



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
IZTACALA

"COMPOSICION Y VARIACION DE LA ASOCIACION
DE ROTIFEROS PLANCTICOS DE LAGO
ALCHICHICA, PUEBLA."

T E S I S

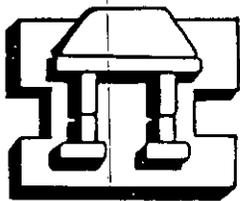
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A :

ROLANDO TIRADO CRUZ

DIRECTOR: DR. ALFONSO LUGO VAZQUEZ



IZTACALA

LOS REYES IZTACALA, EDO. DE MEX.

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.

Dedicatoria

A mi madre, Sara, por su inmenso amor y paciencia a través de toda mi vida y por haberme guiado con sus consejos hasta este día.

A mi padre Manuel por su comprensión.

A mi "papá" académico el Dr. Alfonso Lugo Vázquez por su paciencia y consejos para poder terminar esta tesis. Por que con su amistad me ha demostrado toda la humanidad que puede guardar un solo hombre.

Agradecimientos

Le doy las gracias al Dr. Alfonso Lugo Vázquez por su paciencia, confianza, amistad y por su tiempo para poder aclarar las dudas que se me presentaron en el tiempo en el que fue mi profesor, así como en este tiempo que fue mi asesor de tesis. Gracias por ayudarme alcanzar mis objetivos.

A la doctora María del Rosario Sánchez por sus palabras de apoyo e interés en mi persona

Agradezco a los sinodales Dra María del Rosario Sánchez, Dr. Javier Alcocer Durand, Biol. Mario Chávez Arteaga y Biol. Mario Fernández por sus comentarios que sirvieron para enriquecer este trabajo.

A todos los profesores de la carrera de Biología que contribuyeron a mi formación académica, especialmente aquellos que además de conocimiento de brindaron amistad y su tiempo. Y de forma especial a Alberto Arriaga, Roberto Rico, Sergio Vaca, Rodolfo Cárdenas, Norma Coria, Edith Villafranco, José Luis Gama, Gloria Vilaclara, Mario Chávez, Rosario Sánchez y Alfonso Lugo.

A todos mis compañeros de la ENEPI por todos los momentos y vivencias que pasamos juntos durante la carrera y después de ella: Leobardo Sánchez, Tania Garfias, Omar Ramos, Angélica Moreno, Manuel Fábila, Ana Tovar, Eloy Marquez, Arturo Alba, Deyamira Matuz, Yarely Barcenás, Luz María, Norá Vega y Liliana Urban, y a todos aquellos que por no haberlos mencionado no son menos importantes.

A mis hermanos, Carmen, José Manuel, Connie, Carlos, Sandra y especialmente a Lety, por su apoyo y cariño.

De una forma muy especial a Tania Garfias por su amistad y por las horas de trabajo juntos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero del proyecto Relación "Microcual loop" –producción lacustre y su aplicación en la eutrofización, con número 25430-T con el cual se realizó esta investigación.

Claro, no se me puede olvidar agradecerle a una persona muy especial que me ha acompañado en buena parte de mi vida y que ocupa un lugar especial en mi corazón. Gracias Gaby.

Indice

Resumen.....	1
Introducción.....	2
1 Objetivos.....	5
2 Antecedentes.....	6
3 Area de Estudio.....	7
4 Metodología.....	10
5 Resultados y discusión.....	12
a) Variables ambientales.....	12
b) Variables biológicas.....	23
Conclusiones.....	45
Referencias Bibliográficas.....	47

Resumen

Los rotíferos son un grupo importante de organismos del zooplancton, los cuales se pueden presentar en diferentes tipos de cuerpos de agua y en diversas zonas de éstos. Su biomasa puede llegar a ser tan o más importante que la de los crustáceos y son una fuente de alimento para larvas de peces y copépodos. En el presente estudio se investigó la composición y variación temporal y espacial de la asociación de rotíferos plácticos del lago Alchichica, Puebla, y el efecto de algunas variables ambientales sobre la fluctuación de la misma a lo largo de dos ciclos anuales.

Se hicieron muestreos mensuales durante 1998 y 1999, tanto en la zona fótica (Prof. 2,5,10 y 20 m) como en la zona afótica (Prof. 50 m) en una estación central localizada en la parte más profunda del lago (62 m). En cada muestreo se midieron perfiles de temperatura, oxígeno disuelto, K_{25} , y pH a lo largo de toda la columna de agua. Además, se cuantificaron las concentraciones de clorofila *a* en las mismas profundidades en que se muestrearon los rotíferos. Los organismos fueron cuantificados en el laboratorio con un microscopio óptico de contraste de fases y una cámara de Sedgwick-Rafter. Para la estimación de la biomasa, los rotíferos fueron medidos con un micrómetro ocular y sus biovolúmenes calculados mediante la aproximación a una forma geométrica.

La temperatura del agua presentó un intervalo de 4.7 °C para ambos años, lo cual provocó una estratificación térmica en los meses de mayo a agosto para 1998 y de junio a agosto en 1999. El oxígeno disuelto se encontró en concentraciones mayores en el mes de mayo para ambos años. Estos incrementos de oxígeno se asociaron a las densidades máximas de la cianobacteria fijadora de nitrógeno *Nodularia spumigena*. Las variaciones de pH fueron de 8.9 a 10 en 1998 y en 1999 de 8.7 a 9.2. Estas variaciones son pequeñas debido a la alta reserva alcalina que presenta el lago. La conductividad específica del agua a 25 °C (K_{25}) en 1998 varió entre 13.53 y 14.07 mS cm⁻¹ y en 1999 entre 13.08 y 14.08 mS cm⁻¹. Los valores de concentración de clorofila *a* fueron mayores en 1999 que en 1998. En ambos años se observó la presencia de valores elevados en toda la columna de agua al inicio de la época de circulación y de un máximo profundo de clorofila, con valores de 32 µg l⁻¹ y 19.8 µg l⁻¹ respectivamente, durante la época de estratificación.

La asociación de rotíferos del plancton del lago Alchichica estuvo formada únicamente por dos especies: *Brachionus rotundiformis* y *Hexarthra jenkiniae*, siendo esta última la que presentó la mayor abundancia promedio en ambos años. Las abundancias de los rotíferos en 1998 fueron superiores a las de 1999. En 1998 *B. rotundiformis* presentó su máxima abundancia en el mes de marzo. Por su parte, *H. jenkiniae* presentó su máxima densidad en abril. Para 1999, *H. jenkiniae* presentó su máxima abundancia en el mes de febrero y *B. rotundiformis* sólo fue abundante en el mes de noviembre. Las mayores abundancias de ambas especies se observaron durante el periodo de circulación del lago (de enero a abril) y los menores valores se encontraron en la época de estratificación térmica del lago, con excepción de *B. rotundiformis* en 1999. A pesar de lo anterior al realizar el análisis estadístico solo se observó diferencia significativa para *H. jenkiniae* entre las etapas de circulación y mezcla. *B. rotundiformis* no presentó diferencia.

La biomasa promedio anual fue mayor en 1998 (41.8 µg l⁻¹ de peso seco l⁻¹) con relación a la de 1999 (25.3 µg l⁻¹) aunque la diferencia no resultó estadísticamente significativa. En 1998 la biomasa fue aportada principalmente por *B. rotundiformis* (59.2%). Por el contrario en 1999 *H. jenkiniae* aportó la mayor parte de la biomasa (86.6%).

Introducción

En la República Mexicana existen 703 cuerpos de agua, de los cuales 611 son presas y 92 son lagos (Vidal *et al.* 1985). Los lagos han estado relacionados históricamente con el desarrollo de las culturas ya que de ellos se obtienen recursos nutritivos que constituyen una fuente importante de alimentación, agua potable y de actividades recreativas. Por otra parte, los lagos albergan a numerosos organismos, muchos de los cuales pueden tener una importancia económica directa o bien algunos de ellos desempeñan papeles fundamentales en el funcionamiento del ecosistema. (Alcocer y Escobar 1990).

No todos los cuerpos de agua ubicados sobre los continentes son de agua dulce. Existen numerosos lagos que contienen concentraciones importantes de sales y que son conocidos con el nombre de lagos salinos (Alcocer y Williams 1993), aunque también se ha usado el término lagos atalasoalinos para referirse a los cuerpos de agua no marinos con una cantidad apreciable de sales (Alcocer 1995). Para que se forme un lago salino deben cumplirse ciertas características climáticas y geológicas que permitan la acumulación de sales, tales como una precipitación menor a la evaporación, una cuenca endorréica que permita la acumulación de agua y la presencia de sales solubles (Hammer 1986). Frecuentemente los lagos salinos presentan dos tipos de agua: cloruro-sódicas y alcalino-sódicas. En ambas el catión dominante es el sodio (Na^+) mientras que el anión principal en el primer caso es el cloruro y los carbonatos y/o bicarbonatos en el segundo caso (Ewald *et al.* 1994).

El lago Alchichica en el estado de Puebla es un lago atalasoalino, clasificado por su concentración de sales ($\approx 8.5 \text{ g l}^{-1}$) como hiposalino ($3 > \text{Salinidad} < 20 \text{ g l}^{-1}$) (Hammer *et al.* 1990). El agua del lago es de tipo cloruro-sódica, aunque también presenta cantidades importantes de bicarbonatos y carbonatos, lo que se refleja en una elevada alcalinidad y en un pH básico (Vilaciara *et al.* 1993). Estas condiciones, aunque no son extremas, limitan de alguna manera el número de especies que habitan el lago (Alcocer 1995, Lugo 1993, Lugo 2000). La presencia de un número reducido de especies convierte a este cuerpo de agua en un laboratorio natural simplificado que puede ser utilizado para estudiar de manera más sencilla las relaciones que se establecen entre los componentes biológicos y abióticos que en él interaccionan. De entre los diferentes grupos de organismos, se ha observado que los rotíferos forman parte importante de la composición del zooplancton del lago Alchichica (Lugo 2000)

Los rotíferos constituyen un grupo de metazoos de muy reducido tamaño. El cuerpo es alargado y está dividido en cabeza tronco y pie, presentan una corona ciliar desarrollada, una faringe modificada en un mástax. Su reproducción es asexual, son dioicos y la gran mayoría de las especies son duiceacuólicas (Barnes. 1996).

Los rotíferos se alimentan principalmente por filtración, mediante la rotación de la corona ciliar que produce corrientes de agua que arrastran a las partículas de alimento hacia la boca. Un menor número de especies es depredador (Nogrady *et al.* 1993)

El ciclo de vida de los rotíferos plánticos en ambientes naturales templados no excede de 10 a 15 días, y en cultivo, en condiciones constantes, pueden sobrevivir hasta 20 días; el ciclo de vida no

sólo depende de las características ambientales sino también de las características particulares de cada especie (Wulfert, 1952).

En los rotíferos, se presenta una sucesión de diferentes especies en un ciclo anual, dependiendo de las características del biotopo en donde se encuentren. Sin embargo, la variación de algún componente climático puede influir en la sucesión con respecto al año anterior, ya sea que una especie predomine más tiempo que las otras, que diversas especies se presenten simultáneamente, o que no se presente ninguna especie a lo largo de periodos irregulares. En el primer caso la especie puede encontrar las condiciones óptimas para su alimentación y reproducción. En el segundo caso, el biotopo presenta las condiciones para que cada especie explote el alimento adecuado. En el tercer caso, se presentan fluctuaciones irregulares en el biotopo que provocan que no existan las condiciones adecuadas para que pueda ser explotado el alimento (Ruttner-Kolisko, 1974).

Entre los factores que principalmente afectan el crecimiento de las poblaciones naturales de rotíferos se han señalado a la temperatura, a la cantidad y calidad del alimento disponible, a la competencia explotativa y a la interferencia, a la depredación y al parasitismo. Otros factores abióticos que influyen la dinámica poblacional de los rotíferos son la concentración de oxígeno, la intensidad de la luz y el pH (Nogrady *et al.* 1993). En los lagos estratificados, los rotíferos pláncnicos se pueden encontrar principalmente en la región del epilimnion, en donde el fitoplancton, que constituye su principal alimento, es más abundante. El número de rotíferos va disminuyendo conforme aumenta la profundidad, sin embargo, se pueden encontrar ciertas especies en el hipolimnion, especialmente algunas capaces de resistir condiciones anóxicas (Ruttner-Kolisko, 1974).

