			16
Oct-93	*			*	*	*	*	*	*	*				*	*	*	*	*	*	*	*	*				14
Nov-93						*				*				*	*	*			*	*	*	*	*			7
Dic-93								*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*				12
Ene-94												*		*				*	*	*	*			*		6
Feb-94														*				*	*	*	*	*	*	*		3
Mar-94													*		*	*	*	*	*	*	*	*	*			8
Abr-94	*						*		*	*		*		*	*	*	*	*	*	*	*	*				8
May-94		*					*		*	*		*		*	*	*	*	*	*	*	*	*				8
Jun-94									*	*			*	*	*		*	*	*	*	*	*				8
Ago-94			*	*	*		*	*		*							*	*			*	*				8

**Tabla 1:** Presencia/ausencia de los taxa en cada muestreo y variación temporal de la riqueza específica.

abundancia se registró en febrero '94. Es claro que durante el periodo de mezcla del lago, la densidad promedio disminuye, para volver a incrementarse en abril y llegar a su máximo en agosto, cuando la estratificación es marcada. Este ciclo de variación de los ciliados en Alchichica, lago ubicado en la zona tropical, podría considerarse equivalente a lo observado en varios lagos templados mesotróficos dimícticos o monomícticos, los cuales presentan densidades elevadas de ciliados durante la época cálida (primavera-verano), con un mínimo en invierno (Salbrechter y Arndt, 1994; Schweizer, 1994; Pace y Orcutt, 1981). Laybourn-Parry (1994) afirma que es un patrón común para lagos templados; Salbrechter y Arndt (1994) también consideran que es un patrón típico para muchos lagos de la zona templada, con estados tróficos de mesotróficos a eutróficos.

La densidad promedio de ciliados (gráf.5), fue relativamente alta de agosto a octubre de '93 ( $1,200-1,960\text{org.l}^{-1}$ ). Sin embargo, el número de taxa encontrados (tabla 1) fue más alto en septiembre (16 taxa) que en agosto y octubre (9 y 14 taxa, respectivamente), siendo septiembre el mes con mayor riqueza específica en todo el período de muestreo. Laybourn-Parry (1994) afirma que la mayoría de los lagos, particularmente aquellos con estados meso a eutróficos, se caracterizan por una gran riqueza de especies en el verano.

Aunque en noviembre aparentemente disminuyó la densidad ( $714\text{org.l}^{-1}$ ) al igual que la riqueza específica (7 taxa), para volver a incrementarse en diciembre ( $1,866\text{org.l}^{-1}$  de 12 taxa) (gráf.5, tabla 1), esta diferencia puede deberse a que, a causa del mal tiempo en el lago, en noviembre no se obtuvo el total de las muestras (faltaron las muestras de 0, 3, 50 y 60m).

Al dar comienzo el período de circulación del lago (enero), tanto la densidad promedio ( $<500\text{org.l}^{-1}$ ) como la riqueza específica (6 taxa) disminuyeron. El valor de abundancia promedio y de riqueza específica más bajos ( $<350\text{org.l}^{-1}$ , 3 taxa) se registraron en febrero de '94 (gráf.5, tabla 1).

A partir de marzo, la densidad comenzó a incrementarse nuevamente ( $>700\text{org.l}^{-1}$ ), al igual que la riqueza específica (8 taxa) (gráfs.5, tabla 1), mientras el lago comenzaba a estratificarse. En mayo '94, con la estratificación del lago más marcada (gráf. 1), la densidad promedio se incrementó notoriamente ( $>3,500\text{org.l}^{-1}$ ), pero no así la riqueza específica (8 taxa). Algunos autores afirman que, conforme termina el florecimiento de primavera en lagos templados, y se da la descomposición del fitoplancton, los organismos bacterívoros pueden alcanzar sus máximas densidades (Beaver y Crisman, 1990; Taylor y Heynen, 1987, citados en Laubourn-Parry, 1994; Laybourn-Parry *et al.*, 1990). Basándose en esta idea, se puede considerar que el florecimiento de *Nodularia spumigena* que, de acuerdo con Lugo *et al.* (1999) se presentó en abril, y su subsecuente declinación, pueden haber favorecido el desarrollo de las poblaciones de organismos bacterívoros.

La densidad promedio presentó su valor más alto en el mes de agosto de 1994 ( $>3,500\text{org.l}^{-1}$ ) (gráf. 5). Sin embargo, este pico de densidad se debe únicamente a

8 taxa, 6 de los cuales presentan sus números más elevados en este mes (tabla 1). La densidad es significativamente mayor en agosto de '94 que en agosto de '93, en que se encontraron 9 taxa (gráf. 5, tabla 1). Probablemente las diferencias ambientales señaladas anteriormente entre estos dos meses, sean la causa de ello.

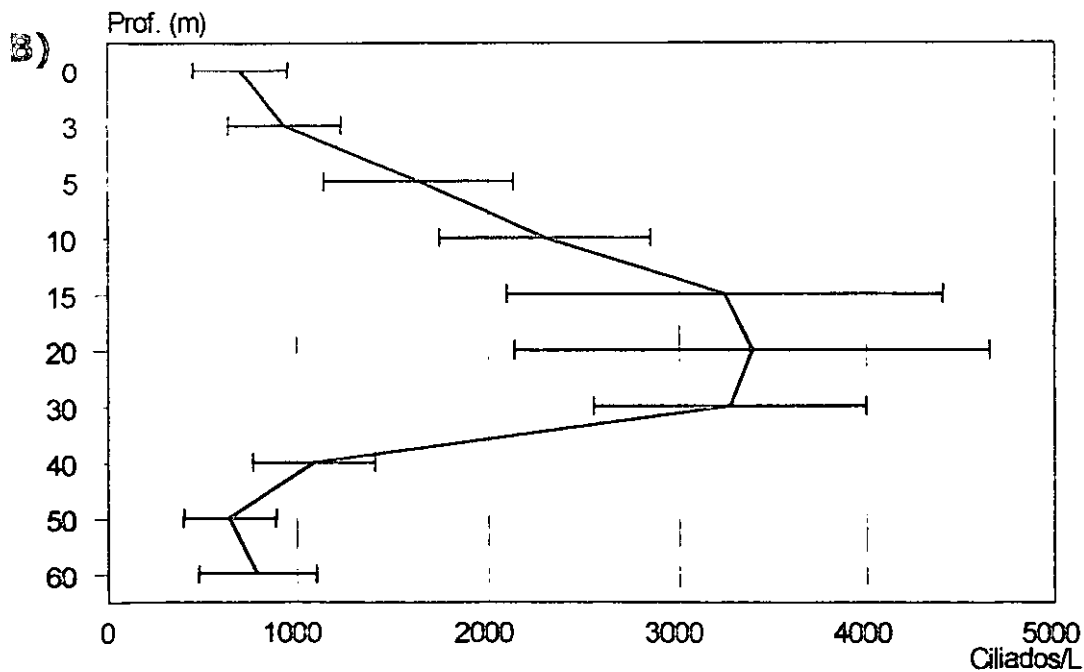
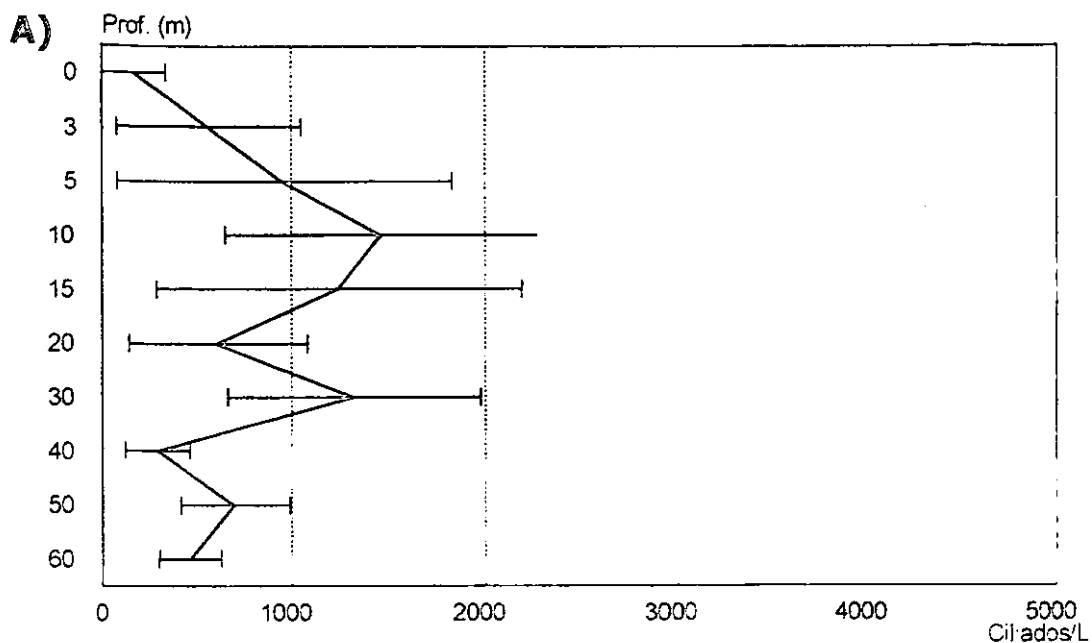
Los datos del periodo de estratificación son comparables con picos de abundancia de verano en cuerpos de agua templados (Laybourn-Parry *et al.*, 1990; Taylor y Johannsson, 1991; Macek, 1994; Macek *et al.*, 1994). Alchichica ha sido caracterizado como un lago oligo-mesotrófico (Garzón, 1990; Vilaclara *et al.*, 1993; Macek *et al.*, 1994; Lugo *et al.*, 1993), y la época en que se presentan los picos de densidad se asemeja más a la de lagos templados mesotróficos (Pace y Orcutt, 1981; Beaver *et al.*, 1988; Salbrechter y Arndt, 1994; Schweizer, 1994; Laybourn-Parry, 1994) y oligotróficos de agua coloreada, que a la de lagos oligotróficos de agua clara, según lo informado por Beaver *et al.* (1988), quienes indican un pico de población en otoño-invierno para los lagos claros oligotróficos de Florida.

Los valores de densidad promedio de ciliados en el lago de Alchichica (600 a 4,000 org.l<sup>-1</sup>) y el valor puntual máximo (11,800 org.l<sup>-1</sup>), corresponden con los valores máximos de diversos lagos oligotróficos templados (Foissner *et al.*, 1992), como son: el Lago Bowker, Canadá (3,300 org.l<sup>-1</sup>), Lago Orford, Canadá (4,300 org.l<sup>-1</sup>) y el Mar Muerto (3,700 org.l<sup>-1</sup>). Sin embargo, son más parecidos a los de lagos oligotróficos subtropicales y tropicales, tales como algunos lagos de Florida, EEUU (10,800 org.l<sup>-1</sup>) (Beaver y Crisman, 1982) y el Lago Tangañica, Africa (8,800 org.l<sup>-1</sup>) (Foissner *et al.*, 1992).

### **Distribución vertical de los ciliados.**

Es común en lagos fuertemente estratificados encontrar elevadas concentraciones de especies de ciliados en la picnoclina (Sorokin y Paveljeva, 1972; citado en Massana *et al.*, 1994) y, según Massana *et al.* (1994), muchos de los sistemas con acumulación metalimnética de ciliados presentan un hipolimnion anóxico en la época de estratificación. Tal es el caso de Alchichica, en donde la mayor concentración de ciliados, en la época de estratificación, se presentó en la zona metalimnética, entre los 15 y 30m de profundidad, con condiciones de anoxia en el hipolimnion (gráfs. 6 y 2).

Tanto en la época de circulación (dic-mzo)(gráf.6-A) como en la de estratificación (abr-nov)(gráf.6-B), los organismos se encontraron principalmente entre los 10 y 30m, pero con densidades muy diferentes. En la época de estratificación, las densidades en estas profundidades superaron los 3,000 org.l<sup>-1</sup>, mientras que en la época de circulación, no llegaron a 1,500 org.l<sup>-1</sup>. Es de notar que, al nivel de la superficie, en ambas épocas, las densidades de ciliados fueron más bajas (<800 org.l<sup>-1</sup>). Esto se debe a que, en esta zona, la insidencia de radiación solar (p.e. rayos U.V.) es más intensa, disminuyendo con la profundidad. Además, la fuerza del viento también tiene mayor efecto en la superficie.



**Gráfica 6:** Distribución vertical de los ciliados en la época de circulación (A) y de estratificación (B). Las barras indican error estandar (Promedio  $\pm$  error estandar).

En la época de circulación del lago, los ciliados se encontraron distribuidos en toda la columna de agua, de manera más o menos regular (gráf.6-A). Sin embargo, en la época de estratificación, claramente se concentraron en la zona de la picnoclina (15-30m) y, por debajo de ésta profundidad, la densidad disminuyó considerablemente (gráf.6-B). Las condiciones de anoxia y baja temperatura en el hipolimnion (40-60m)(gráfs. 1 y 2) seguramente limitaron la presencia de organismos en esta zona, ya que los taxa identificados no se consideran anaerobios. Es muy probable que algunos de los ciliados que se encontraron en condiciones de anoxia hayan sido organismos muertos.

### Composición taxonómica de la comunidad de ciliados.

La determinación taxonómica de los organismos resultó difícil ya que las sales presentes en el agua del lago formaron precipitados con algunos de los reactivos empleados en los métodos de tinción argéntica causando un funcionamiento deficiente o nulo de las tinciones. Por lo tanto, la determinación se basó en la observación con microscopía de campo claro, contraste de fases y contraste diferencial de interferencia de organismos *in vivo*, y en muestras fijadas con lugol. Se determinaron aproximadamente 24 taxa de ciliados en Alchichica, que se ordenaron en 14 géneros y 11 familias, y son enlistados en la tabla 2.

Oligotrichida	<i>Halteria</i> sp.
	<i>Limnostrombidium</i> spp.
Hypotrichia	<i>Stylonichia</i> sp.
	<i>Tachysoma</i> sp.
	Otras 2 spp.
Peritrichida	<i>Vorticella</i> del complejo <i>aquadulcis</i>
	<i>Rhabdostyla</i> sp.
Scuticociliatida	<i>Cyclidium</i> sp.
Colpodea	<i>Colpoda</i> sp.
Gymnostomatida	<i>Mesodinium</i> sp.
Karyorelictida	<i>Loxodes</i> sp.
Prostomatida	<i>Bursellopsis</i> sp.
Pleurostomatida	<i>Litonotus</i> sp.
Cyrtophorida	<i>Chilodonella</i> sp.
	<i>Trochilia</i> sp.
	1 sp.
Holotrichida	1 sp.
No identificados	6 spp

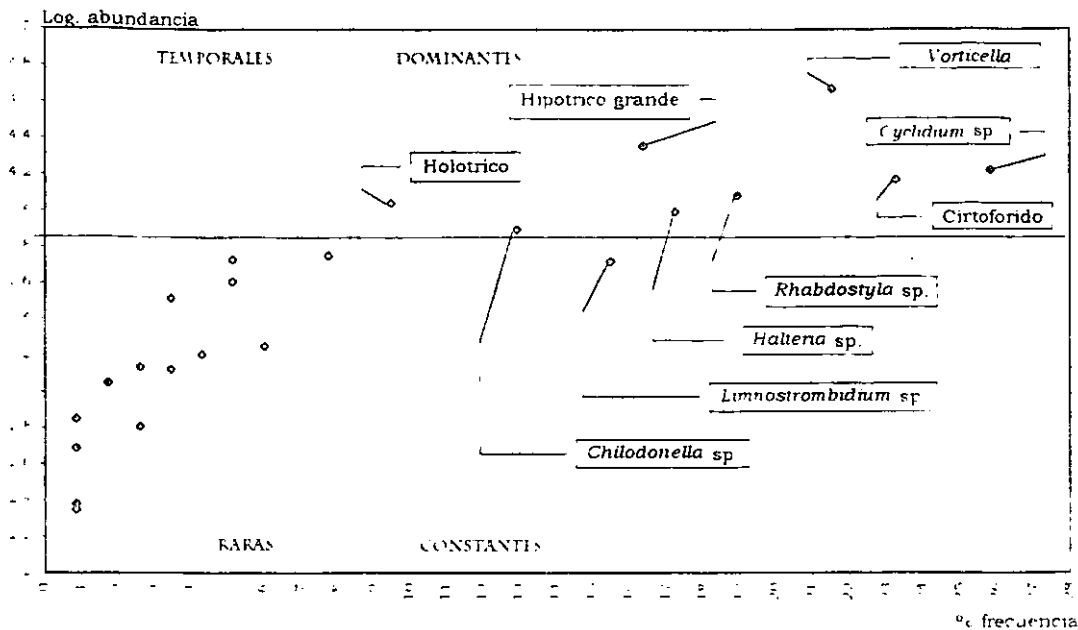
**TABLA 2:** Composición taxonómica de la comunidad de ciliados planctónicos encontrados en el lago Alchichica, durante el periodo ago '93–ago '94, con base en Foissner *et al.* (1991-1994, 1999)

En la tabla 1 se puede constatar que, de estos 24 taxa, 7 se presentaron en la época de estratificación, aunque 3 se presentaron sólo una vez, y otros 4 se presentaron en esta época y en diciembre, pero no en los meses de plena circulación (ene-mzo). Sin embargo, sólo 2 taxa se encontraron únicamente en la época de circulación (ene-feb). El resto de los taxa se encontró indistintamente en una época y en otra. Estos datos señalan que la estratificación del lago es un factor importante en la estructura y distribución de la comunidad de ciliados.

Al graficar la frecuencia contra la abundancia de las especies (gráf.7, según García de León, 1988) se definieron 8 taxa dominantes: *Cyclidium* sp., *Vorticella* del complejo *aquadulcis*, *Rhabdostyla* sp., *Halteria* sp., *Chilodonella* sp., un Ciroforido, un Hipotrico grande y un Holotrico. Solamente un género apareció como constante: *Limnostrombidium* spp. El resto de las especies, se ubicaron como "raras".

El género que apareció con mayor frecuencia (gráf.7) es *Cyclidium* sp. (gráf.8). El análisis de correlación (tabla 3) indica que no hubo una relación significativa de esta especie con los parámetros físicos y químicos analizados ( $p < 0.05$ ). En general, se le encontró en toda la columna de agua. Este fue el grupo más abundante en septiembre de '93 ( $>4,400 \text{org.l}^{-1}$ ), encontrándosele en toda la columna de agua. En enero, *Cyclidium* sp. fue el más abundante de los 6 taxa presentes (tabla 1), aunque su densidad fue menor que en septiembre ( $>1,200 \text{org.l}^{-1}$ ). De febrero a marzo no se presentó (gráf.8), en abril tuvo su menor densidad ( $<500 \text{org.l}^{-1}$ ), y en mayo nuevamente no se encontró. Sin embargo, en junio se incrementó notablemente ( $>3,300 \text{org.l}^{-1}$ ) y en agosto de '94, nuevamente desapareció. Laybourn-Parry (1994) afirma que los scuticociliados son abundantes en lagos templados ricos en nutrientes, pero no reemplazan a los oligotricos en cuanto a dominancia. Sin embargo, en el caso de Alchichica, sí predominan. Otros autores han informado un incremento de scuticociliados en el metalimnion, en la época de estratificación (Pace y Orcutt, 1981), donde la actividad bacteriana es elevada.

*Vorticella* del complejo *aquadulcis* es el grupo que presenta la mayor densidad total ( $>46,000 \text{org.l}^{-1}$ ) (gráf.9). En agosto '94 fue particularmente abundante ( $>27,000 \text{org.l}^{-1}$ ), y se ubicó principalmente entre 15-20m, disminuyendo considerablemente por debajo de esta profundidad ( $<700 \text{org.l}^{-1}$ ). Esta densidad es la causa de la diferencia de abundancia total entre agosto de '93 y agosto de '94, ya que la densidad de este grupo en agosto de '93 ( $<1,200 \text{org.l}^{-1}$ ) fue considerablemente menor a la de agosto de '94. Pace y Orcutt (1981) encontraron un pico de abundancia de *Vorticella* sp., también en agosto, con una distribución vertical equivalente. Fue el grupo más abundante, así mismo, en los meses de octubre ( $>4,900 \text{org.l}^{-1}$ ) y diciembre ( $>9,300 \text{org.l}^{-1}$ ) y, en septiembre '93, fue casi tan abundante como *Cyclidium* sp. ( $>4,000 \text{org.l}^{-1}$ ). Aunque se le encontró únicamente en el período de estratificación (ago-dic) (gráf. 1), su densidad en toda la columna, en los meses señalados, fue mayor a los  $1,000 \text{org.l}^{-1}$  (tabla 3). No se le observó adherida a algas de ningún tipo durante la revisión de las muestras al microscopio, no se le encontró por debajo de 40m y en la superficie presentó densidades muy bajas.



Gráfica 7: Frecuencia vs Abundancia. Se indican los nombres de las especies dominantes y constantes.