La mayoría de los rotíferos viven en agua dulce, aunque existen algunos géneros que habitan en aguas salobres o marinas (Nogrady *et al.* 1993). La salinidad es uno de los factores que ejercen un mayor impacto negativo sobre la riqueza específica de los rotíferos en los cuerpos de agua, por lo que en la mayoría de los lagos salinos el número de especies de rotíferos es muy bajo (Green 1993). En lagos salinos con elevada alcalinidad predominan *Brachionus plicatilis* y *Hexarthra jenkiniae*. En cambio, en ambientes con elevada concentración de sales pero donde los bicarbonatos y carbonatos no existen o se encuentran en concentraciones bajas, predominan *B. plicatilis* y *H. fennica* (Walker 1981).

A través del estudio de los rotíferos se ha reconocido su importancia ecológica en los ecosistemas acuáticos en los últimos años. Aunque los cladóceros y los copépodos son dominantes en algunos ambientes limnéticos, los rotíferos pueden contribuir más sustancialmente a la biomasa y a la productividad de la comunidad de zooplancton (Makarewicz y Likens, 1979). Algunos invertebrados son depredadores de rotíferos, por lo que éstos incrementan la energía disponible para vertebrados depredadores y de esta forma contribuyen al paso de materia y energía hacia los niveles tróficos superiores (Williamson, 1986).

Ciertas especies de rotíferos se encuentran estrechamente relacionadas con su ambiente, por lo que su presencia puede indicar algunas características limnológicas —como el estado trófico— de los cuerpos de agua en donde se encuentran (Sládeček 1983). También son utilizados como indicadores de contaminación por materia orgánica ya que responden rápidamente a los cambios de condiciones ambientales que ocurren durante el proceso de autodepuración y pueden ser encontrados habitando en algunos sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales (Sládeček 1983, Serranía, 1996). Como ya se mencionó existen asociaciones de rotíferos

características de ciertos tipos de composición iónica del agua (Ruttner-Kolisko 1974).

En el presente estudio se investigó la composición y la variación temporal y vertical de la asociación de rotíferos plánticos presentes en el lago salino Alchichica, Puebla. Se trató de establecer algunos de los factores ambientales que tienen la mayor influencia sobre la composición y fluctuación de los rotíferos. También se obtuvieron estimaciones de la contribución de los rotíferos a la biomasa del zooplancton del lago.

Con base en lo anterior se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿ la variación anual de las densidades de rotíferos del lago Alchichica está relacionada con los cambios en la temperatura del agua, concentración de oxígeno disuelto, pH, conductividad y concentración de clorofila a ?

Objetivos.

Conocer la composición de la asociación de rotíferos pláncnicos del lago Alchichica.

Establecer la dinámica de la asociación de rotíferos pláncnicos a lo largo de dos ciclos anuales.

Relacionar algunas variables ambientales seleccionadas (Oxígeno disuelto; temperatura, conductividad, pH y concentración de clorofila *a*) del lago Alchichica con la variación de los rotíferos pláncnicos en el transcurso de 2 años.

Antecedentes

Entre los estudios realizados en el lago Alchichica, Puebla, se encuentran trabajos geológicos, químicos, biológicos y ecológicos.

Dentro de los geológicos Ordoñez (1906), Fuentes (1972) Reyes (1979) y Gasca (1982) explican el origen de los lagos cráter de la Cuenca de Oriental. Entre los estudios de composición química del agua, hay trabajos realizados por C.F.E. (1960-1962), Díaz y Guerra (1979), Piña (1984) y Vilaclara *et al.* (1993) que proporcionan datos químicos y físicos de los lagos. Arredondo-Figueroa *et al.* (1983) realizaron la morfometría y batimetría de Alchichica y el resto de los lagos cráter de Puebla.

Entre los trabajos biológicos puede mencionarse el de De Buen (1945) que describió una nueva especie de atherinido habitante de Alchichica. Alvarez (1950) informó sobre la ictiofauna de los 6 lagos cráter, mencionando la presencia de las especies endémicas *Poblana alchichica alchichica* en Alchichica y *Poblana alchichica squamata* en Quechulac y *Poblana letholepis* en la Preciosa. Arredondo *et al.* (1984) que correlacionan por estación del año datos de la diversidad y distribución vertical del fitoplancton con algunos parámetros físicos y químicos del lago de Alchichica. Alcocer y Escobar (1988) realizaron trabajos de recopilación de la información limnológica existente sobre el lago Alchichica. Ramirez-García y Vázquez-Gutiérrez (1989) realizaron un estudio limnobotánico de la zona litoral de los lagos cráter de Oriental.

Garzón (1990) estudió el estado trófico y saprobio de los 6 lagos. Ubeda y Estrada (1994) estudiaron el macrobentos de los seis lagos y Montoya y Peralta (1995) realizaron un estudio sobre la ecología de los oligoquetos también en todos los lagos cráter. Lugo (1993) estudió los protozoos litorales de los lagos. Alcocer (1995) investigó sobre diferentes aspectos de la composición y ecología de los organismos bentónicos de la zona litoral. Lugo *et al.* (1999) realizaron un estudio de la variación del copépodo pláncico *Leptodiptomus novamexicanus*. Lugo (2000) estudió la estructura y variación del plancton del lago y propuso algunas interacciones tróficas importantes.

Area de estudio

En el último tercio del Cuaternario, en la región que hoy es la cuenca hidrográfica de Oriental, comprendida en una zona que abarca parte de los estados de Puebla, Veracruz y Tlaxcala, se formaron numerosos conos productos de una intensa actividad volcánica. Muchos de los volcanes formaron cráteres de manera explosiva cuando el magma entró en contacto con el agua del manto freático muy próximo a la superficie, o por desgasificación súbita del magma. Las aguas subterráneas inundaron poco a poco el fondo de los cráteres dando origen a lagos cráter del tipo "maars" (Lugo *et al.* 1994).

Los lagos "maars" tienen comúnmente diámetros de menos de 2 km, presentan normalmente una forma circular y pueden ser muy profundos (más de 100 m) en relación con su pequeña área superficial (Wetzel, 1981). La mayoría de los lagos "maars" de la Cuenca de Oriental corresponden con estas características.

Los seis lagos "maars" de la cuenca de Oriental son denominados localmente como axalapzcos (vocablo náhuatl que significa "vasija de arena llena de agua") (Vilaclara *et al.* 1993). La mayoría son profundos (más de 40 m de profundidad) y son alimentados principalmente por las aguas del manto freático y, en menor medida, por la precipitación pluvial directa (Alvarez 1950).

El lago Alchichica es el mayor de estos lagos y se localiza en el estado de Puebla, en las coordenadas 19°24' 22" de latitud N y 97° 23' 52" de longitud O, a una altitud de 2345 m.s.n.m (Figura 1). Tiene una forma circular, con una longitud máxima de 1.7733 km, un área de 1.81 km² una profundidad máxima de 64 m y un volumen de 69.6 millones de m³ (Arredondo-Figueroa *et al.* 1983).

Las paredes de la cuenca del lago son muy escarpadas, incrementándose bruscamente la profundidad al alejarse de la orilla. Esta acentuada inclinación finaliza en una plataforma a los 60 m, desplazada ligeramente hacia el NE y cortada por la parte más profunda. 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 (Arredondo-Figueroa *et al.* 1983).

Desde el punto de vista geológico, la cuenca del lago es un cono cinerítico con una composición litológica no simétrica: en la parte occidental, las capas de pómez y tezontle están interstratificadas con derrames basálticos (Reyes, 1979).

La zona donde se encuentra el lago tiene un clima templado seco, con verano seco y poca oscilación térmica del tipo BS*k*w*i*w". La temperatura promedio anual es de 12.9 °C y la precipitación anual de 372 mm (García, 1988). La evaporación en la zona es considerablemente mayor que la precipitación (Arredondo-Figueroa, *et al.* 1984).

El agua del lago de Alchichica presenta una salinidad de aproximadamente 8.5 g l^{-1} y los iones que se presentan con mayores concentraciones son el sodio y el cloruro. Sin embargo, la concentración de iones bicarbonato y carbonato es también importante. Esto significa que la composición del agua puede considerarse como cloruro-sódica con valores elevados de alcalinidad (Vilaclara *et al.* 1993).

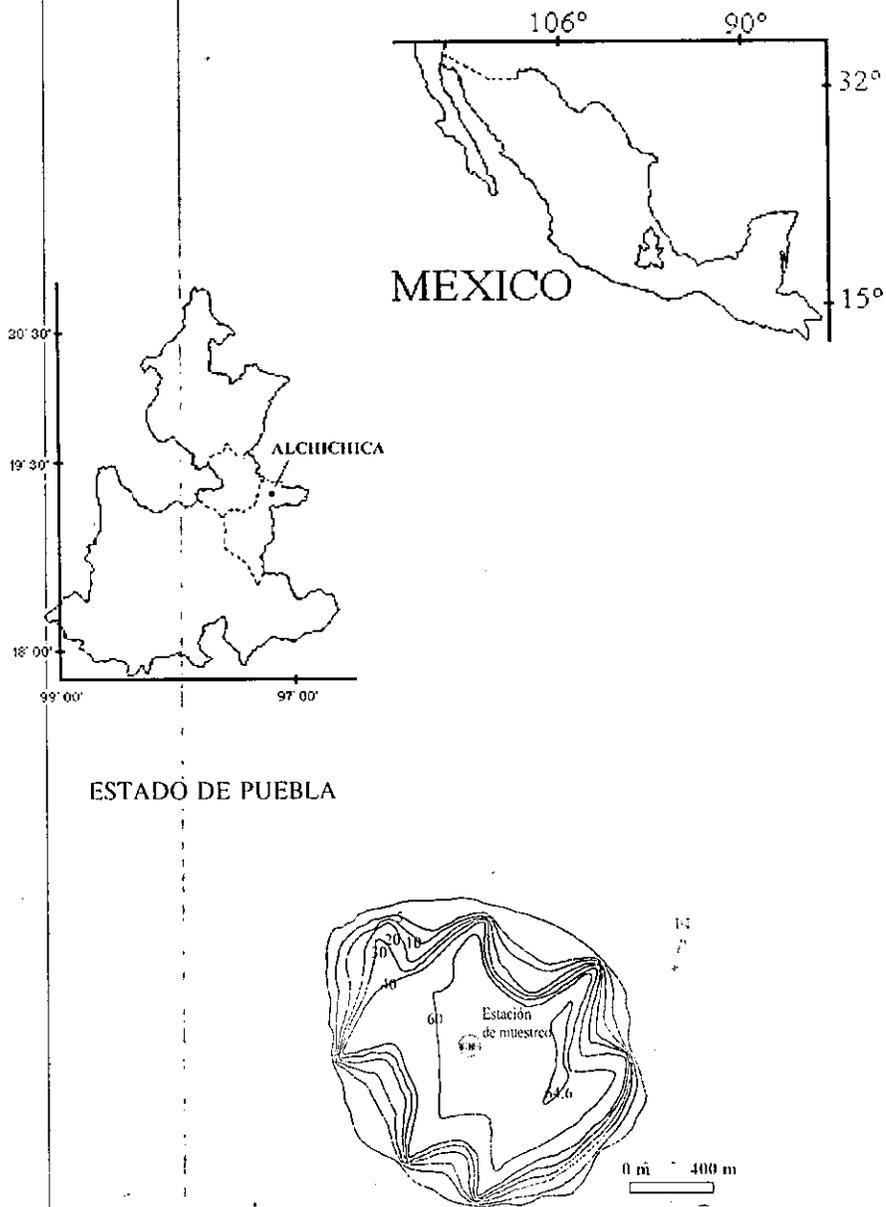


Figura 1. Localización geográfica, morfometría y batimetría del lago de Alchichica mostrando la ubicación de la estación de muestreo.

Metodología

Se realizaron 12 muestreos mensuales en la zona limnética del lago, en una estación central localizada en la parte más profunda (62 m). En los meses en que se observó la mayor densidad de la cianobacteria filamentosa fijadora de nitrógeno *Nodularia spumigena* se realizaron dos muestreos. En 1998 esto ocurrió en el mes de mayo mientras que en 1999 fue en junio. Por problemas logísticos, no se obtuvieron muestras en el mes de septiembre de ambos años. En cada muestreo se tomaron 4 muestras en la zona fótica a las siguientes profundidades: 2, 5, 10 y 20 m, y una en la zona afótica a 50 m. Las muestras de agua fueron obtenidas utilizando una botella Niskin. Un volumen de 6 l fue filtrado a través de una malla para zooplancton de 54 μm de apertura. Los organismos concentrados se colocaron en un volumen de 50 ml de agua y se fijaron con formol al 4 %, para después transportarlos al laboratorio, en frascos de plástico de 150 ml de capacidad, para su posterior estudio y cuantificación.

Caracterización Ambiental.

En cada fecha de muestreo se midieron *in situ* perfiles verticales de las siguientes variables: temperatura del agua, pH, oxígeno disuelto, % de saturación de oxígeno y conductividad específica estandarizada a 25 °C (K_{25}) utilizando una sonda multiparámetro marca Hydrolab modelo Datasonde 3 equipada con un Surveyor 3.

Además, en las mismas profundidades se tomaron muestras de 5 l de agua que fueron mantenidas en refrigeración (4°C) hasta su procesamiento en el laboratorio para determinar la concentración de clorofila *a*.

Trabajo de laboratorio

Se filtraron tres litros de agua a través de un filtro Millipore tipo HVLP de 0.45 μm de apertura de poro para medir la concentración de clorofila *a* mediante espectrofotometría (Espectrofotómetro Hewlett-Packard UV/VIS mod. 8450) y usando metanol en frío (4°C, 24 h) como extractor (Marker *et al.* 1980).

Para la identificación de las especies de rotíferos se emplearon las claves de Edmondson (1959), Ruttner-Kolisko (1974) y Koste (1978). Los rotíferos presentes en las muestras de zooplancton fueron cuantificados mediante una cámara de Sedgwick-Rafter y un microscopio óptico de contraste de fases marca Zeiss, a un aumento de 100X (Edmondson y Winberg 1971). Los rotíferos fueron contados hasta alcanzar la cantidad de 100 organismos, por lo que el intervalo de confianza para la media fue de $\pm 20\%$ (Wetzel y Likens 1979) y se realizó una prueba de comparación de medias con varianzas desiguales con el programa Statgraphics versión 5.0 1991, para establecer la existencia de diferencias significativas entre las épocas del año y entre los años de muestreo.

La longitud y el ancho de los rotíferos fueron medidos con la ayuda de un micrómetro ocular marca Zeiss debidamente calibrado. Con los resultados de estas medidas se calculó el biovolumen para cada especie mediante la aproximación de la forma del rotífero a una figura geométrica según Downing y Rigler (1984). La biomasa se expresó como peso seco, considerando que éste corresponde a un 10 % del biovolumen (Downing y Rigler 1984).

Una vez obtenidos los parámetros ambientales y las variables biológicas, se realizó un análisis de correlación utilizando el coeficiente de correlación por rangos de Spearman para establecer la existencia de patrones de variación similares.

Nogrady *et al.* (1993) consideran que la mayoría de los rotíferos pueden consumir partículas de tamaño entre 3 y 17 μm . Con datos de densidades de fitoplancton obtenidos por Guadalupe Oliva (com. pers.) para el año de 1998 se realizó una correlación utilizando el coeficiente producto-momento de Pearson entre las densidades de cada especie de rotífero y la sumatoria de las densidades de especies de fitoplancton de tamaño menor a 17 μm , con el fin de establecer la posible relación entre los rotíferos y la disposición de su alimento. También se consideraron en este análisis las densidades totales de rotíferos y la densidad total del fitoplancton. Los datos fueron previamente transformados usando la transformación $\log(n+1)$ (Green 1975). Ambos análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico para computadora PC Statgraphics versión 5.0 (1991).

Resultados y Discusión

Perfiles de temperatura.

Los procesos de estratificación térmica y circulación del agua en los lagos son de fundamental importancia para numerosos procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en ellos (Margalef 1983).

El lago Alchichica es un lago monomictico cálido que se estratifica a partir de la mitad de la época cálida y lluviosa y que presenta un periodo de circulación durante la época seca y fría del año (Lugo *et al.* 1999).

La variación de la temperatura para 1998 se encontró entre 14.5 y 19.5 °C. Durante los meses de enero a marzo, que fue la época seca y fría, se registró una variación de temperatura de entre 15.1 °C (0-10 m) y 14.5 °C en la parte más profunda. La temperatura en la superficie (0-10 m) se incrementó a partir de abril (16.6 °C) y continuó aumentando hasta el mes de julio (19.4, °C) y posteriormente se mantuvo en valores ligeramente superiores a los 19 °C hasta octubre. A partir de noviembre y continuando en diciembre, época en que el frío se incrementa en la zona, se observó un claro descenso de la temperatura superficial (0-10 m) siendo en este caso el intervalo de 16.1 a 17.1 °C. En contraste, la variación de la temperatura en la parte del fondo (>50 m) fue muy pequeña a lo largo del año ya que únicamente fluctuó entre 14.5 y 14.8 °C (Fig. 2)

De enero a marzo el lago se encuentra en circulación y no hay variaciones de temperatura superiores a 1 °C en toda la columna de agua. Abril y mayo pueden considerarse una época de transición hacia la estratificación (Fig. 2). La época de estratificación clara correspondió a los meses de junio a diciembre. Durante la estratificación, el epilimnion abarcó la mayor parte del tiempo desde la superficie hasta los 15 m de profundidad, el metalimnion entre los 15 y 20 m, y el hipolimnion desde un poco más de los 20 m hasta el fondo

La variación máxima en un mismo mes de la temperatura del agua a lo largo de la columna de agua fue de 4.7 °C, siendo suficiente para causar la estratificación térmica del lago durante la época cálida y lluviosa (junio-diciembre).

La variación de temperatura para 1999 se comportó de manera muy parecida a lo descrito anteriormente, aunque con algunas variaciones. La temperatura en este año varió entre 14.7 y 19.7 °C. En los meses de enero a marzo, época de circulación, la temperatura de la columna de agua varió entre 15.9 °C en la zona superficial (0-10 m) y 14.8 °C en la parte profunda. A partir del mes de abril y durante mayo se incrementa la temperatura en la zona superficial del lago, este incremento fue desde los 16.4 °C hasta los 19.7 °C en mayo. Desde junio hasta octubre las temperaturas superficiales se mantuvieron entre los 18 y 19 °C. En los meses de noviembre y diciembre la temperatura en la zona superficial descendió considerablemente (16-15 °C) anticipando las condiciones de circulación en el mes de diciembre. Al igual que en el año anterior, la variación de temperatura en la parte del fondo fue muy pequeña, ya que únicamente fluctuó entre 14.7 y 15.2 °C (Fig. 2).

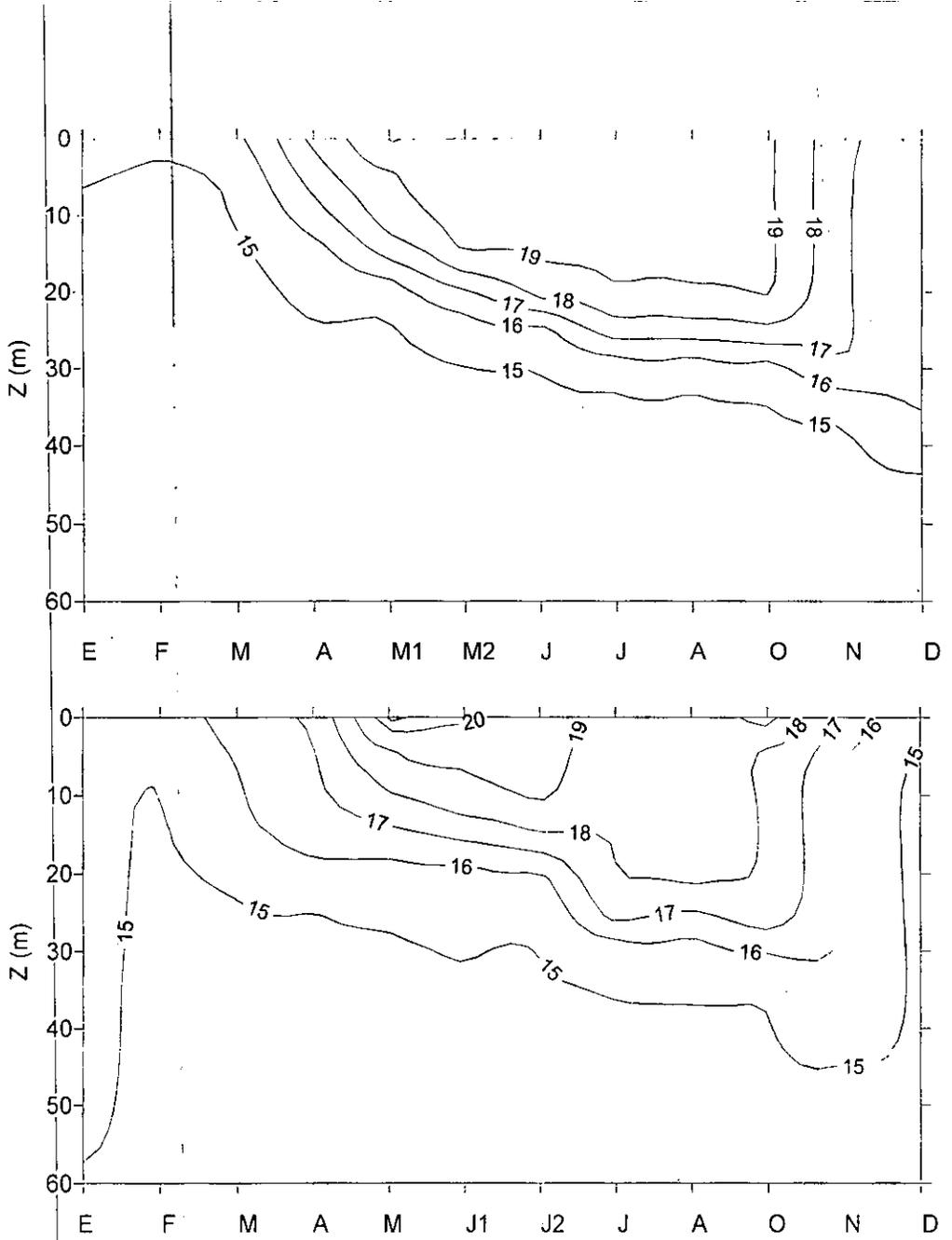


Figura 2. Diagramas de isotermas (°C) para 1998 (arriba) y 1999 (abajo) en el lago Alchichica.

Durante la época de estratificación el epilimnion abarcó desde la superficie hasta los 20 m, el metalimnion se ubicó entre los 20 y 30 m aproximadamente, y el hipolimnion, en la parte más profunda, se presenta desde los 25-30 m hasta el fondo.

Las diferencias más claras en el comportamiento térmico del lago entre los dos años consistieron en la presencia de temperaturas mayores en el epilimnion en 1998, lo que se reflejó en una estratificación más clara y larga durante este año. Al final de 1999 la circulación inició más tempranamente (diciembre) que en el ciclo anterior (enero).

Perfiles de oxígeno disuelto.

Los lagos atalashalinos presentan una capacidad disminuida para la disolución de gases conforme se incrementa la salinidad, es decir la saturación ocurre a más bajas concentraciones a una temperatura dada. La concentración también varía con relación a la fotosíntesis de las algas, la descomposición orgánica, la temperatura del agua, y la acción del viento (Alcocer 1995).

En el lago Alchichica el oxígeno disuelto (OD) durante 1998 varió entre ausente y 8.6 mg l⁻¹. Los valores más elevados se midieron en la zona del epilimnion mientras que el oxígeno estuvo ausente en la parte más profunda del lago durante los meses de junio a diciembre, es decir, durante la mayor parte de la estratificación. De enero a marzo, el OD estuvo presente en toda la columna de agua con variaciones menores a 1 mg l⁻¹. A partir de abril la variación a lo largo de la columna de agua se hizo mayor a 1 mg l⁻¹. Para los meses de mayo¹ a diciembre hay una mayor variación con respecto a la parte más superficial y del fondo con diferencias superiores a los 7.1 mg l⁻¹ de OD (Fig. 3).

El mes con valores más altos de OD fue mayo¹ con valores de 8.6 mg l⁻¹ en la zona del epilimnion y 4 mg l⁻¹ en la zona del hipolimnion, y el mes con la menor concentración fue noviembre con 4.4 mg l⁻¹ en la zona del epilimnion y ausente en la zona del hipolimnion (Fig. 3).

Para el año de 1999 el OD varió entre ausente y 7.7 mg l⁻¹. Los valores más elevados se midieron en la zona del epilimnion mientras que el OD estuvo ausente en la parte más profunda en el lapso de julio² a noviembre. En los meses de enero a junio el OD estuvo presente en toda la columna de agua. En enero y febrero la variación entre la zona del epilimnion y el metalimnion fue de 2.2 mg l⁻¹ de OD, pero para los meses de marzo a junio² la variación fue de hasta 5.9 mg l⁻¹, estando el OD presente a lo largo de toda la columna de agua. En los meses de julio a noviembre el OD varió entre 0 y 7 mg l⁻¹ y en diciembre, aunque hay poco oxígeno (4-5 mg l⁻¹) si se presenta en toda la columna de agua, ya que en este mes el lago se encontró plenamente en la etapa de circulación (Fig. 3).