	<i>Cyclidium</i> sp	<i>Vorticella aquaductus</i> complex	<i>Rhabdostyla</i> sp	<i>Halteria</i> sp	<i>Limnstrombidium</i> sp	Cirtoforido	Hipotríco gde.	Holobíco	<i>Bursellopsis</i> sp	<i>Colpoda</i> sp	<i>Litonotus</i> sp	<i>Laxodes</i> sp	<i>Mesodinium</i> sp	Hipotríco peq.	sp C	sp E	sp F	Temperatura	Saturación de oxígeno	pH
<i>Cyclidium</i> sp	1																			
<i>Vorticella</i>		1																		
<i>Rhabdostyla</i> sp	0.19		1																	
<i>Halteria</i> sp	0.21		-0.22	1																
<i>Limnstrombidium</i> sp	0.21				1															
Cirtoforido				0.25		1														
Hipotríco gde.							1													
Holobíco							0.42	1												
<i>Bursellopsis</i> sp									1											
<i>Colpoda</i> sp										1										
<i>Litonotus</i> sp											1									
<i>Laxodes</i> sp										0.36	0.27	1								
<i>Mesodinium</i> sp										0.62	0.28	0.45	0.28	1						
Hipotríco peq.										0.24				1						
sp C														0.28	1					
sp E							0.20	0.51								1				
sp F								0.23									0.32	1		
Temperatura		0.22											0.19						1	
Saturación de oxígeno						-0.2					-0.2	-0.2						0.59	1	
pH						0.41	0.21									0.21				1
Conductividad			-0.3	0.23																-0.3
																				0.19

Tabla 3: Resultados del análisis de correlación producto-momento de Pearson (Steel y Torrie, 1998),  $p < 0.05$



Algunos autores mencionan que los peritricos son particularmente comunes en lagos meso a eutróficos, donde consumen especies del fitoplancton mayores, como diatomeas y cianobacterias coloniales (Kerr, 1983 y Müller *et al.*, 1991, citados en: Laybourn-Parry, 1994; Laybourn-Parry *et al.*, 1991), sin embargo, en los meses en que se presentaron los florecimientos (enero y abril) en Alchichica, este grupo no se presentó.

*Rhabdostyla* sp. (gráf. 10) fue el taxon más abundante en noviembre '93 ( $>2,200\text{org.l}^{-1}$ ), aunque su mayor densidad se registró en abril ( $>3,000\text{org.l}^{-1}$ ), donde se le asocia con el florecimiento de *N. spumigena*, ya que se adhiere a ella para flotar. También en abril fue el taxon predominante. No se presentó en los meses más cálidos (jun-ago) (gráf. 1) y su densidad en mayo y septiembre es relativamente baja ( $<450\text{org.l}^{-1}$ ), pero en mayo estuvo ubicada únicamente a 40m, por lo que es probable que se tratara de organismos muertos. Pace y Orcutt (1981) señalan, para el lago Oglethorpe, un pico de abundancia de *Rhabdostyla* sp. en noviembre y su presencia solo en la época fría. Esta situación coincide con lo observado en Alchichica donde la especie estuvo presente al inicio de la época fría (oct-dic). Sin embargo, la densidad más elevada presentó mayor relación con la presencia del florecimiento de *N. spumigena* que con las bajas temperaturas, puesto que en el mes de abril, precisamente, se inició el incremento de la temperatura superficial después de la circulación.

*Halteria* sp. presentó un máximo de densidad en junio (gráf. 11), ubicándose de los 5 a los 60m. Aunque en noviembre se presentó con una abundancia  $>1,100\text{org.l}^{-1}$ , en el periodo de octubre hasta mayo, en general, su abundancia fue relativamente baja ( $<500\text{org.l}^{-1}$ ) o no se presentó (ene-feb), por lo que se puede considerar que prefiere la época de estratificación. *Halteria* sp. se ha señalado como consumidor de algas y de flagelados, y se ha mantenido en cultivo alimentándose exclusivamente de bacterias (Laybourn-Parry, 1992), por lo que puede ser mixotrófico. Sin embargo, en los meses en que hubo florecimientos algales (enero y abril), no se le encontró.

La abundancia de *Chilodonella* sp. generalmente no rebasó los  $1,200\text{org.l}^{-1}$  (gráf. 12) pero en junio alcanzó  $>3,500\text{org.l}^{-1}$ . Tuvo una presencia más o menos constante (tabla 1). No tiene relación con ninguno de los factores físicos y químicos analizados ni con otros taxa, según el análisis aplicado, razón por la cual no se incluyó en la tabla 3. Se le encontró prácticamente en toda la columna de agua y en cualquiera de las dos épocas, indistintamente.

La especie de Cirtoforido dominante (gráf. 13) fue más frecuente, pero menos abundante que *Vorticella* del complejo *aquadulcis*; no se encontró entre enero y marzo, que es la época de circulación del lago, pero de abril a diciembre se presentó regularmente, inclusive en condiciones anóxicas. Su mayor densidad se registró en junio '94 ( $>4,000\text{org.l}^{-1}$ ), distribuido prácticamente en toda la columna de agua. Frecuentemente se le encontró en condiciones de anoxia (gráfs. 2 y 13), lo que se

refleja en el análisis de correlación, en que presentó una relación negativa ( $p < 0.05$ ) con la saturación de oxígeno (-0.19) (tabla 3).

El Hipotrico definido dentro de los taxa dominantes, corresponde a una especie que mide alrededor de  $73 \times 42 \mu\text{m}$ , por lo que se le denominó "grande" para distinguirlo de otra especie de Hipotrico más pequeño ( $42 \times 24 \mu\text{m}$ ), que es una especie considerada como rara en este estudio (gráf.7). La mayor abundancia de este organismo ( $>15,000 \text{org.l}^{-1}$ ) (gráf. 14), se presentó en mayo, justo después del florecimiento de *N. spumigena*, siendo la especie más abundante en este mes y el siguiente (Jun,  $>5,000 \text{org.l}^{-1}$ ). En el periodo de octubre a diciembre, su abundancia fue relativamente baja ( $<450 \text{org.l}^{-1}$ ), y no se presentó el resto del tiempo. El análisis de correlación (tabla 3) indica que su distribución se relaciona con las variaciones de la temperatura y el pH, tal vez por que en mayo y junio es cuando se registró la mayor temperatura, y coincide con los valores de pH más altos registrados. Pero, su distribución parece estar más relacionada al florecimiento de *Nodularia spumigena*, en abril, y su decaimiento en mayo.

En el mes de mayo, la especie de Holotrico mostró su mayor densidad ( $>9,000 \text{org.l}^{-1}$ ) (gráf. 15), probablemente relacionada con la declinación del florecimiento de *N. spumigena* del mes anterior. Se presentó de agosto a octubre y en abril, pero con baja densidad ( $<900 \text{org.l}^{-1}$ ). El resto del año no apareció. Claramente se ubicó en el periodo de estratificación más marcada, en el metalimnion, y no se le observó por arriba de los 10m, donde la temperatura alcanzó su máximo ( $19.8^\circ\text{C}$ ). Tampoco se encontró en condiciones de anoxia.

El taxon definido como constante, *Limnostrombidium* spp. (gráf. 16), puede presentar algunos problemas de interpretación, debido a que algunas especies del género *Strombidium*, incluyendo diversas especies como *S. viride*, *S. fallax*, *S. mirabile*, *S. pelagicum*, *S. pelagoviride*, etc., a partir de 1995 se han separado en 2 géneros: *Limnostrombidium* y *Pelagostrombidium*. (Foissner *et al.*, 1999). Es por ello que al revisar la literatura en que se menciona al género *Strombidium*, no podemos tener la certeza de que los datos sean comparables a los del organismo que se encontró en Alchichica.

Este organismo mostró densidades  $<1,000 \text{org.l}^{-1}$ , pero estuvo presente casi todo el año. No apareció en enero, ni entre abril y junio, pero en febrero fue el taxon más abundante de los 3 taxa que se presentaron en este mes, justo después del florecimiento de diatomeas de enero. Entre agosto y octubre, época de estratificación (gráf. 1), se le encontró en el límite de la oxiclina (30-40m), en condiciones microaerobias ( $<1\%$ ) o anóxicas (gráf. 2), además de encontrarse casi en la superficie (3m). Massana *et al.* (1994) afirman que los ciliados alguívoros frecuentemente tienen algas endosimbiontes y otros autores han señalado algunas especies de *Strombidium* como alguívoras y con endosimbiontes algales (Laybourn-Parry, 1992; Macek *et al.*, 1994; Pace y Orcutt, 1981). Esta información, aunada a la particular distribución de *Limnostrombidium* spp. en Alchichica y la observación de al menos un individuo que contenía algas en su interior, indican una nutrición

mixotrófica para este organismo, al menos durante la época de estratificación y en la fase de agua clara posterior al florecimiento de primavera. Laybourn-Parry (1994) indica que los oligotricos mixotróficos pueden ser un componente significativo en la fase de agua clara en sistemas meso-eutróficos, ya que esta versatilidad nutricional les confiere una ventaja competitiva bajo estas condiciones particulares.

### Relaciones interespecíficas.

En el análisis de correlación aplicado, se obtuvieron datos que relacionan a algunos taxa entre sí. No obstante, estas relaciones parecen estar más bien ligadas a unos requerimientos ambientales similares que a una interdependencia o a la depredación entre ellos.

El coeficiente de correlación (tabla 3) de *Cyclidium* sp. con *Halteria* sp. no es muy elevado (0.21) pero sí resultó significativo ( $p < 0.05$ ). Lo anterior es un reflejo del hecho de que ambos taxa se presentaron más o menos en la misma época, pero, en general, *Cyclidium* sp. fue más abundante y su distribución vertical fue más amplia (gráf. 8). Por ejemplo, mientras que a éste se le encontró prácticamente en toda la columna de agua en octubre lo mismo que en diciembre, *Halteria* sp. solamente se presentó a los 10m en octubre y a los 30m en diciembre, y no muy abundante ( $< 230 \text{org.l}^{-1}$ ) (gráf. 11). La abundancia total de *Halteria* sp. en junio ( $> 3,800 \text{org.l}^{-1}$ ) es un poco mayor que la de *Cyclidium* sp. en el mismo mes ( $> 3,300 \text{org.l}^{-1}$ ), pero a este último se le encontró principalmente a 50-60m y a *Halteria* sp. en toda la columna.

Taxa como *Bursellopsis* sp., *Mesodinium* sp., *Litonotus* sp. y el holotrico, además de *Vorticella* del complejo *aquadulcis*, *Loxodes* sp., un cirtoforido y un hipotrico grande (tabla 1) únicamente se encontraron entre agosto y diciembre, es decir, en la época de estratificación y presentaron una correlación significativa entre ellas ( $r > 0.4$ ,  $p < 0.05$ ) (tabla 3), aunque la densidad y la distribución vertical de cada taxa es variable.

Entre *Halteria* sp. y *Rhabdostyla* sp. se obtuvo una correlación negativa significativa ( $r = -0.22$ ,  $p < 0.05$ ) (tabla 3) que puede atribuirse a que *Halteria* sp. se presentó más abundante de junio a noviembre (gráf.11), y *Rhabdostyla* sp. fue abundante de octubre a diciembre y en marzo y abril (gráf. 10), es decir, cuando una era abundante, la otra no. Sin embargo, en enero y febrero, así como en agosto ('94), no estuvo presente ninguno de los dos taxa.