El mes con mayor OD fue mayo con valores de 7.7 mg l⁻¹ en la zona fótica y 2.5 mg l⁻¹ en la zona afótica, y el mes con menor concentración de OD fue noviembre con valores en la zona fótica de 6 mg l⁻¹ y estando ausente en la zona afótica. Es importante mencionar que los dos años coinciden en la presencia de oxígeno en toda la columna de agua durante la circulación y en la ausencia en el hipolimnion durante la estratificación. La concentración promedio anual de oxígeno disuelto fue la misma (\bar{x} = 5.3 mg l⁻¹) en ambos años. Sin embargo, la época de anoxia en el hipolimnion fue de mayor duración en el año de 1998.

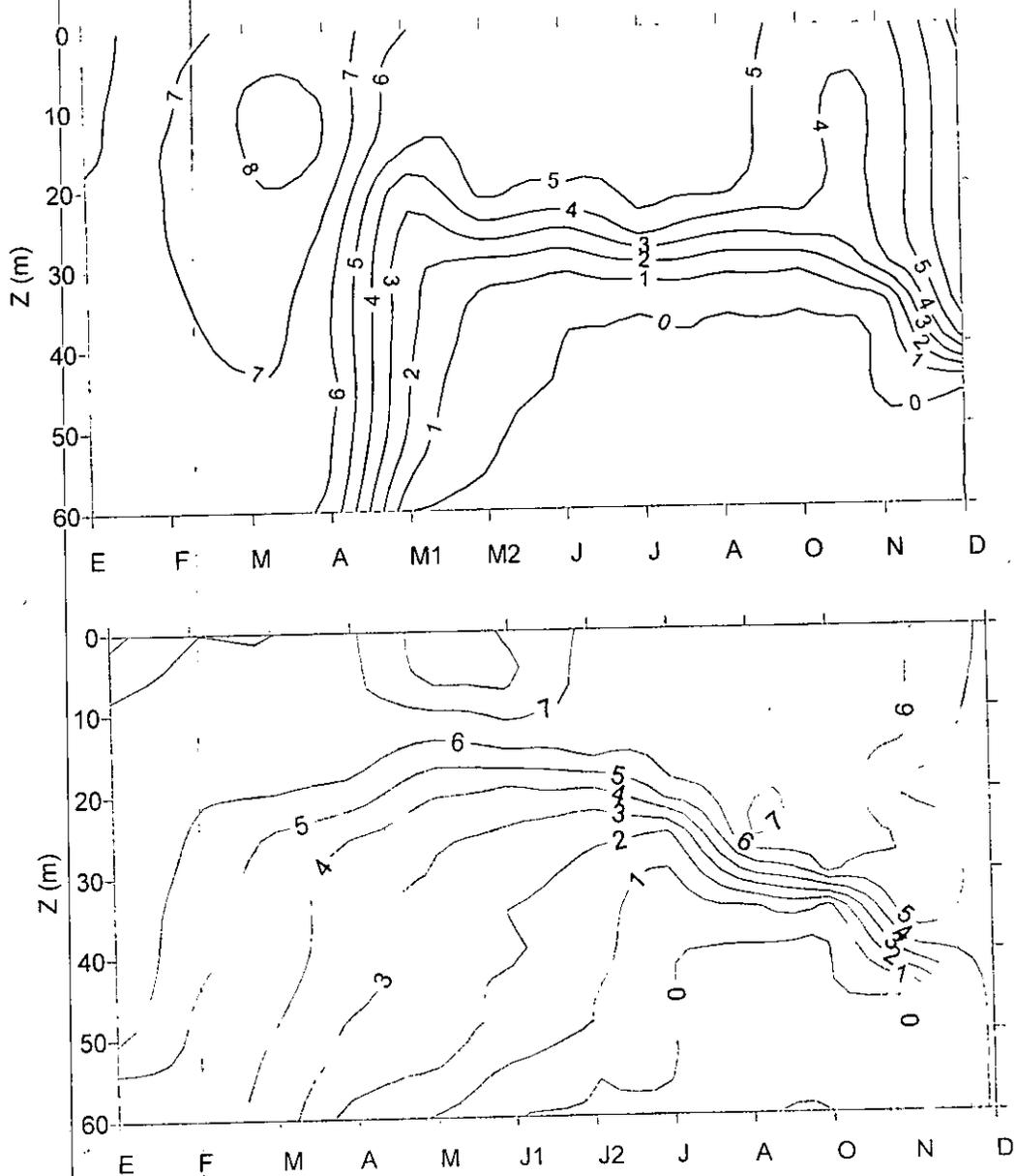


Figura 3. Diagrama de isocóncas de concncracón de oxígeno disuelto (mg l^{-1}) para 1998 (arriba) y 1999 (abajo).

Perfiles de clorofila a

Las concentraciones de clorofila *a* para el año de 1998 variaron entre 0.2 y 19.8 $\mu\text{g l}^{-1}$, siendo el valor promedio de 3.3 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Fig. 4). Estas concentraciones sugieren condiciones de oligotrofia con tendencia a la mesotrofia (Margalef 1983). Durante el mes de enero de ambos años, época de circulación, se observaron valores elevados de concentración de clorofila *a* prácticamente en la totalidad de la columna de agua. El crecimiento del fitoplancton durante esta época es favorecido por el transporte de nutrientes desde el fondo hasta la zona superior iluminada. La mezcla del agua provoca que los organismos fotosintéticos puedan encontrarse en todas las profundidades muestreadas. Posteriormente, en febrero y marzo la concentración de clorofila *a* disminuyó considerablemente, probablemente debido al agotamiento de los nutrientes y al forrajeo ejercido por el zooplancton, como ha sido observado en otros lagos tropicales (Esteves 1988).

En el mes de mayo 1998 se presentaron las mayores densidades de *Nodularia spumigena* (Guadalupe Oliva, com. pers.). En este lapso los valores de clorofila variaron entre 0.4 y 9.7 $\mu\text{g l}^{-1}$, siendo mayor la concentración en la parte superficial del lago (0-10 m). La presencia de elevadas densidades de *Nodularia* indica condiciones de limitación de nitrógeno en el lago que favorecen el crecimiento de esta cianobacteria filamentosas fijadora de nitrógeno atmosférico (Galat 1981).

Durante la época de estratificación las concentraciones de clorofila en el epilimnion fueron bajas (0.4-6.8 $\mu\text{g l}^{-1}$). En estos meses fue común observar la presencia de un máximo profundo de clorofila (MPC) ubicado generalmente en la zona del metalimnion. En estas condiciones el valor mayor del MPC se cuantificó en el mes de noviembre a 20 m de profundidad (Fig 2). Este incremento de clorofila *a* posiblemente se deba a que la barrera que forma la termoclina pueda fluctuar en su profundidad debido a cambios climáticos y de esta forma se liberen algunos nutrientes desde el hipolimnion que permitan el crecimiento de especies de fitoplancton capaces de realizar fotosíntesis con bajas intensidades de luz. Entre los grupos de algas capaces de vivir en estas condiciones sobresalen las diatomeas (Lewis 1978).

Para 1999 la clorofila *a* tuvo un comportamiento distinto al de 1998. El valor mínimo fue de 0.2 $\mu\text{g l}^{-1}$ y el máximo fue de 32 $\mu\text{g l}^{-1}$ con un valor promedio de 5.6 $\mu\text{g l}^{-1}$. Al igual que en 1998, la concentración de clorofila en enero fue elevada y presente a lo largo de toda la columna, disminuyendo de febrero a mayo. En este año las densidades más elevadas de *N. spumigena* se presentaron en el mes de junio y la concentración de clorofila fue menor a la época correspondiente del año anterior. Durante la época de estratificación nuevamente se observó la presencia del MPC pero en este caso el valor máximo observado fue muy alto (32 $\mu\text{g l}^{-1}$ en el mes de agosto). En noviembre y diciembre la circulación temprana del lago permitió el crecimiento del fitoplancton lo cual se reflejó en elevados valores de clorofila *a* en toda la columna de agua durante este lapso.

Al realizar el análisis de comparación de medias se refuerzan los datos anteriores ya que en 1998 no hubo diferencias significativas de la concentración de clorofila *a* entre las épocas de circulación y estratificación. En cambio, para 1999 la concentración de clorofila *a* durante la circulación ($\bar{x}=8.0 \mu\text{g l}^{-1}$) fue significativamente mayor ($p<0.05$) al valor promedio de los datos de la estratificación ($\bar{x}=2.9 \mu\text{g l}^{-1}$). La comparación de los datos globales de ambos años muestran que sí existió diferencia

significativa ($p < 0.05$) entre 1998 ($\bar{x} = 3.3 \mu\text{g l}^{-1}$) y 1999, ($\bar{x} = 5.6 \mu\text{g l}^{-1}$) siendo el valor promedio del último año mayor que el del primero. Entre los factores que contribuyeron a un valor promedio más alto en 1999 se encuentra el hecho de la circulación temprana del lago en este año, que favoreció valores muy altos de clorofila *a* en el mes de diciembre.

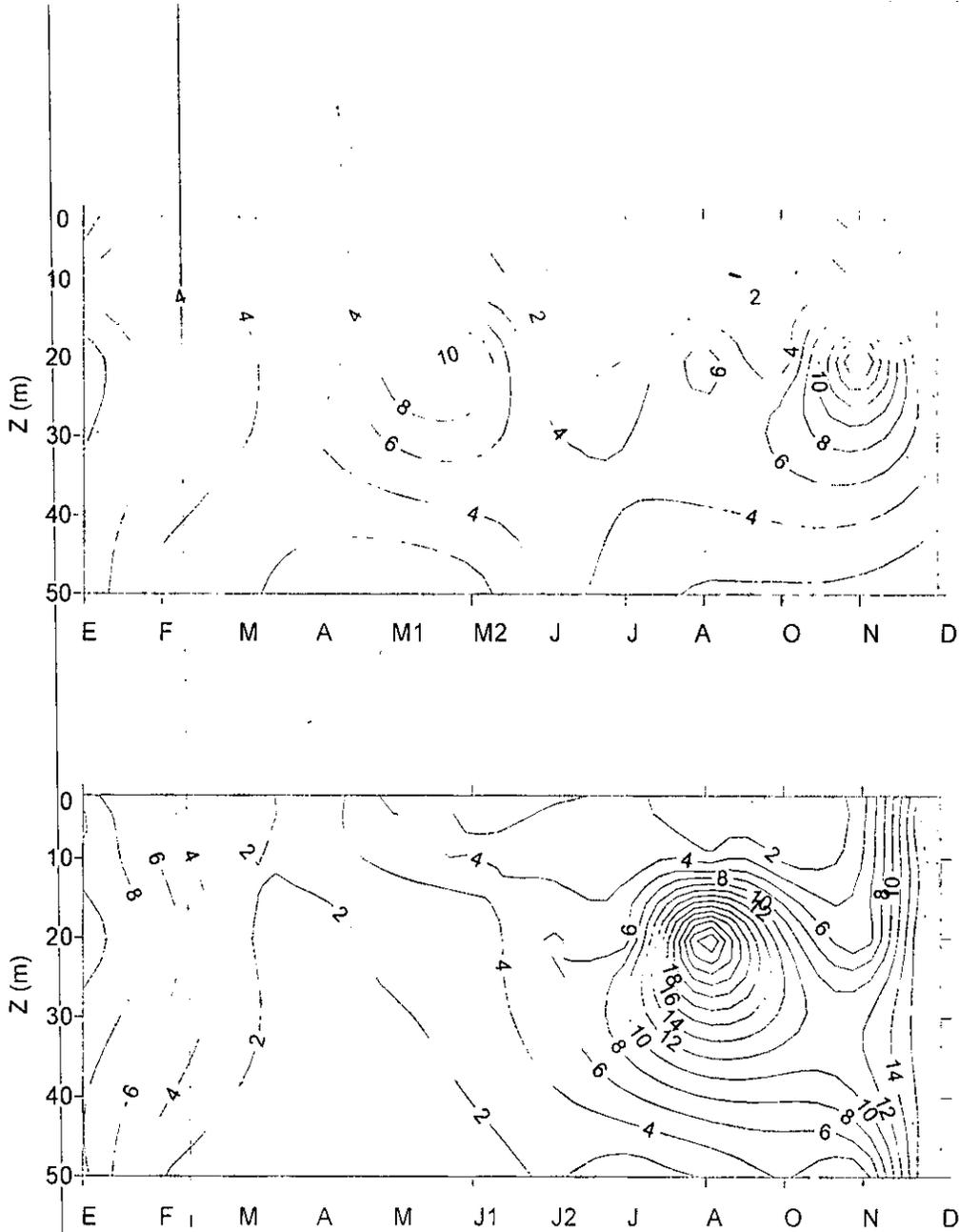


Figura 4. Diagrama de isolíneas de concentración de clorofila a ($\mu\text{g l}^{-1}$) para 1998 (arriba) y 1999 (abajo).

pH

El pH determina la acidez o basicidad de un cuerpo de agua. Los valores elevados de esta variable pueden deberse a la presencia de altas concentraciones de sustancias básicas o también a la actividad fotosintética de las algas que al consumir el CO_2 hacen que el equilibrio carbónico-carbonatos, se desplace hacia los bicarbonatos y carbonatos aumentando el pH. Esto ocurre especialmente en aguas de baja reserva alcalina que presentan una reducida capacidad de amortiguamiento de los cambios de pH. Sin embargo, en el lago de Alchichica existe una elevada reserva alcalina (37 meq l^{-1} de alcalinidad total, Vilaclara *et al.* 1993) que impide una fluctuación muy amplia de los valores de pH.