*Halteria* sp. también presenta relación con el Cirtoforido dominante ( $r = 0.25$ , tabla 3), que refleja la presencia de ambos taxa en los mismos meses (gráfs.11 y 13), aproximadamente, con un máximo de abundancia en junio. En agosto de '93, ambos se presentaron con mayor abundancia, a 30m.

Entre el hipotrico grande y el holotrico, el análisis indicó una correlación de 0.42 ( $p < 0.05$ ), lo cual refleja el hecho de que ambos se presentaron con mayor abundancia en mayo, prácticamente en toda la columna de agua.

La correlación más alta ( $r = 0.62$ , tabla 3) se definió entre *Bursellopsis* sp. y *Mesodinium* sp., aunque no son de los taxa dominantes. Ambos se presentaron en septiembre a la misma profundidad (20m), y en agosto de 1994, tienen su mayor abundancia ( $> 800$  y  $> 4,000 \text{ org.l}^{-1}$ , respectivamente), ubicándose entre los 10 y 30m. Ninguno de los dos taxa se encontró en la época de circulación.

## CONCLUSIONES.

Se determinó que la comunidad de ciliados planctónicos presentes en Alchichica consta de aproximadamente 24 taxa, pertenecientes a 11 familias principalmente. Ocho de estos taxa son dominantes: *Cyclidium* sp, *Halteria* sp, *Rhabdostyla* sp, *Vorticella* del complejo *aquadulcis*, *Chilodonella* sp, un Holotrico, un Hipotrico grande y un Cirtoforido; y sólo uno es constante: *Limnostrombidium* spp. El resto se consideran raros.

El ciclo anual de los ciliados mostró un pico de densidad al principio de la época de estratificación (mayo) y un máximo a mediados de la misma (agosto), con bajas concentraciones durante el período de circulación. La máxima riqueza específica de ciliados se presentó en septiembre, cuando el lago se encontraba plenamente estratificado.

Las densidades de ciliados totales en Alchichica fueron similares a las observadas en otros lagos oligotróficos, tanto templados como tropicales y subtropicales. La afinidad fue mayor con los dos últimos.

La relación con los parámetros ambientales medidos no parece ser determinante para la distribución de los ciliados, según el análisis de correlación y la propia distribución de los organismos. Sólo dos géneros presentaron relación negativa con los valores de saturación de oxígeno: *Loxodes* sp. y *Litonotus* sp., que se refleja en su distribución vertical. Sin embargo, es claro que en la época de estratificación, asociada a la estación cálida y lluviosa, hay mayor densidad y riqueza específica.

La distribución temporal y espacial de los ciliados estuvo determinada, aparentemente, por los procesos de estratificación y mezcla del lago, por la posición de la termoclina y la oxiclina, así como por procesos relacionados con el incremento y decaimiento de los productores primarios, tales como *Nodularia spumigena*.

La mayor concentración de ciliados en la columna de agua coincidió con la zona metalimnética en la época de estratificación, con condiciones de anoxia en el hipolimnion. Los taxa presentes en esta época, pero no en la época de circulación

Entre el hipotrico grande y el holotrico, el análisis indicó una correlación de 0.42 ( $p < 0.05$ ), lo cual refleja el hecho de que ambos se presentaron con mayor abundancia en mayo, prácticamente en toda la columna de agua.

La correlación más alta ( $r = 0.62$ , tabla 3) se definió entre *Bursellopsis* sp. y *Mesodinium* sp., aunque no son de los taxa dominantes. Ambos se presentaron en septiembre a la misma profundidad (20m), y en agosto de 1994, tienen su mayor abundancia ( $> 800$  y  $> 4,000 \text{ org.l}^{-1}$ , respectivamente), ubicándose entre los 10 y 30m. Ninguno de los dos taxa se encontró en la época de circulación.

## CONCLUSIONES.

Se determinó que la comunidad de ciliados planctónicos presentes en Alchichica consta de aproximadamente 24 taxa, pertenecientes a 11 familias principalmente. Ocho de estos taxa son dominantes: *Cyclidium* sp, *Halteria* sp, *Rhabdostyla* sp, *Vorticella* del complejo *aquadulcis*, *Chilodonella* sp, un Holotrico, un Hipotrico grande y un Cirtoforido; y sólo uno es constante: *Limnostrombidium* spp. El resto se consideran raros.

El ciclo anual de los ciliados mostró un pico de densidad al principio de la época de estratificación (mayo) y un máximo a mediados de la misma (agosto), con bajas concentraciones durante el período de circulación. La máxima riqueza específica de ciliados se presentó en septiembre, cuando el lago se encontraba plenamente estratificado.

Las densidades de ciliados totales en Alchichica fueron similares a las observadas en otros lagos oligotróficos, tanto templados como tropicales y subtropicales. La afinidad fue mayor con los dos últimos.

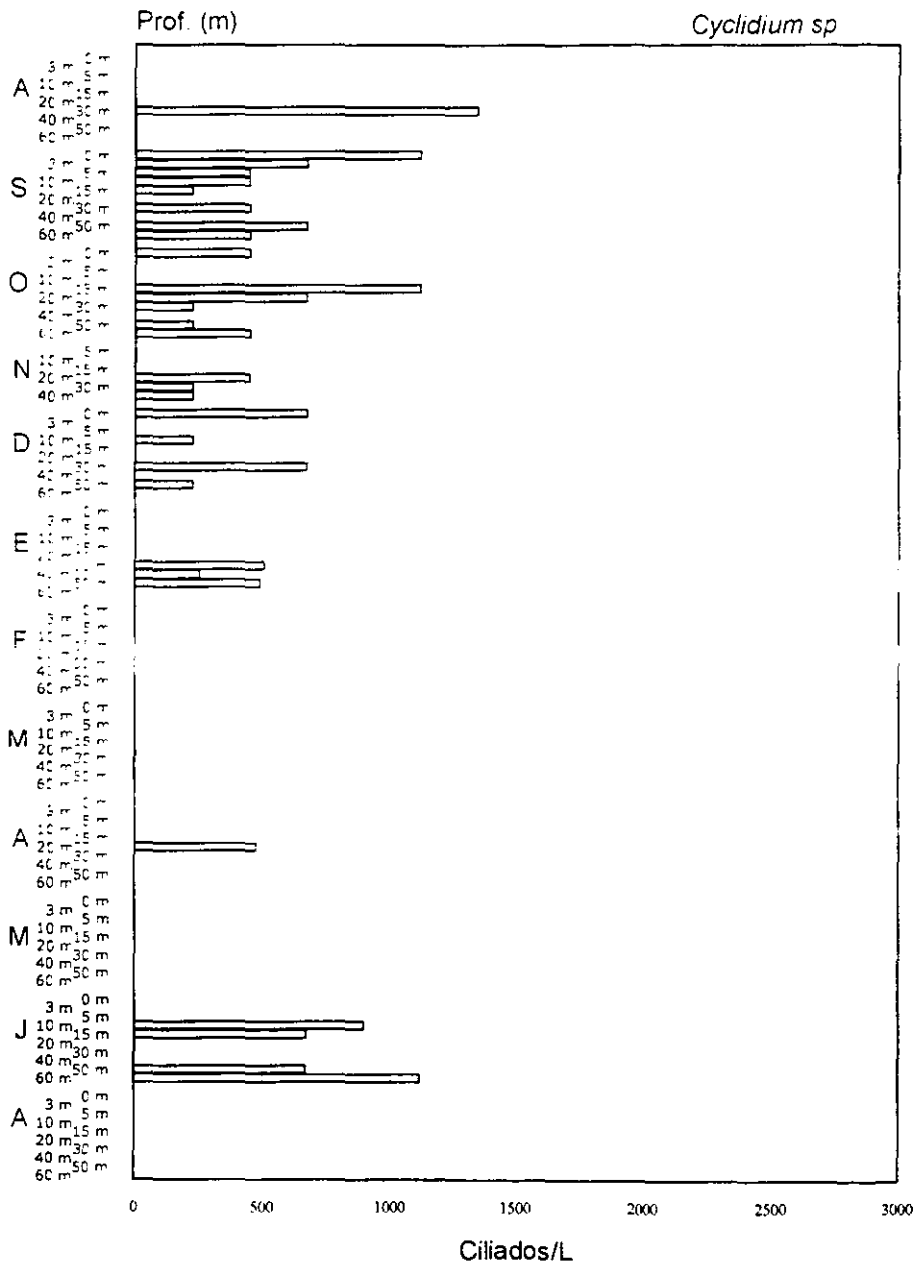
La relación con los parámetros ambientales medidos no parece ser determinante para la distribución de los ciliados, según el análisis de correlación y la propia distribución de los organismos. Sólo dos géneros presentaron relación negativa con los valores de saturación de oxígeno: *Loxodes* sp. y *Litonotus* sp., que se refleja en su distribución vertical. Sin embargo, es claro que en la época de estratificación, asociada a la estación cálida y lluviosa, hay mayor densidad y riqueza específica.

La distribución temporal y espacial de los ciliados estuvo determinada, aparentemente, por los procesos de estratificación y mezcla del lago, por la posición de la termoclina y la oxiclina, así como por procesos relacionados con el incremento y decaimiento de los productores primarios, tales como *Nodularia spumigena*.

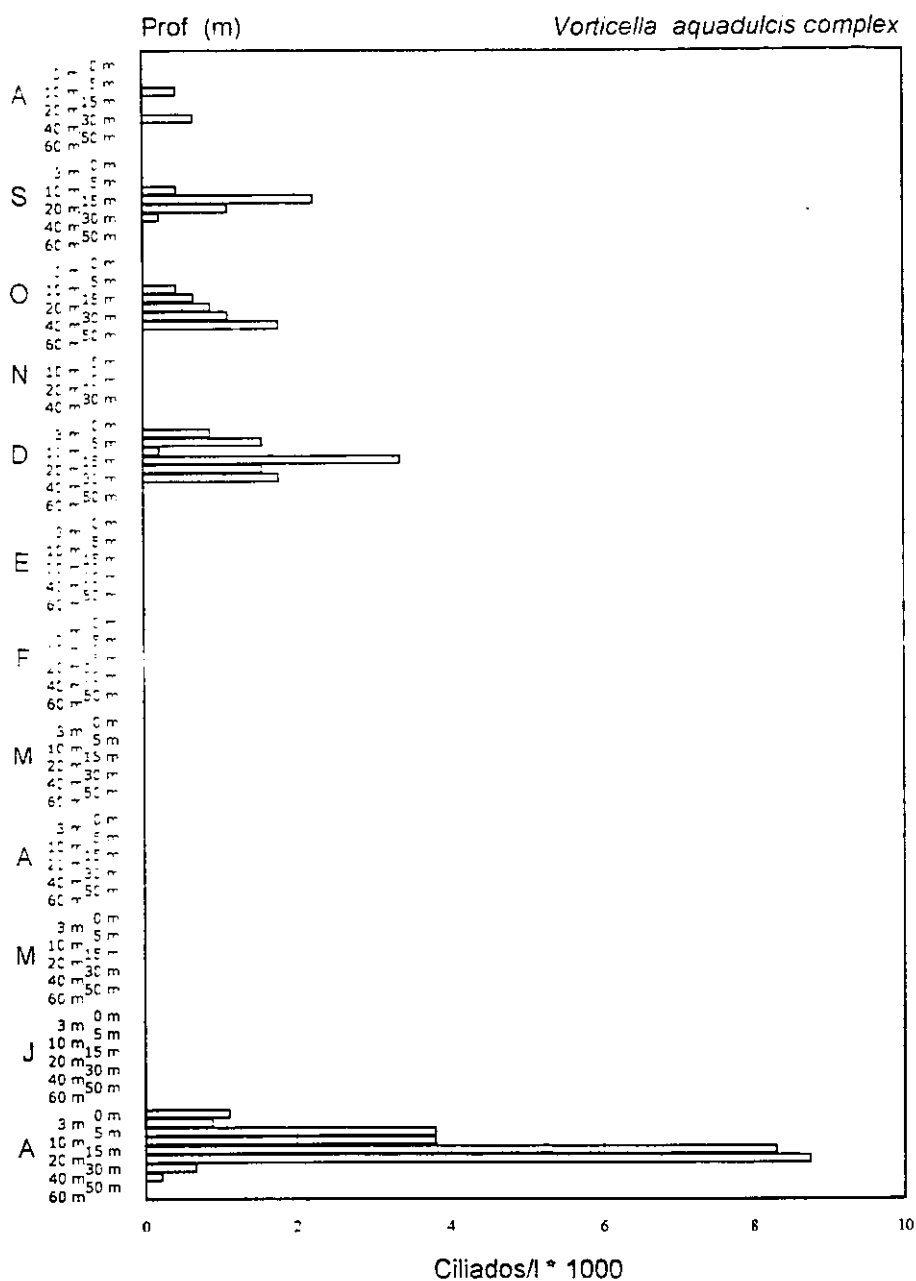
La mayor concentración de ciliados en la columna de agua coincidió con la zona metalimnética en la época de estratificación, con condiciones de anoxia en el hipolimnion. Los taxa presentes en esta época, pero no en la época de circulación

son: *Bursellopsis* sp., *Mesodinium* sp., *Litonotus* sp., *Loxodes* sp., *Vorticella* del complejo *aquadulcis*, un cirtoforido, un hipotrico y un holotrico.

Al parecer, los grupos de ciliados bacterívoros predominaron la mayor parte del tiempo, pero organismos alguívoros, que pueden ser mixotróficos, también estuvieron presentes.



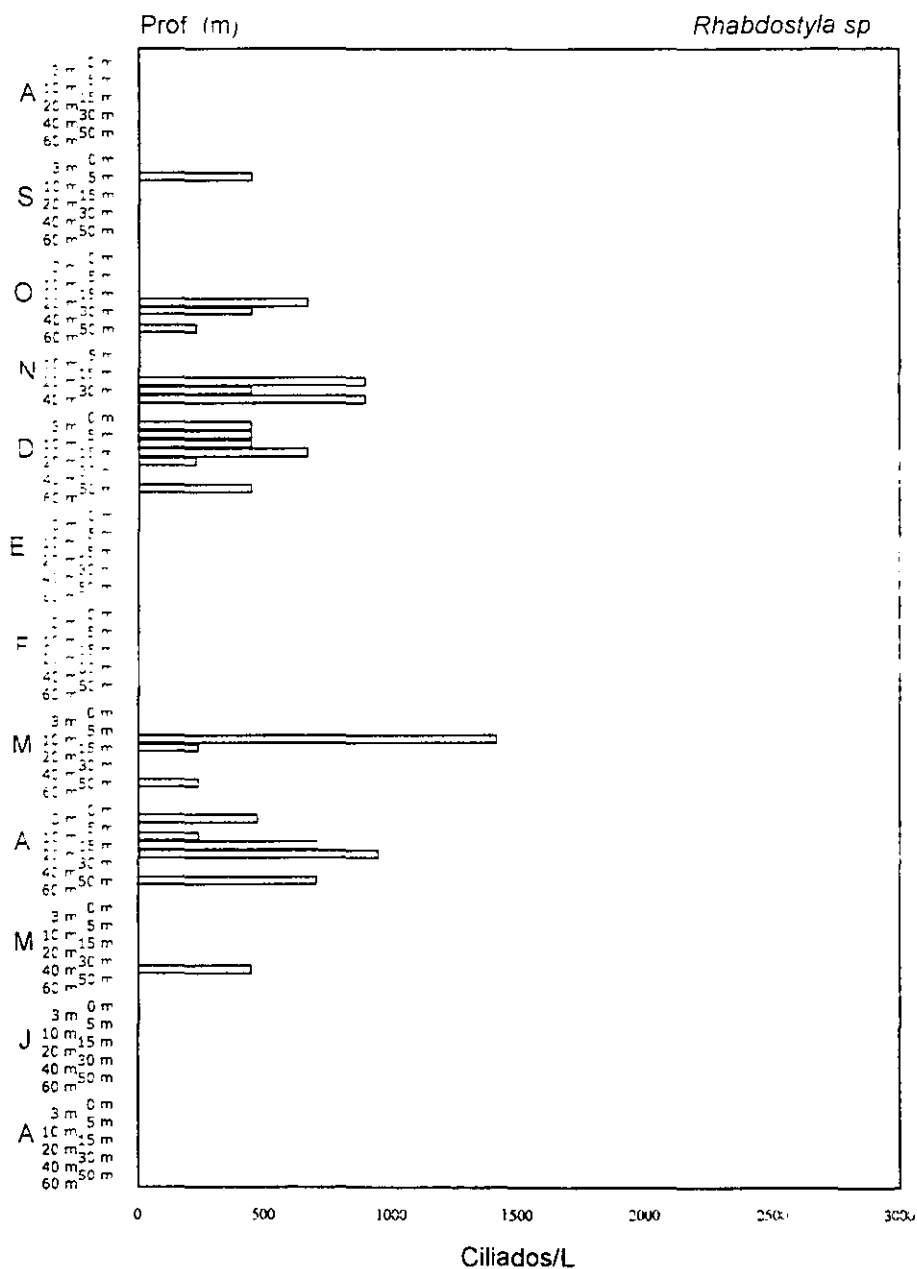
**Gráfica 8:** Distribución temporal y vertical de *Cyclidium sp.*



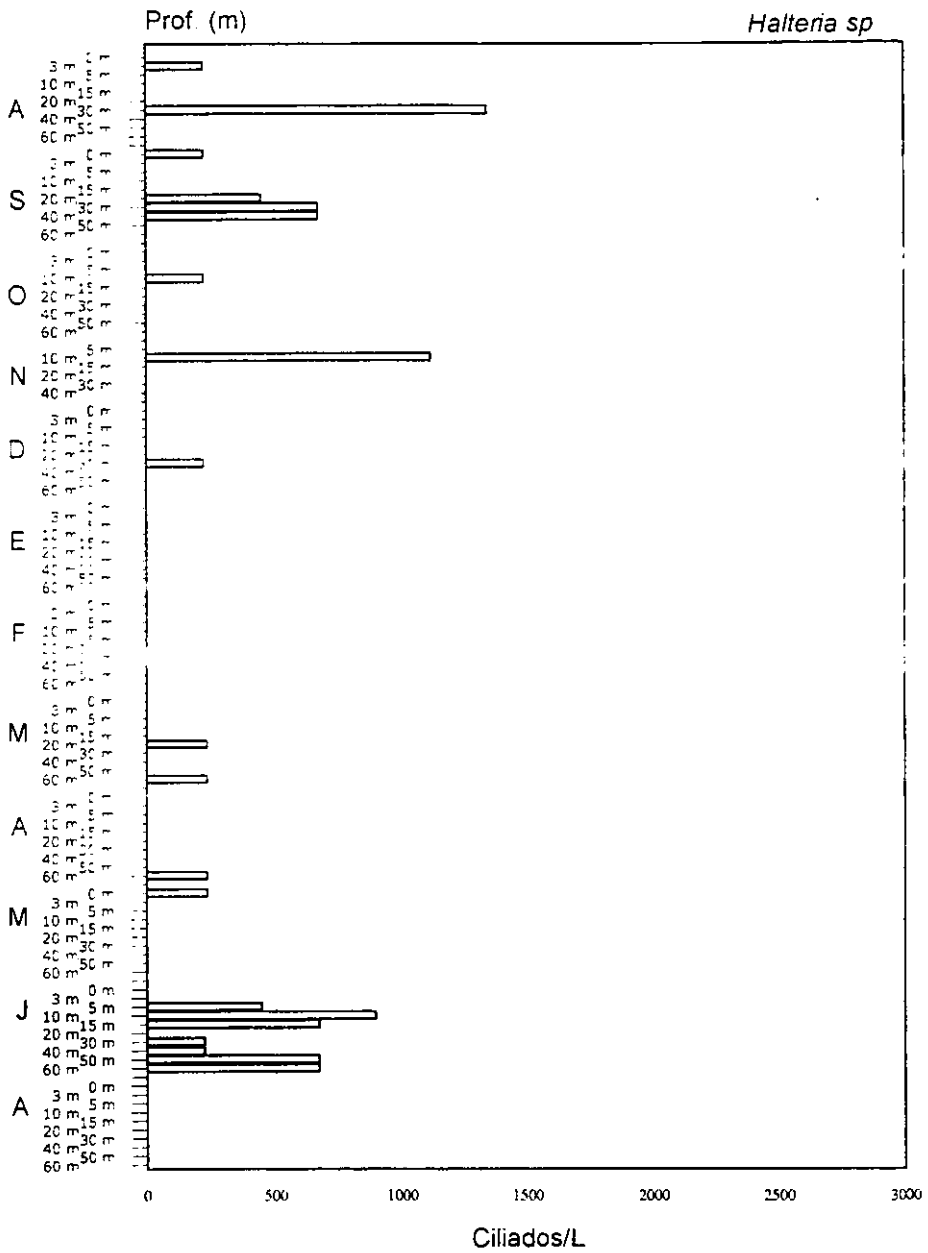
**Atención:** La escala es mayor, debido a la gran abundancia de este grupo.