A lo largo del año de 1998 el intervalo de variación de pH del lago Alchichica fue apenas mayor a una unidad y se encontró entre 8.9 y 10.0, indicando claramente el predominio de condiciones básicas. Los meses con pH más elevado (Fig. 5) fueron de abril a julio con valores que van de 10.0 en mayo a 9.4 en junio. Los meses con un pH menor y poco variable fueron de agosto a octubre (8.8 a 9.0).

Esta variación puede explicarse por el efecto que tiene el incremento en densidad de *N. spumigena*. En el mes de mayo de 1998 los valores de pH fueron mayores debido al florecimiento, el cual provoca un incremento en la actividad fotosintética y una mayor demanda de CO_2 . Sin embargo esta demanda de CO_2 no causó una fuerte variación del pH, debido principalmente a la elevada reserva alcalina que presenta el lago. Para los meses de noviembre y diciembre hay un ligero incremento en el pH también causado por el incremento de la concentración de fitoplancton favorecida por el inicio de la circulación.

Para el año de 1999 el intervalo de la variación del pH fue menor con relación al año anterior y fluctuó entre 8.7 y 9.2, siendo en este caso la variación inferior a una unidad. Los meses con valores más elevados fueron: enero con 9.2 abril con 9.0 y noviembre con 9.1, y los meses con valores más bajos son junio (8.7) y julio (8.9) (Fig. 5)

En el año de 1999 el florecimiento de *N. spumigena* se presentó en el mes de junio y su aparición no tuvo un efecto visible sobre los valores de pH. Esto posiblemente haya sido causado por la muy baja intensidad del florecimiento en este año.

El intervalo de pH en el presente estudio fue más variable que el trabajo presentado por Garzón (1990) y en el de Vilaclara *et al.* (1993) los cuales encontraron intervalos de 9.0 a 9.1. Sin embargo Lugo *et al.* (1999) observaron que para el lapso de agosto de 1993 a julio de 1994 el intervalo fue de 8.6 a 9.2, datos que son altamente coincidentes con los del presente estudio.

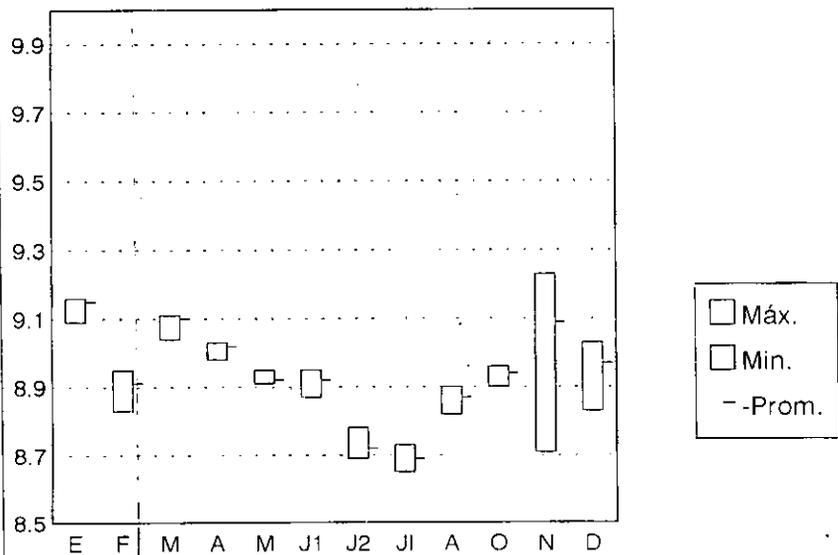
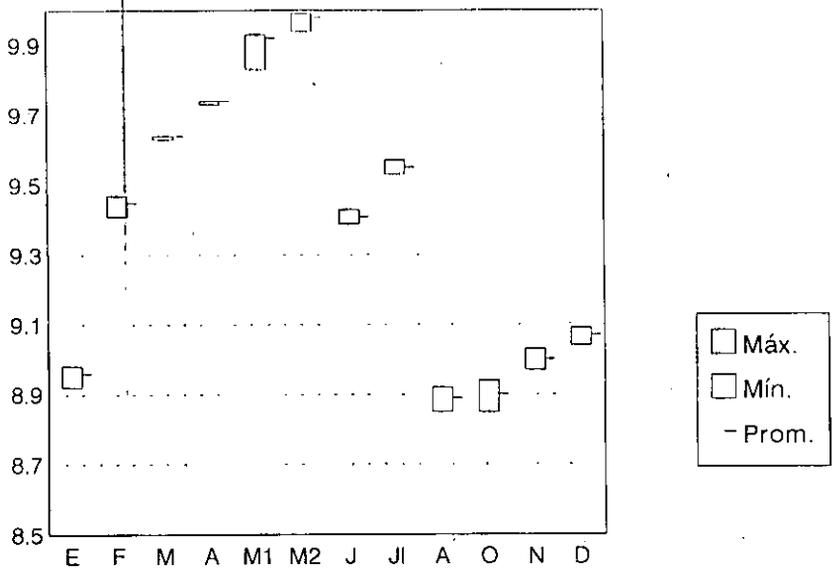


Figura 5. Valor máximo, mínimo y promedio del pH por mes en toda la columna de agua para 1998 (arriba) y 1999 (abajo).

Conductividad Especifica a 25°C (K₂₅)

La conductividad es una expresión numérica que presenta la habilidad de una solución para conducir la corriente eléctrica, la cual depende de los iones presentes así como de su concentración total; valencia, movilidad, concentración relativa y la temperatura medida (A.P.H.A. *et al.* 1985)

La conductividad específica del agua a 25 °C (K₂₅) en el lago Alchichica para 1998 varió entre 13.53 y 14.07 mS cm⁻¹. Estas variaciones pueden considerarse moderadas de acuerdo al tipo de agua que presenta el lago (Fig. 6).

El mes con la K₂₅ más elevada fue enero, donde se encontraron valores entre 13.92 y 14.50 mS cm⁻¹. Esta alta conductividad puede deberse a que enero es un mes en el cual el clima seco y con mucho viento, lo que permite la concentración de sales en el cuerpo de agua. Los valores menores se presentaron en el mes de marzo con valores entre 13.30 y 13.64 mS cm⁻¹, justo cuando termina la época de mezcla.

La K₂₅ en 1999 varió entre 13.08 y 14.08 mS cm⁻¹. El mes con mayor conductividad fue marzo con oscilaciones entre 13.94 y 14.18 mS cm⁻¹. Los valores menores se presentaron en el mes de agosto con variación entre 12.96 y 13.15 mS cm⁻¹. Esto contrasta con el año anterior, ya que en 1998 marzo fue el mes con menor conductividad. Los valores bajos presentados en el mes de agosto pueden deberse principalmente a un proceso de dilución, ya que este mes se encuentra en la parte intermedia del período de lluvias (Fig. 6)

La conductividad del lago Alchichica medida en este estudio fue ligeramente superior a la registrada en 1988 y 1989 por Vilaciara *et al.* (1993) los cuales encontraron valores de K₂₅ de 13.00 ± 5.00 mS cm⁻¹ y la observada por Lugo *et al.* (1999) en 1993-94, quienes midieron un intervalo de 12.68 a 13.73 mS cm⁻¹. Según las medidas de sólidos disueltos totales obtenidas por Vilaciara *et al.* (1993) la salinidad del lago es aproximadamente de 8.5 g l⁻¹, lo cual significa que se trata de un lago hiposalino (Salinidad > 3 y < 20 g l⁻¹) según el criterio de Hammer *et al.* (1990).

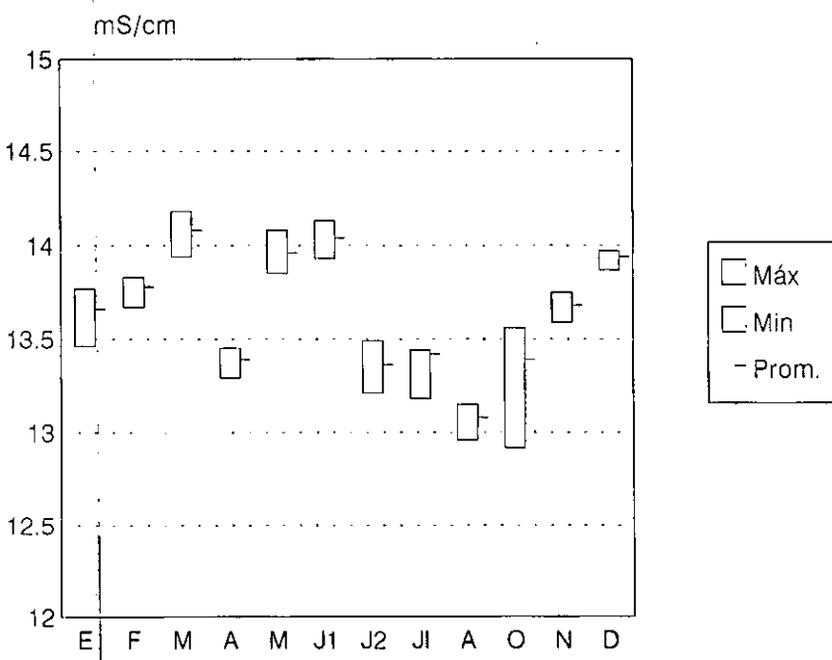
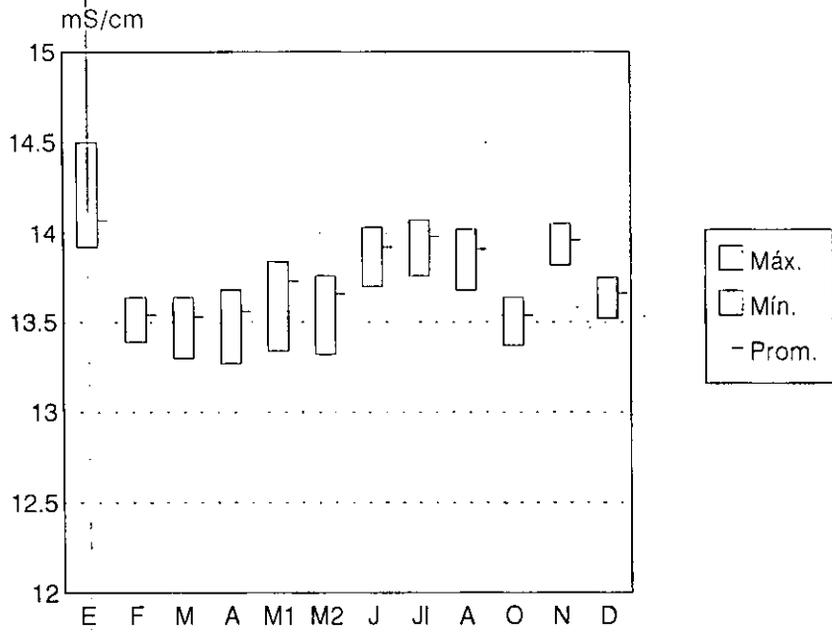


Figura 6. Valor máximo, mínimo y promedio de la K_{25} por mes en toda la columna de agua para 1998(arriba) y 1999 (abajo)

Resultados Biológicos

Discusión Taxonómica

La asociación de rotíferos del plancton en el lago Alchichica estuvo formada únicamente por dos especies. Estas fueron: *Brachionus rotundiformis* Tschugunoff, 1921 y *Hexarthra jenkiniae* (De Beauchamp 1932). La asociación de estas dos especies ha sido observada frecuentemente en lagos salinos en los que predomina el sodio pero donde igualmente se encuentran cantidades importantes de carbonatos y bicarbonatos (Ruttner-Kolisko 1974). Según Vilaclara *et al.* (1993), esta composición química es la que se presenta en Alchichica, donde predominan el sodio y el cloruro pero también existen concentraciones importantes de bicarbonatos y carbonatos.

B. rotundiformis corresponde a lo que hasta hace poco tiempo se consideraba como la forma "S" (de short, corto) de *Brachionus plicatilis*. Sin embargo, en estudios recientes se ha comprobado que estas dos variedades son especies distintas ya que se han encontrado diferencias significativas en lo que respecta a morfología, bioquímica, características ambientales, reproducción y número de cromosomas (Fu *et al.* 1991). Entre las diferencias morfológicas se encuentran la forma y el tamaño de la lóricia y la forma de las espinas anteriores: en los del tipo "L" la lóricia mide entre 130 y 340µm con un promedio de 238.9µm, en los del tipo "S" la lóricia mide entre 100 y 210µm, con un promedio de 163.3µm (Sudzuki, 1987) (Fig.7). En las diferencias bioquímicas el patrón de isoenzimas es de 37 para el tipo "L" y 30 para el tipo "S", el número de cromosomas en el tipo "L" es $2n=22$, y para el tipo "S" es $2n=25$ (Fu *et al.* 1991, Rumengan *et al.* 1991). Las diferencias ambientales que presentan son que el tipo "L" prefiere temperaturas por debajo de 20° C y los del tipo "S" prefieren temperaturas de más de 20° C y por último hay diferencias entre la reproducción sexual y asexual (Hirayama and Rumengan, 1993). Es evidente que para el caso de Alchichica las preferencias de temperatura difieren de lo mencionado en la literatura pues se encuentra a *B. rotundiformis* (es decir *B. plicatilis* variedad S) en temperaturas que prácticamente todo el año son inferiores a los 20° C.

En el caso de *Hexarthra jenkiniae*, Ruttner-Kolisko (1974) considera que forma parte de un complejo de especies denominado *Hexarthra fennica-jenkiniae* en el cual *H. fennica* y *H. jenkiniae* representan los extremos de un continuo de variación morfológica y ecológica. En el caso de la morfología de *Hexarthra fennica* presenta un tamaño que va de 150 a 350µm con un promedio de 250µm y presenta siete dientes en el uncus del trophi. *H. jenkiniae* presenta un tamaño promedio igual al de *H. fennica* pero presenta once dientes en el uncus (Koste 1978). La separación clara de las especies de este complejo resulta sin embargo complicada debido a que algunos autores han observado que ciertas características de importancia taxonómica, como el tamaño, la relación del brazo ventral con el largo de cuerpo, el número de cerdas y el número de dientes en el uncus pueden incrementarse al incrementarse la salinidad (Herzig & Koste 1989). Con respecto a las características ecológicas *H. fennica* habita en lagos con elevada salinidad, siempre y cuando no exista una concentración importante de bicarbonato de sodio. En cambio, *H. jenkiniae* sólo habita en lagos donde existen concentraciones elevadas de bicarbonato y carbonato de sodio (Ruttner-Kolisko, 1974; Herzig y Koste 1989).

Green, (1981) observó la presencia de la asociación de *B. plicatilis* y *H. jenkiniae* en los lagos Werowrap y Red Rock, en Australia. Estos son lagos cráter, someros (1.4 y 2 m) los cuales están sujetos a un constante mezclado y presentan una mayor conductividad (K_{25} 32230 y 21750 $\mu\text{S cm}^{-1}$) con respecto al Lago Alchichica .

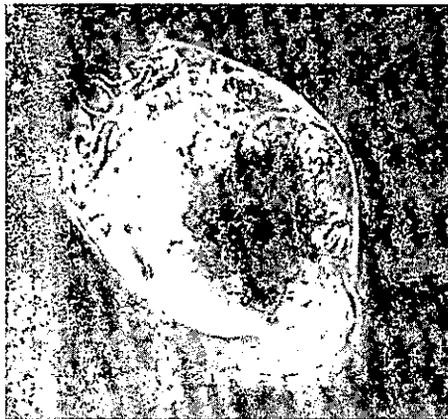


Figura 7. Fotografías de *B. rotundiformis*. Arriba: organismo completo extendido (256X) Campo claro.
Abajo: organismo completo contraído mostrando las espinas de la parte anterior de la lórica(200X).
Contraste de fases.

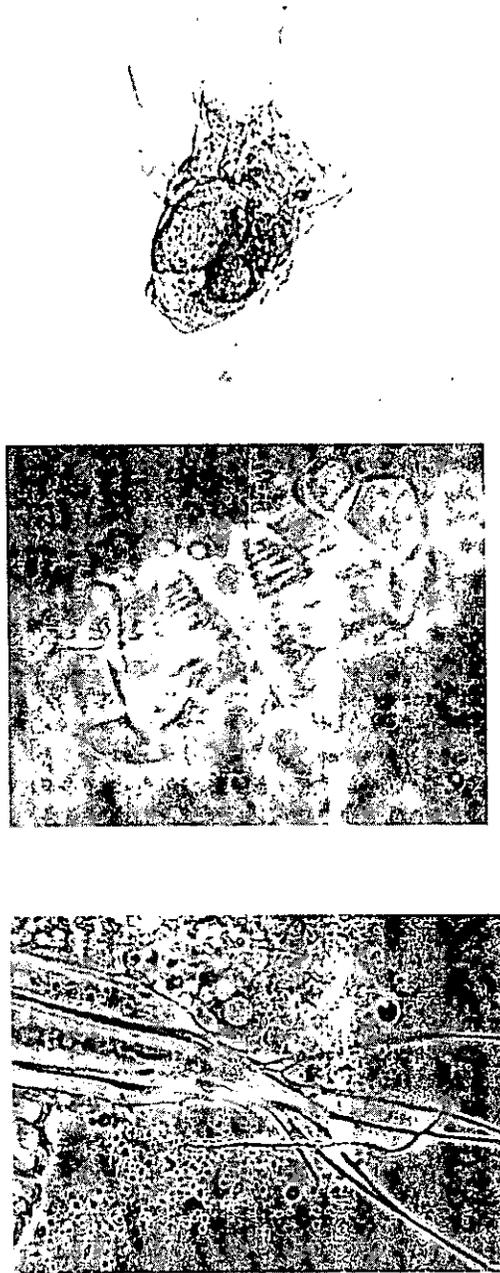


Figura 8. Fotografías de *H. jenkiniae*. Arriba: organismo completo (200X). Centro: Trophi mostrando los 11 dientes(787X). Abajo: detalle del brazo ventral mostrando 4 espinas y 8 cerdas(500X).

Comportamiento de la variación temporal y vertical de las densidades de rotíferos durante 1998.

Las densidades de las dos especies de rotíferos a lo largo de 1998 presentaron un comportamiento diferente. *B. rotundiformis* (Fig. 9) estuvo presente a lo largo de todos los muestreos. Durante enero y febrero las densidades fueron moderadas (1-144 org l⁻¹) y para el mes de marzo se presentaron las densidades máximas del año (6-817 org l⁻¹). A partir del mes de abril la densidad descendió considerablemente (0-5 org l⁻¹) llegando a su nivel mínimo durante el muestreo de mayo2 (0-3 org l⁻¹). A partir del mes de junio (Fig. 10) las densidades nuevamente se incrementaron (0-120 org l⁻¹) y se mantuvieron en valores similares hasta el mes de agosto. Entre los meses de octubre a diciembre las densidades descendieron a valores < 25 org l⁻¹ para todas las profundidades.

H. jenkinsae mostró una variación diferente. Durante enero y febrero (Fig. 9) las densidades de esta especie fueron muy bajas (< 20 org l⁻¹) y su distribución estuvo restringida a los primeros 5 m de la columna de agua. En marzo se observó un incremento de la densidad (1-69 org l⁻¹) y para el mes de abril, coincidiendo con la disminución de las densidades de *B. rotundiformis*, *Hexarthra* presentó sus valores máximos del año (2-822 org l⁻¹). Esta elevada densidad duró un corto tiempo, pues para el muestreo de mayo1 *H. jenkinsae* prácticamente había desaparecido de la columna de agua (0-2 org l⁻¹) y ya no se observaron individuos de esta especie en el lapso que abarca los muestreos de mayo2 hasta julio (Fig. 10). En agosto nuevamente apareció la especie con densidades moderadas (0-82 org l⁻¹) y en los meses finales del año (Fig. 10) se mantuvo presente pero siempre con densidades bajas (0-59 org l⁻¹).

Durante este año *H. jenkinsae* mostró una densidad promedio mayor ($\bar{x}=36.5$ org l⁻¹) que la de *B. rotundiformis* ($\bar{x}=30.9$ org l⁻¹). Este hecho indica que, aunque *Hexarthra* estuvo presente un lapso más corto, las densidades durante este tiempo fueron más elevadas. *Brachionus* mostró una presencia más constante pero con densidades menores. Este punto de vista se refuerza con los resultados del análisis de comparación de medias para ambas especies entre la época de circulación y la época de estratificación en 1998. El resultado de la prueba para *B. rotundiformis* indicó que no existió diferencia significativa ($p=0.05$) entre la densidad promedio de la circulación ($\bar{x}=65$ org l⁻¹) y la de la estratificación ($\bar{x}=13$ org l⁻¹). En cambio, para *H. jenkinsae* sí hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las densidades considerablemente más elevadas de la circulación ($\bar{x}=91.2$ org l⁻¹) y los valores menores durante la estratificación ($\bar{x}=8.3$ org l⁻¹).

En cuanto a la distribución vertical, ambas especies presentaron sus densidades mayores en las profundidades de entre 2 y 20 m, siendo las profundidades de 5 y 10 m donde con mayor frecuencia se presentó el valor máximo para la columna de agua (Fig. 9 y 10). En contraposición, la profundidad de 50 m fue donde se observaron las menores densidades de rotíferos (0-5 org l⁻¹).

Comportamiento de la variación temporal y vertical de las densidades de rotíferos durante 1999.

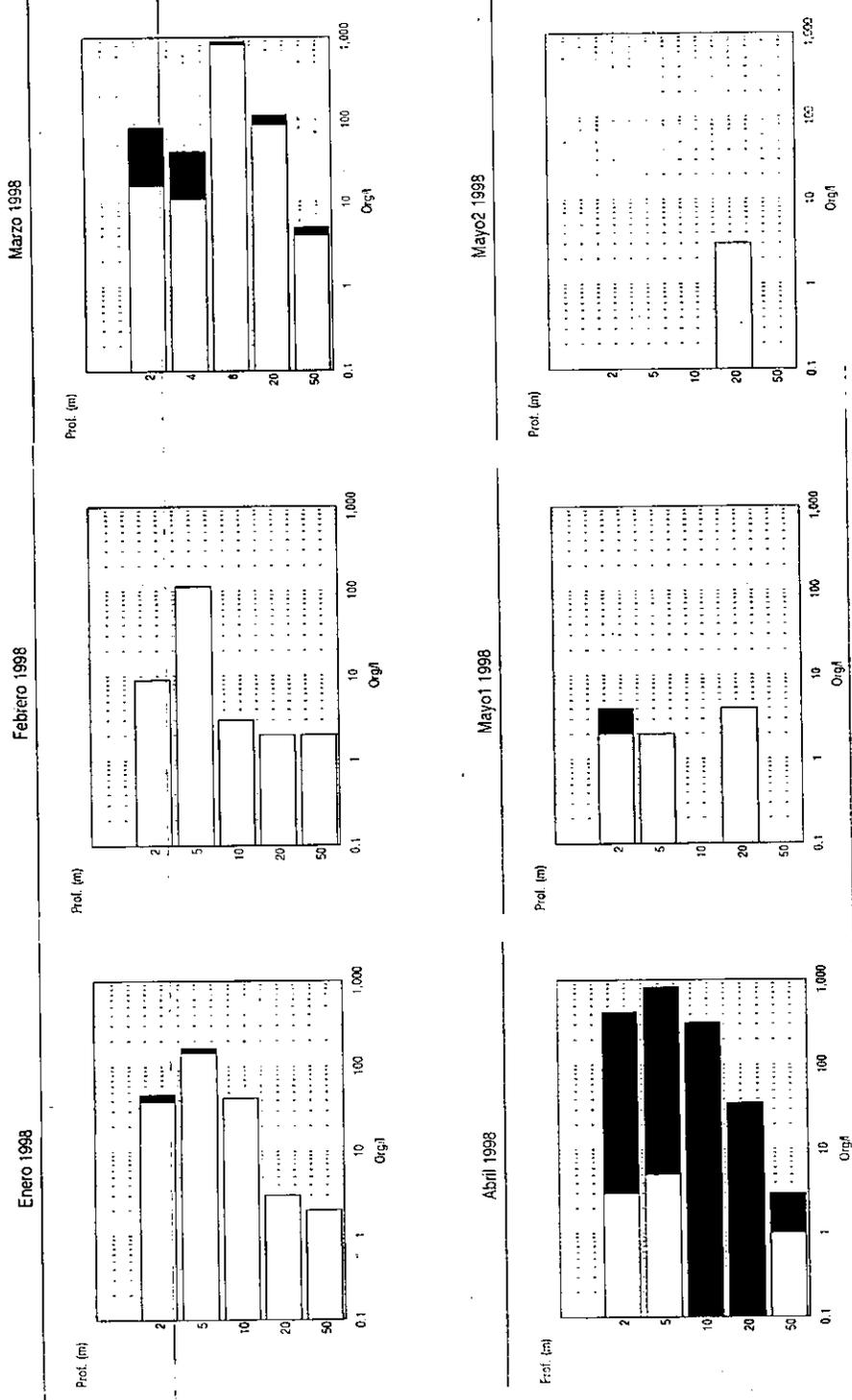
Las densidades de ambas especies de rotíferos en el año de 1999 fueron menores que las observadas en el año anterior. La variación temporal también mostró algunas diferencias con respecto a 1998.