**Gráfica 9:** Distribución temporal y vertical de *Vorticella* del complejo *aquadulcis*

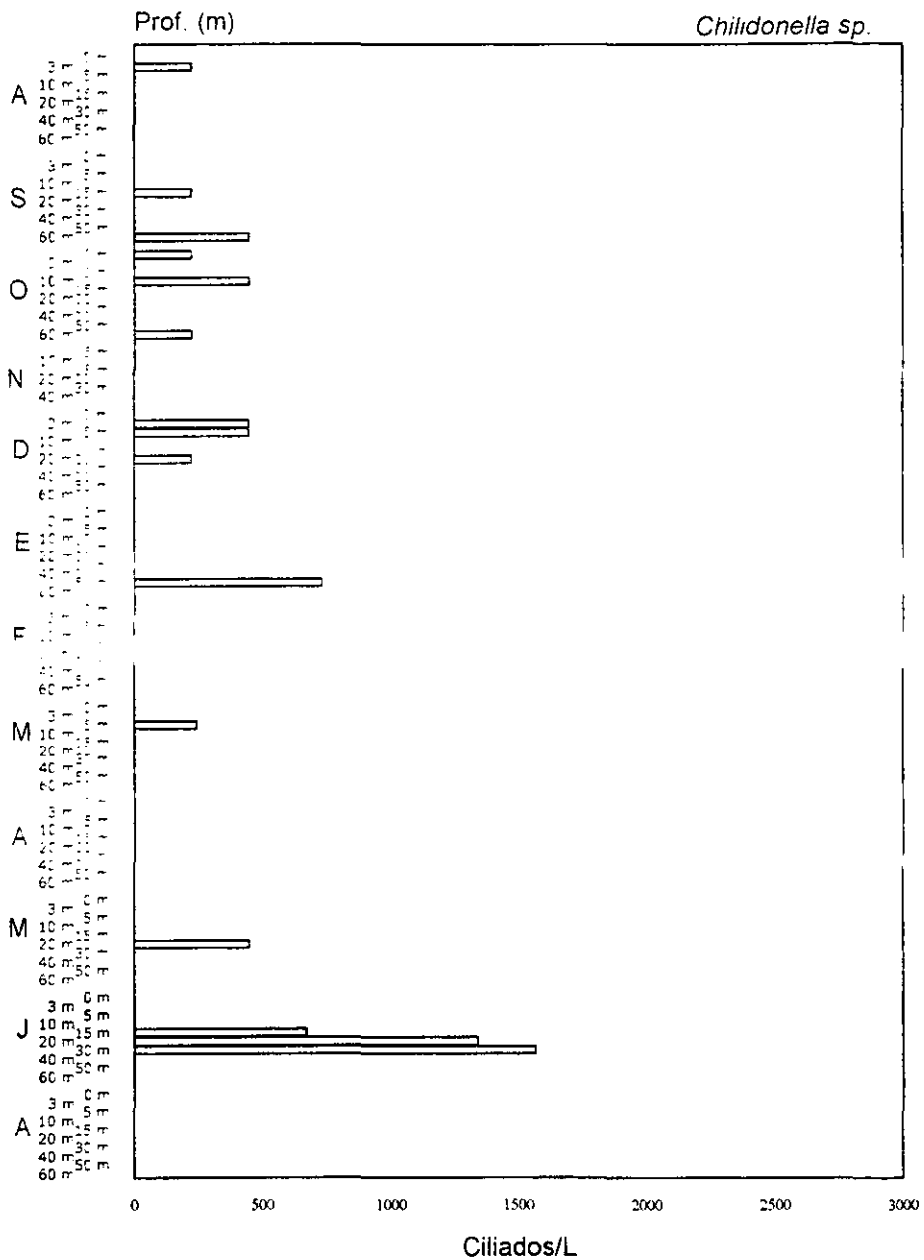




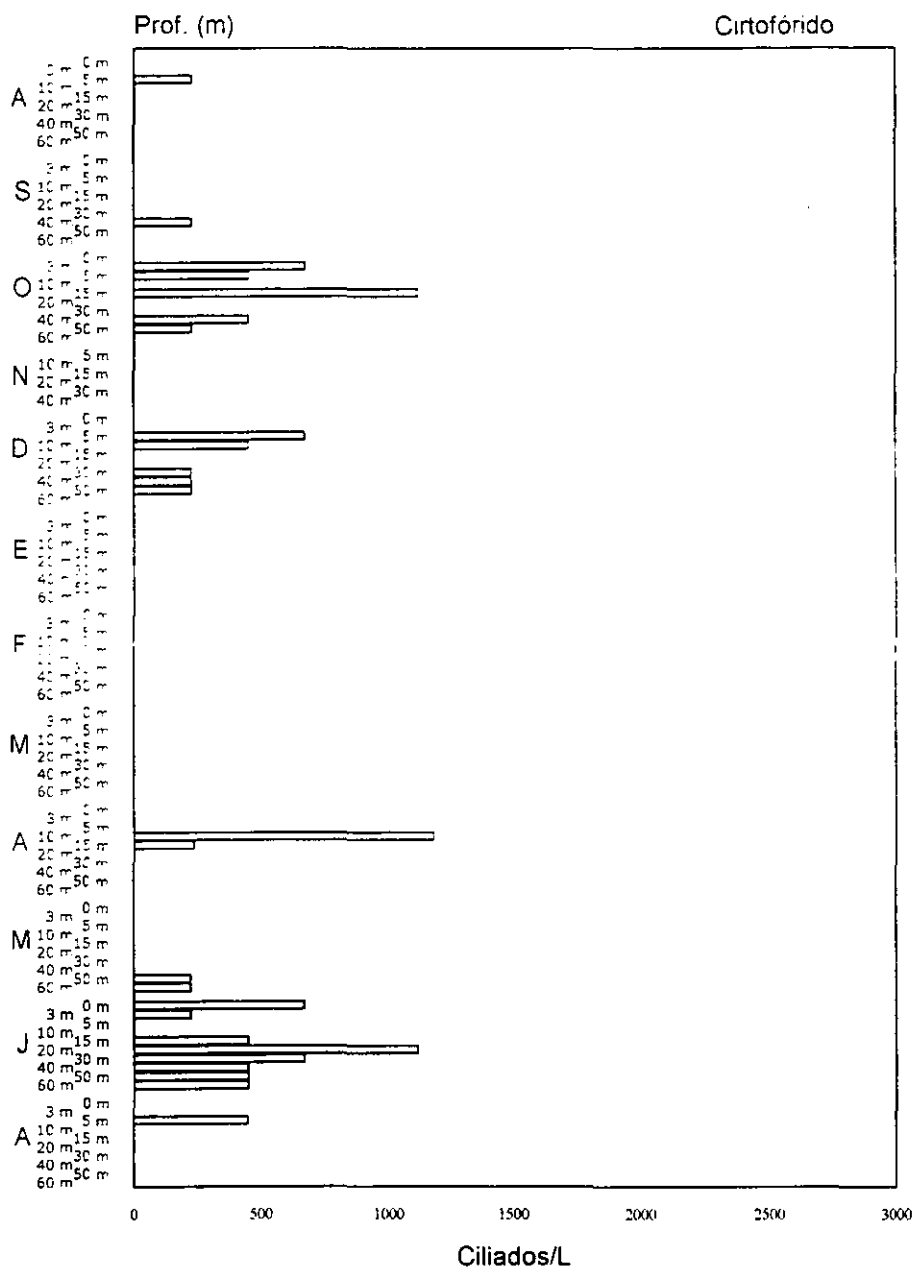
**Gráfica 10:** Distribución temporal y vertical de *Rhabdostyla* sp.



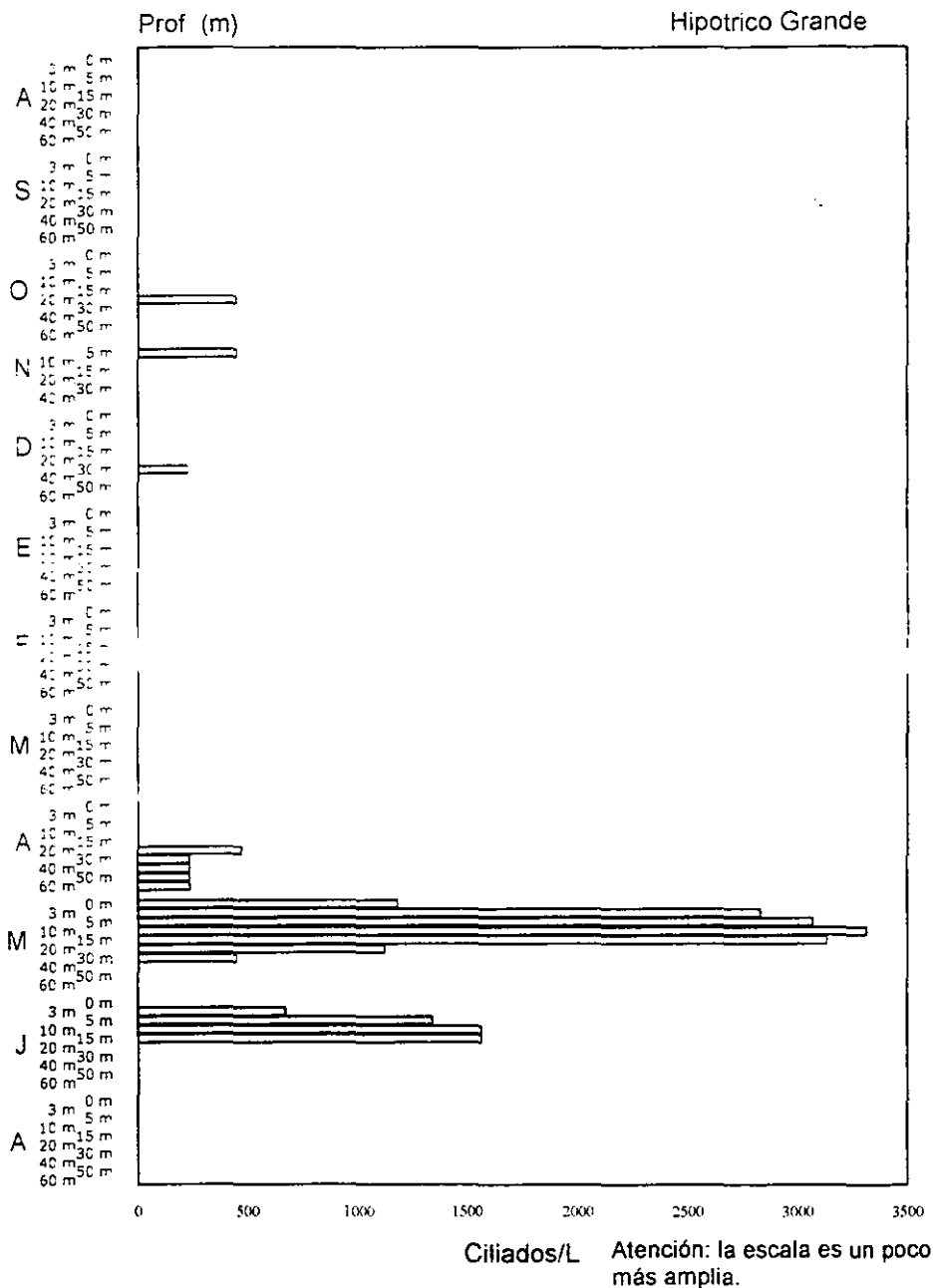
**Gráfica 11:** Distribución temporal y vertical de *Halteria sp.*