En 1999 *B. rotundiformis* sólo estuvo presente en 9 de los 12 muestreos realizados. De enero a

marzo las densidades de esta especie fueron muy bajas (0-4 org l⁻¹). En los muestreos de abril a junio1 (Fig. 11) no se observó la presencia de la especie en el lago. A partir del muestreo junio2 la especie reapareció pero con densidades bajas (< 20 org l⁻¹) y esta condición se mantuvo hasta el mes de octubre (Fig. 12). En noviembre se observó un incremento de la densidad del rotífero en todas las profundidades, siendo en este mes cuando se presentó el valor máximo anual (124 org l⁻¹ a 20 m de profundidad). Para el mes de diciembre las densidades nuevamente disminuyeron a niveles de ≤ 10 org l⁻¹ en toda la columna de agua (Fig. 12).

Al igual que durante 1998, *H. jenkinsae* no fue observado o presentó densidades muy bajas (0-4 org l⁻¹) en las muestras durante la época más cálida del año (mayo a agosto). En enero esta especie tuvo densidades muy bajas (0-2 org l⁻¹) pero en febrero las densidades se incrementaron en toda la columna de agua y se observó (Fig. 11) la densidad máxima anual (408 org l⁻¹ a 2 m de profundidad). En marzo y abril las densidades descendieron a valores medios (0-123 org l⁻¹) y en mayo se hicieron muy pequeñas (0-4 org l⁻¹). En junio1 no se encontró a la especie en ninguna muestra (Fig. 11), en junio2 únicamente se cuantificaron 2 org l⁻¹ a los 5 m de profundidad y en el mes de julio nuevamente no se observó la presencia de la especie (Fig. 12). En agosto la especie estuvo únicamente a los 10 m de profundidad y con una densidad muy baja (2 org l⁻¹). En octubre y noviembre *H. jenkinsae* se distribuyó de forma más amplia en la columna de agua pero siempre con bajas densidades (0-30 org l⁻¹). Finalmente, en el mes de diciembre no se observó la presencia de esta especie en ninguna profundidad muestreada (Fig. 12).

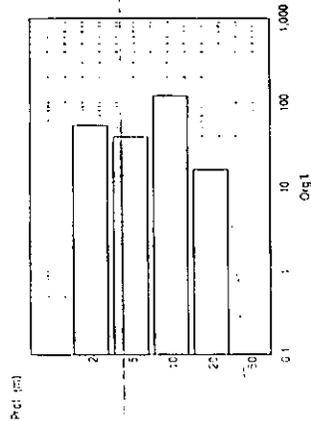
En este año nuevamente la densidad promedio de *H. jenkinsae* (\bar{x} = 23.7 org l⁻¹) superó a la de *B. rotundiformis* (\bar{x} = 5.3 org l⁻¹). Al igual que ocurrió en 1998 no se observó diferencia significativa ($p=0.05$) entre la media de las densidades de *B. rotundiformis* para la época de circulación (\bar{x} = 1.7 org l⁻¹) y estratificación (\bar{x} = 7.8 org l⁻¹), aunque en este caso resultó mayor la densidad promedio de esta última época. En cambio, *H. jenkinsae* volvió a presentar diferencia significativa ($p=0.05$) entre la media de los valores de la circulación (\bar{x} = 52.3 org l⁻¹) y la de estratificación (\bar{x} = 2.6 org l⁻¹)



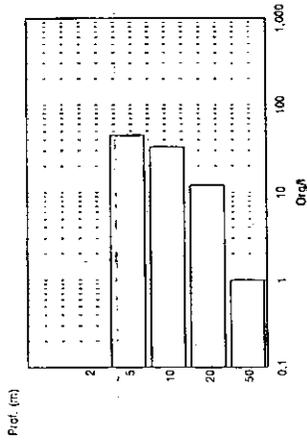
B. rotundiformis
 H. jenkinsae

Figura 9. Variación vertical de las densidades de la especies de rotíferos plánticos del lago Alchichica. Enero a mayo de 1998.

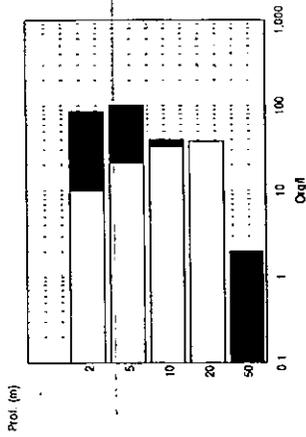
Junio 1998



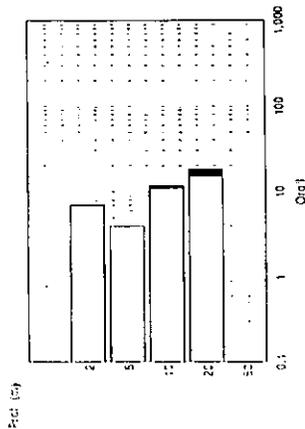
Julio 1998



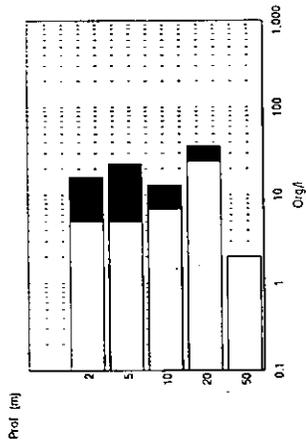
Agosto 1998



Octubre 1998



Noviembre 1998



Diciembre 1998

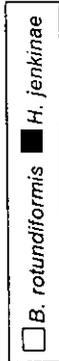
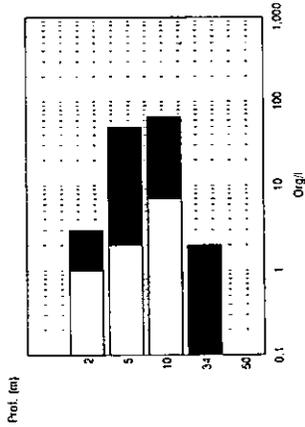
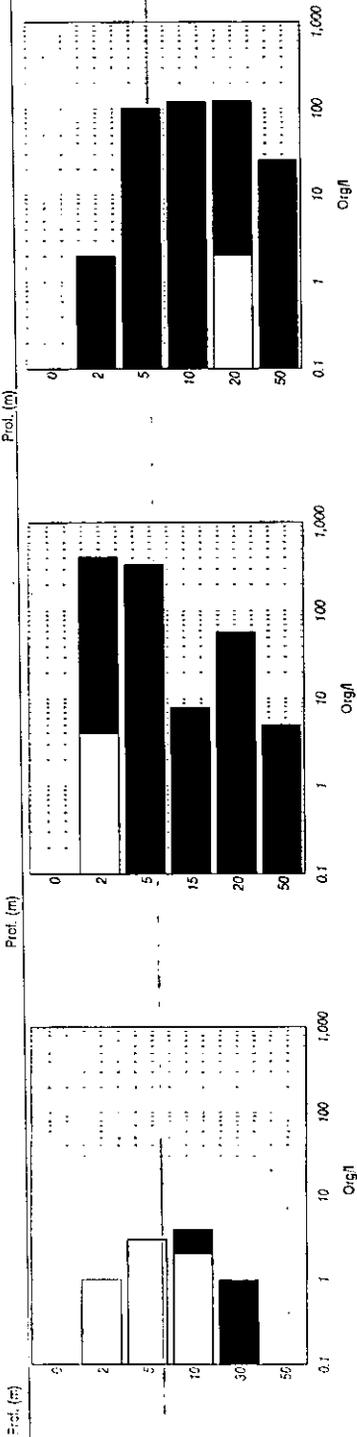


Figura 10. Variación vertical de las densidades de la especies de rotíferos pláncicos del lago Alchichica. Junio a Diciembre de 1998.

Enero 1999

Febrero 1999

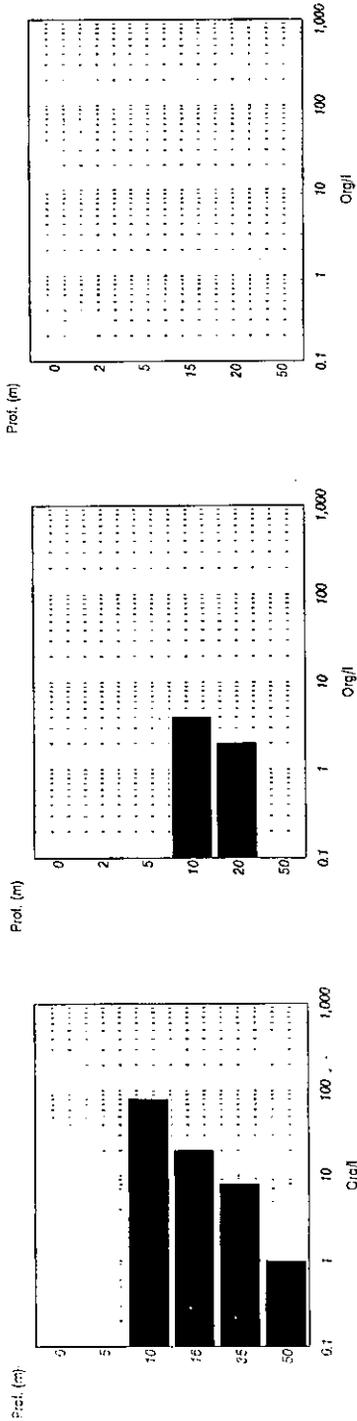
Marzo 1999



Abril 1999

Mayo 1999

Junio 1999



□ *B. rotundiformis* ■ *H. jenkiniae*

Figura 11. Variación vertical de las densidades de las especies de rotíferos plácticos del lago Alchichtica. Enero a junio 1 de 1999.