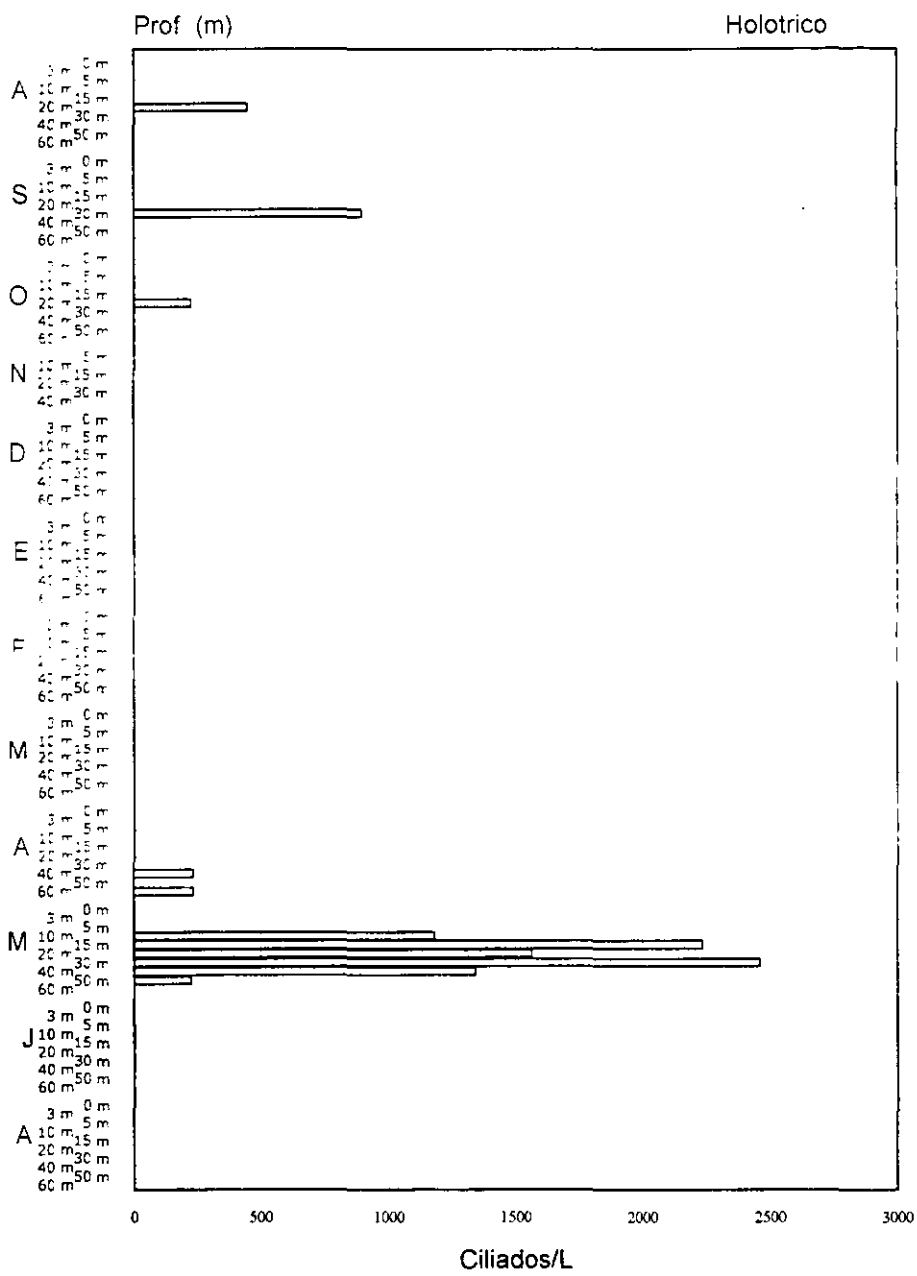
**Gráfica 12:** Distribución temporal y vertical de *Chilodonella* sp.



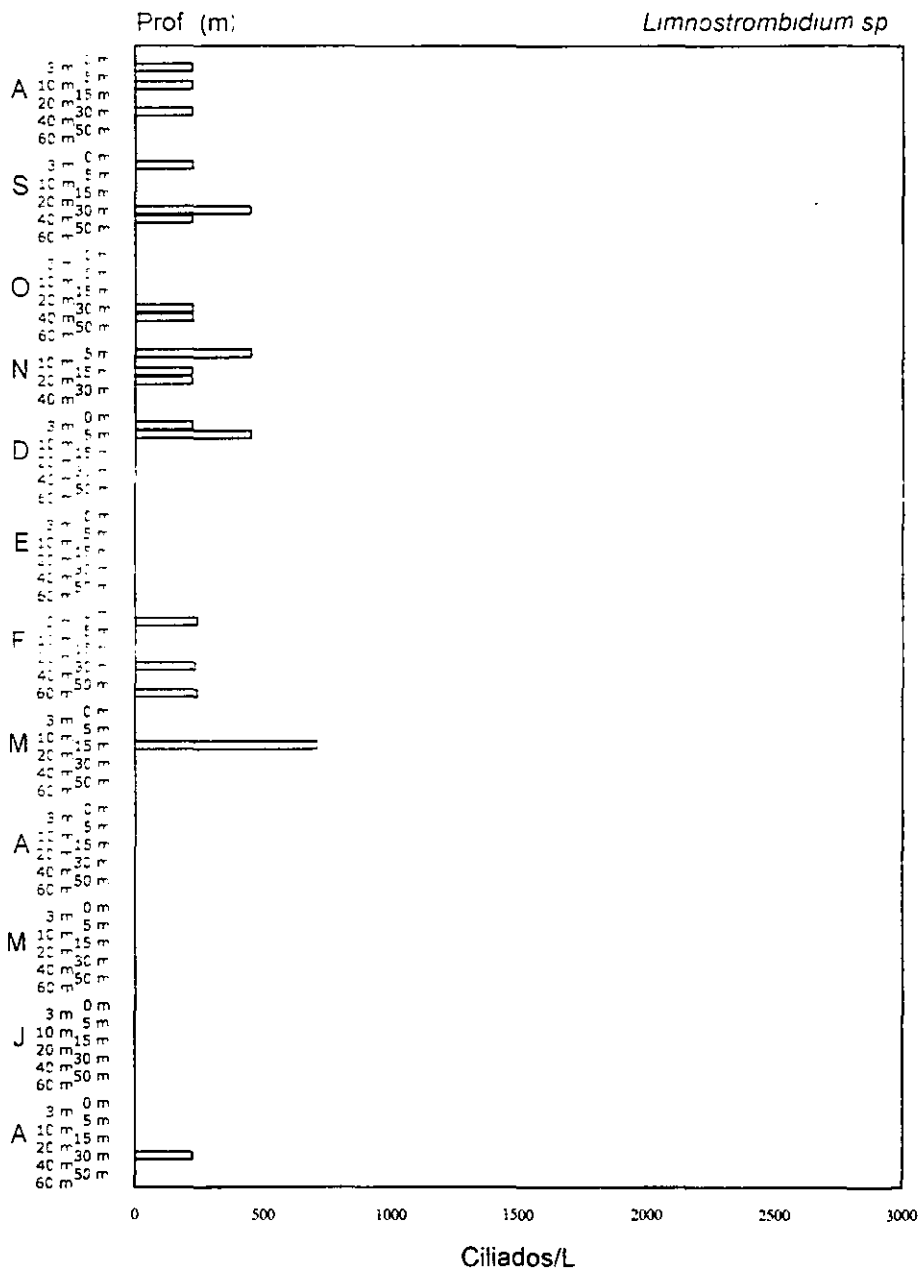
Gráfica 13: Distribución temporal y vertical del cirtoforido dominante.



**Gráfica 14:** Distribución temporal y vertical del hipotrico grande, dominante.



Gráfica 15: Distribución temporal y vertical del holotrico dominante.



**Gráfica 16:** Distribución temporal y vertical de *Limnostrombidium spp.*

## REFERENCIAS.

- Alcocer, J. D. y E. B. Escobar. 1990. The drying up of the mexican plateau Axalapazcos. Salinet, 4: 34-36.
- Alcocer, J., A. Lugo, S. Estrada, M. Ubeda, y E. Escobar. 1993a. La macrofauna bentónica de los axalapazcos mexicanos. Actas del VI Congreso Español de Limnología, 33: 409-415.
- Alcocer, J., A. Lugo, S. Estrada, M. Ubeda y E. Escobar. 1993b. Littoral chironomids of a Mexican Plateau athallassohaline lake. Verh. Internat. Verein. Limnol., 25: 444-447.
- Alcocer, J. y W. D. Williams. 1993. Lagos Salinos Mexicanos. pp. 849-865. In: Biodiversidad Marina y Costera de México. S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González (eds). Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México, 865 pp.
- Alcocer, J. y U. T. Hammer. 1998. Saline lake ecosystems of Mexico. Aquatic Ecosystem Health and Management, 1: 291-315.
- Alcocer, J., E. Escobar, A. Lugo y L. Peralta. 1998. Litoral benthos of the saline crater lakes of the basin Oriental, Mexico. International journal of Salt Lake Research, 7: 87-108.
- Alcocer, J., A. Lugo, E. Escobar, M. R. Sánchez y G. Vilaclara. 2000. Water column stratification and its implications in the tropical warm monomictic Lake Alchichica, Puebla, Mexico. Verh. Internat. Verein. Limnol, 27:
- Alvarez, J. 1950. Contribución al conocimiento de los peces de la región de los Llanos, Estado de Puebla (México). An. Esc. Nal. Cienc. Biol. (1-4): 81-107.
- Arredondo-Figueroa, J.L., L.E. Borrego-Enríquez, R.M. Castillo-Domínguez y M.A. Valladolid-Laredo. 1983. Batimetría y Morfometría de los lagos "maars" de la cuenca de Oriental, Puebla, Méx. Biótica, 8(1): 37-47.
- Arredondo-Figueroa, J.L., O. Vera Mackintosh y A. O. Ortiz. 1984. Análisis de Componentes Principales y Cúmulos de datos limnológicos, en el lago de Alchichica, Puebla. Biótica. 9(1): 23-39.
- 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. Ser. 10: 257-263.
- Beaver, J.R. y T.L. Crisman. 1982. The trophic response of ciliated protozoan in freshwater lakes. Limnol. Oceanogr. 27(2): 246-253.



- Beaver, J.R., T.L. Crisman y R.W. Bienert, Jr. 1988. Distribution of planktonic ciliates in highly coloured subtropical lakes: comparison with clearwater ciliate communities and the contribution of myxotrophic taxa to total autotrophic biomass. Freshwater Biology, 20: 51-60.
- Brandon, R.A., E.J. Maruska y W.T. Rumph. 1981. A new species of neotenic *Ambystoma* (Amphibia, Caudata) endemic to Laguna Alchichica, Puebla, Mexico. Bull. Southern California Acad. Sci. 80: 112-125.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). 1960-62. Análisis químicos del agua de las lagunas de El Carmen, Alchichica, en Puebla. Oficina de estudios, Sección de Hidrobiología. C. F. E. México. Reporte inédito.
- 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.
- De Buen, F. 1945. Investigaciones sobre ictiología mexicana I. Atherinidae de aguas continentales de México. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. México. 16 (2): 475-507.
- Díaz, P. E. y M. C. Guerra. 1979. Estudios limnológicos de los axalapazcos del Estado de Puebla: resultados preliminares. In: Memorias del Seminario de Ecología. I.P.N. México. 20 pp.
- Escobar-Briones, E., J. Alcocer, E. Cienfuegos y P. Morales. 1998. Carbon stable isotopes ratios of pelagic and litoral communities in Alchichica crater-lake, Mexico. International Journal of Salt Lake Research, 7: 345-355.
- Fenchel, T. 1987. Ecology of Protozoa: The Biology of free-living phagotrophic protists. Science Tech, Inc. p. 72-74, 86-90.
- Fernández-Galiano, D. 1994. The ammoniacal silver carbonate method as a general procedure in the study of protozoa from sewage (and other) waters. Wat. Res. Vol.28. Nº 2, p. 495 - 496.
- Finlay, B. J. 1980. Temporal and vertical distribution of ciliophoran communities in the benthos of a small eutrophic loch with particular reference to the redox profile. Freshwater Biology, 10: 15-34.
- Finlay, B. J. y B. E. Guhl. 1992. Plankton sampling-freshwater. En: Lee, J. J. y Soldo, A. T. (eds.). Protocols in Protozoology. Society of Protozoologists, Kansas. p. B1.1 - B1.5

- Flores, E. 1998. Estudio poblacional de tres especies de *Poblana* (Pisces: Atherinopsidae) en tres lagos cráter de Puebla, México. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología de Sistemas y Recursos Acuáticos), Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 101 pp.
- 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. 1994a. Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems. Band III: Hymenostomata, Prostomatida, Nassulida. Informationsberichte des Bayer, Landesamtes für Wasserwirtschaft, Munich, 1/94. 548pp.
- Foissner, W. 1994b. Progress in taxonomy of planktonic freshwater ciliates. Marine Microbial Food Webs, 8(1-2): 9-35.
- Foissner, W., H. Berger y J. Schaumburg. 1999. Identification and Ecology of limnetic plankton ciliates. Bavarian State Office for Water Management (Editor and Publisher). Munich.
- Fuentes, A. L. 1972. Regiones Naturales del Estado de Puebla. Dirección de Publicaciones de la Universidad Nacional Autónoma de México. 143 pp.
- García de León, A. 1988. Generalidades del análisis de cúmulos y del análisis de componentes principales. Divulgación Geográfica. Instituto de Geografía, UNAM. México. 29 pp.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. E. García. México. 217 pp.
- Garzón, M. A. 1990. Caracterización saprotrófica de los lagos cráter de la Región de los Llanos, Pue. Tesis de licenciatura (Biología). ENEP Iztacala, UNAM. México. 102 pp.
- Gasca, D. A. 1982. Algunas notas de la génesis de los lagos-cráter de la Cuenca de Oriental. Puebla-Tlaxcala-Veracruz. Colección Científica del Instituto Nacional de Antropología e Historia, Departamento de Prehistoria. México. 98: 58 p.

- Gifford, D. J. 1991. Protozoan-Metazoan Trophic Link in Pelagic Ecosystems. J. Protozool. 38 (1): 81-86.
- Hammer, J.S., J. S. Sheard y J. Kranabetter. 1990. Distribution and abundance of littoral benthic fauna in Canadian prairie saline lakes. Hydrobiologia. 197: 173-192.
- Johannes, R. 1964. Phosphorous excretion as related to body size in marine animals: microzooplankton and nutrient regeneration. Science, 146: 932-934.
- 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.
- Laybourn-Parry J., Oliver J., Rogerson A. y Duvergé P. L. 1990. The temporal and spatial patterns of protozooplankton abundance in a eutrophic temperate lake. Hydrobiologia. 203 (1-2): 99-110.
- Laybourn-Parry, J. 1992. Protozoan Plankton Ecology. Chapman & Hall. London. 231 pp.
- Laybourn-Parry, J. 1994. Seasonal successions of protozooplankton in freshwater ecosystems of different latitudes. Marine Microbial Food Webs. 8(1-2): 145-162.
- Lee, J. J., Hutner, S. H. y Bovee, E. C. 1985. An illustrated guide to the protozoa. Society of Protozoologists, Kansas. 629 pp.
- López-Ochoterena, E. 1970. Historia de las Investigaciones sobre Protozoarios de Vida Libre de México. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 31: 1-15.
- Lugo V. A. 1993. Estudio de las comunidades litorales de protozoarios en seis lagos cráter del estado de Puebla, mediante el método de colonización de sustratos artificiales. Tesis de Maestría. Fac. Ciencias UNAM. 76 pp.
- Lugo, A., J. Alcocer, M. R. Sánchez y E. Escobar. 1993. Trophic status of tropical lakes indicated by littoral protozoan assemblages. Verh. Internat. Verein. Limnol. 25: 441-443.
- Lugo, A., J. Alcocer, M. R. u E. Escobar. 1998. Littoral protozoan assemblages from two Mexican hyposaline lakes. Hydrobiologia. 381: 9-13.
- Lugo, A., M.E. González, M.R. Sánchez y J. Alcocer. 1999. Distribution of Leptodiatomus novamexicanus (Copepoda: Calanoida) in a Mexican hyposaline lake. Rev. Biol. Trop., 47: 141 – 148.

- Macek M. 1994. Distribution of ciliates in the Rímov reservoir. Verh. Internat. Verein. Limnol., 40, 137-141.
- Macek M., Vilaclara G. y Lugo A. 1994. Changes in protozoan assemblage structure and activity in a stratified tropical lake. Marine Microbial Food Webs, 8(1-2): 235-249.
- Macek, M., Lugo, V. A. y Vilaclara F. G. 2000. Pelagic ciliate assemblage of high-altitude lake Atexcac (Puebla, México): Comparison with similar lakes in other regions. Aquatic Ecosystems of Mexico: Status and Scope. p. 45 - 59.
- Massana, R., J.M. Gasol y C. Pedrós-Alió. 1994. Interrupted succession of ciliate communities in sharply stratified metalimnia. Marine microbial Food Webs. 8(1-2): 189-200.
- Noland, L. E. 1959. Ciliophora. En: Edmonson, W. T. (ed.). Fresh Water Biology. 2a. Ed. W. T. Wiley, Nueva York. pp. 265-297.
- Ordoñez, E. 1906. Los axalapazcos del estado de Puebla. Segunda parte. Parergones del Instituto Geológico de México. Tomo I(10): 349-393.
- Pace, M.L. y J.D. Orcutt, Jr. 1981. The relative importance of protozoans, rotifers and crustaceans in a freshwater zooplankton community. Limnol. oceanogr. 26(5): 822-830.
- Piña, E. P. 1984. Variación estacional del fitoplancton en 3 axalapazcos de la Cuenca de la Oriental. Puebla. Tesis de Licenciatura. Esc. Nac. Cienc. Biol. I.P.N. México. 41 pp. + VIII fig + XV tabl.
- Pomeroy, L. R. 1974. The ocean's food web: A changing paradigm. BioScience, 24: 499-504.
- Ramírez, J. P. 1983. Estudio de la distribución y producción de la vegetación acuática en seis lagos cráter de Puebla. Tesis de Licenciatura. ENEP Zaragoza, UNAM. México. 28 pp.
- Ramírez-García, P. y A. Novelo. 1984. La vegetación acuática vascular de seis lagos cráter del Estado de Puebla. México. Bol. Soc. Bot. Méx. 46: 75-88.
- Ramírez-García, P. y Vázquez-Gutierrez, F. 1989. Contribuciones al estudio limnobotánico de la zona litoral de seis lagos cráter del estado de Puebla. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Auton. México. 16 (1): 1-16.

- Reyes, C. M. 1979. Geología de la Cuenca de Oriental. Estados de Puebla, Veracruz y Tlaxcala. Colección científica Prehistoria. Inst. Nal. Antrop. Hist. de México, México, 62 pp.
- Salbrechter, M. y H. Arndt. 1994. The annual cycle of protozooplankton in the alpine, mesotrophic Lake Mondsee (Austria). Marine Microbial Food Webs. 8(1-2): 217-234.
- Schweizer, A. 1994. Seasonal dynamics of planktonic Ciliophora along a depth transect in Lake Constance. Marine Microbial Food Webs., 8(1-2): 283-291.
- Small E. B. y Lynn D. H. 1985. Phylum Ciliophora DOFLEIN, 1991, 393-575. En: An Illustrated guide to the protozoa. J. J. Lee, S. H. Hutner y E. C. Bovee (eds.). Lawrence, Soc. Protozoologists.
- Sorokin, J. 1971. On the role of bacteria in the productivity of tropical oceanic waters. Int. Revue ges. Hydrobiol. 56: 1-48.
- Sorokin, Y. I. 1981. Microheterotrophic organisms in marine ecosystems. In: A. R. Longhurst (ed.) Analysis of marine ecosystems. Academic Press, London: 293-342.
- Steele, J. H. 1974. The structure of marine ecosystems. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Steel, R.E.D. y Torie, H. R. 1988. Bioestadística: Principios y procedimientos. Ed. McGraw Hill. México. 622 pp.
- Taylor, W.D. y O.E. Johannsson. 1991. A comparison of estimates of productivity and consumption by zooplankton for planktonic ciliates in Lake Ontario. Journal of Plankton Research. 13(2): 363-372.
- Taylor, E.H. 1943. A new ambystomid salamander adapted to brackish water. Copeia (3): 151-156.
- Vázquez, H. N. 1982. Contribución al conocimiento de la biología de *Poblana alchichica alchichica* De Buen (Pisces, Atherinidae) del lago cráter de Alchichica, Pue. Tesis profesional. Licenciatura en Biología. Esc. Nal. Cienc. Biol. IPN. México, 30 + XI pp.
- Vilaclara, G., M. Chavez, A. Lugo, H. González y F. Aguirre. 1989. Los axalapazcos de la región de los llanos de Puebla. 2: Comparación química mediante diagramas de Maucha modificados. En: IX Coloquio de Investigación. ENEP Iztacala UNAM

- Viladara, G., M. Chavez, A. Lugo, H. González y M. Gaytán. 1993. Comparative description of crater-lakes basic chemistry in Puebla State, Mexico. Verh. Internat. Verein. Limnol. 25: 435-440.
- Wetzel, R. G. 1981. Limnología. Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. p. 16
- Wetzel, R. G. y G. E. Likens. 1979. Limnological Analyses. W. B. Saunders Company. Philadelphia. p. 146-148.

ANEXO



Micrografías de *Cyclidium glaucoma* (arriba), con contraste de fases. (800 X) y de *Vorticella* del complejo *aquadulcis* (abajo), en campo claro (500 X)