Junio 2 1999

Julio 1999

Agosto 1999

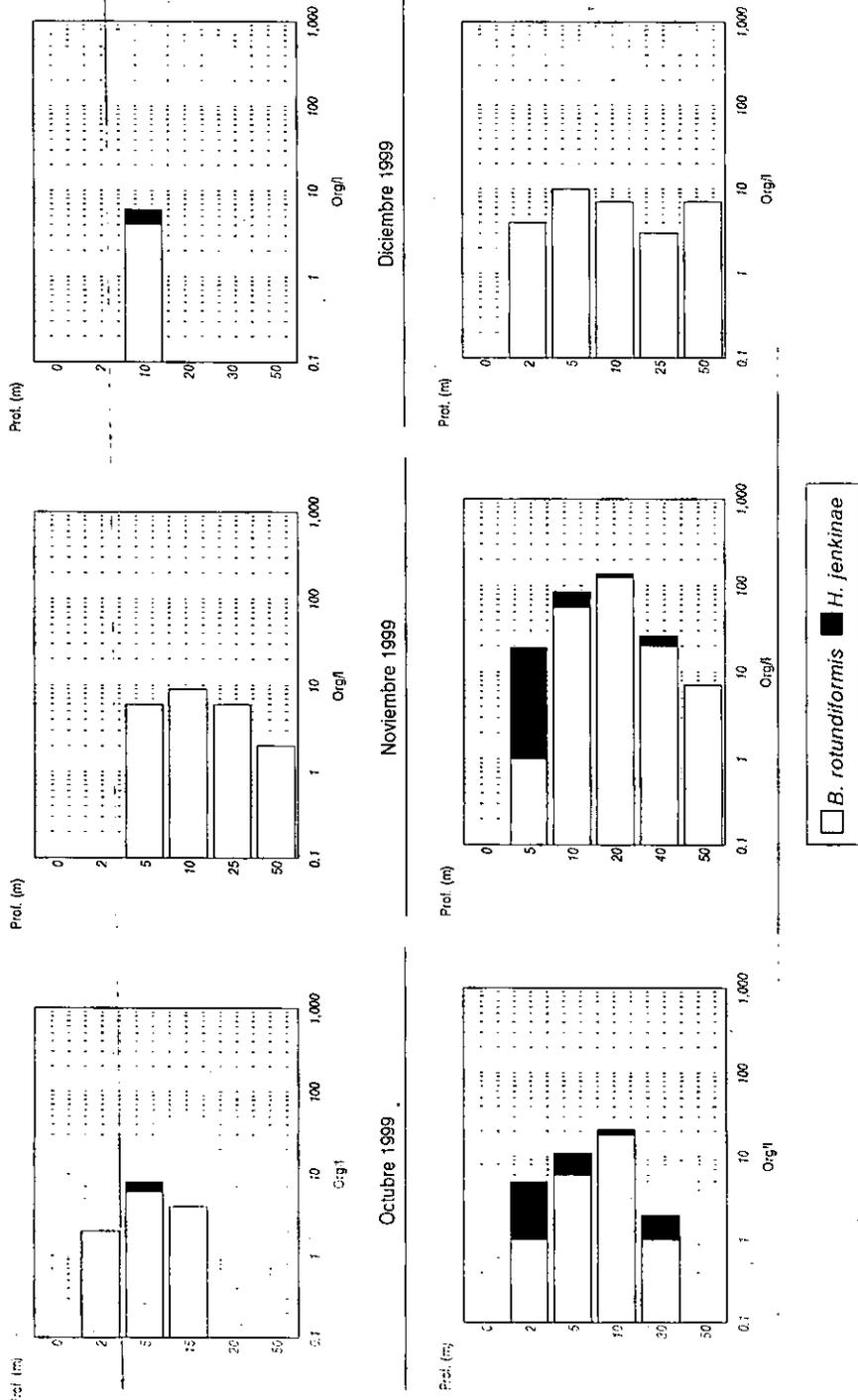


Figura 12. Variación vertical de las densidades de la especies de rotíferos plancticas del lago Alchichica. Junio2 a diciembre de 1999.

En cuerpos de agua dulce se han realizado diversos trabajos sobre la dinámica poblacional y composición de las asociaciones de rotíferos en condiciones naturales. Muchos de ellos parecen señalar hacia un comportamiento al azar de la fluctuación de las poblaciones (Nogrady *et al.* 1993). En lagos salinos, existen pocos trabajos que hayan estudiado la composición y la variación anual de los rotíferos plácticos. Uno de los pocos estudios de la variación temporal de los rotíferos es el de Walker, (1973 en Walker 1981) el cual realizó un estudio sobre la dinámica temporal de los rotíferos del lago somero (1.4 m de profundidad), polimictico y salino (23-56 g l⁻¹) Werowrap, Australia, a lo largo de 3 años. En este lago el rotífero dominante fue *B. plicatilis* aunque también se observó la presencia ocasional de *H. jenkinsae*. Este autor observó que la variación de *B. plicatilis* fue diferente cada año, sin embargo el patrón más general incluyó la presencia de valores altos de densidad durante la primavera y el verano, una declinación en otoño y valores muy bajos en el invierno. Esta variación es muy diferente a la observada en el presente trabajo, ya que sólo coincide la abundancia observada durante los primeros meses de primavera.

En el caso de *Hexarthra*, hay un estudio realizado en el lago Neusiedler, Austria, por Herzig & Koste (1989). En el lago predominan varias especies de este género y se menciona que en los años 1968-1970 se observó la presencia de *H. jenkinsae*, aunque en la actualidad esta especie ya no ha sido encontrada y el dominio es de otras especies del mismo género. El lago Neusiedler es somero, moderadamente alcalino (7.5-14.6 meq l⁻¹ de alcalinidad total) y se encuentra en el límite entre las aguas dulces y las aguas salinas (conductividad de 3000 $\mu\text{S cm}^{-1}$). La variación del género *Hexarthra* en este cuerpo de agua mostró considerables diferencias con respecto a la fluctuación de *H. jenkinsae* en Alchichica. En el lago Neusiedler las especies de *Hexarthra* consistentemente mostraron sus mayores densidades durante la época más cálida (mayo-octubre). En cambio, en Alchichica *H. jenkinsae* fue considerablemente más abundante durante la época fría del año (enero-abril) mientras que durante la época cálida, especialmente entre mayo y julio, esta especie no se presentó o estuvo en mínimas densidades. Este comportamiento fue similar durante los dos años estudiados.

De la misma forma hay pocos estudios realizados sobre la asociación de *B. rotundiformis* y *H. jenkinsae* en lagos cráter, y los pocos que hay generalmente se basan en muestreos realizados en una sola ocasión; tal es el caso de Green (1985), el cual hace un estudio sobre 6 lagos cráter en Arizona, México y Nuevo México en el cual encuentra una asociación frecuente entre las especies del género *Brachionus* y *Hexarthra*. Green, (1986) realizó un estudio en el Lago Chitu en Etiopía, el cual es poco profundo (6 m) y muy pequeño (0.8 km²) donde encuentra estas dos especies en menores abundancias.

En el mismo estudio de Green (1981) se encontró a *H. jenkinsae* como la especie más abundante en el lago Purdigulac, Australia. Este es un lago salino de poca profundidad (2.5 m) y una conductividad menor (8254 $\mu\text{S cm}^{-1}$). En este lago no se encontró la asociación con *B. plicatilis*. En el lago Pawlo, en Etiopía, el cual es de agua dulce y con alcalinidad moderada (10 meq l⁻¹) y un pH de 9.2 también se observaron densidades abundantes de *H. jenkinsae*. Todos los estudios mencionados anteriormente se basan en muestreos ocasionales y no toman en cuenta la dinámica temporal de los rotíferos.

Densidad promedio para la columna de agua por m³.

Tomando en cuenta las profundidades muestreadas y las densidades de rotíferos encontradas se calculó un promedio ponderado de la densidad de rotíferos por cada m³ de columna de agua. A continuación se presenta la variación mensual de los valores de estos promedios.

En 1998 *B. rotundiformis* presentó una máxima variación de la densidad promedio de 0.8 a 169.4 a 0.8 org. m⁻³ en los meses de marzo a abril respectivamente, y el resto del año varió entre 1.2 y 29.1 org. m⁻³ en los meses de mayo a junio respectivamente (Fig. 13)

En 1999 la densidad promedio para la columna de agua por m³ fue de 0 a 48.4 org. m⁻³ en los meses de abril a junio en el cual hay 0 org. m⁻³ hasta noviembre que hay 48.4 org. m⁻³, y el resto del año va de 0.12 a 5 org. m⁻³ en febrero y octubre respectivamente (Fig. 14)

En 1998 la variación promedio en la columna de agua por m³ para *H. jenkinsi* fue de 0 a 140 org. m⁻³. En el mes de mayo a julio no hay organismos y en abril se encuentra el máximo con 140 org. m⁻³ y el resto del año hubo una variación entre 0.04 y 811.78 org. m⁻³ en los meses de mayo a noviembre respectivamente (Fig. 13).

Para el año de 1999 el promedio en la columna de agua por m³ varió entre 0 a 83.75 org. m⁻³. En los meses de junio a agosto y diciembre no hay organismos y en marzo se presentaron el máximo con 83.75 org. m⁻³. El resto del año la variación osciló entre 0.27 a 79.15 org. m⁻³ en los meses de junio a febrero respectivamente (Fig. 14).

Estas variaciones de densidad promedio en la columna de agua por m³ coinciden con la variación puntual por org. l⁻¹, tanto para 1998 como para 1999 para ambas especies.

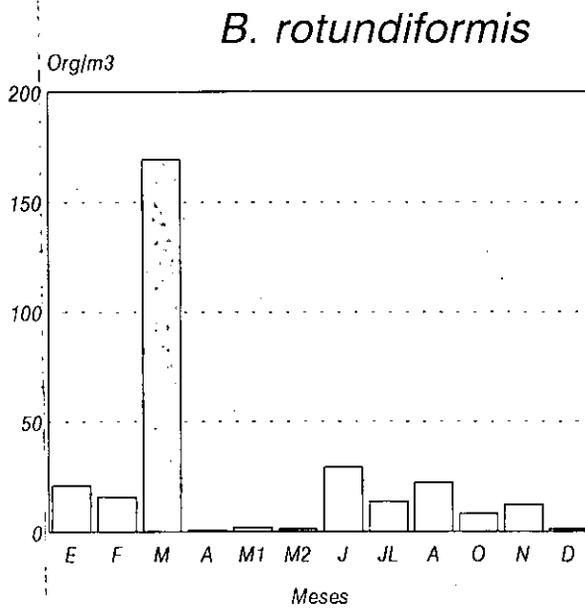
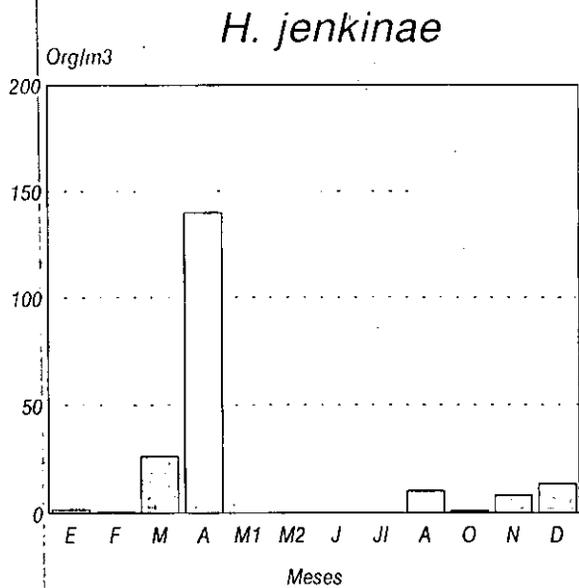
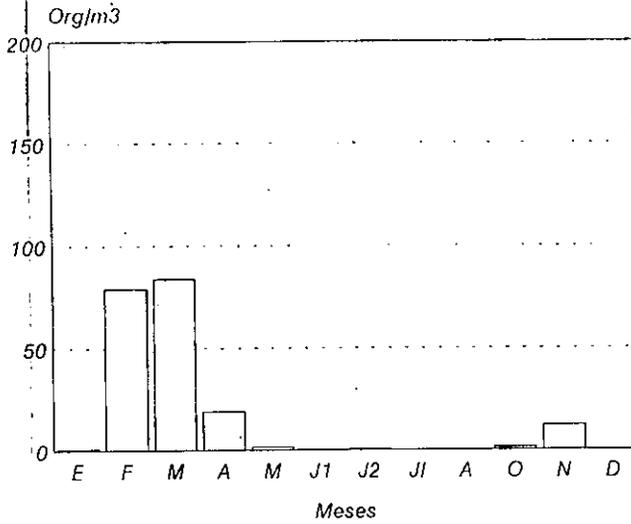


Figura 13. Variación mensual del promedio de organismos en la columna de agua por m³ para 1998.

H. jenkiniae



B. rotundiformis

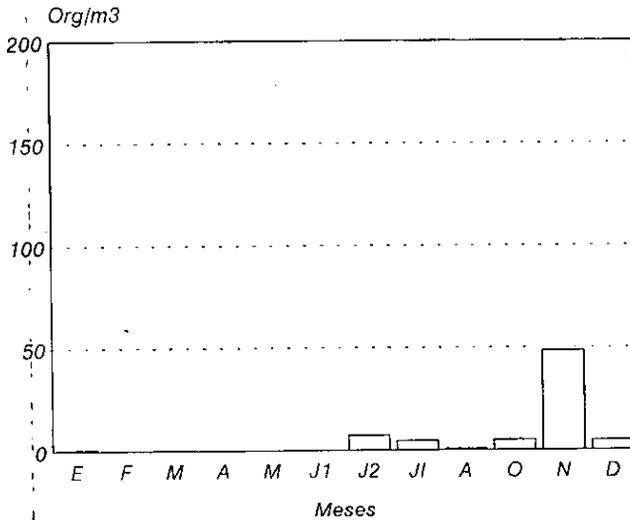


Figura 14. Variación mensual promedio de organismos en la columna de agua por m³ para 1999.

Comportamiento de las biomásas de rotíferos durante 1998.

La biomasa es una medida que expresa el total de la materia que constituye a un ser vivo, y puede medirse en peso seco, fresco, contenido de carbono, pigmentos, ATP etc. (Wetzel, 1983). En este estudio se presenta como peso seco por litro de agua (μg de peso seco l^{-1}). Debido a su forma, para un tamaño equivalente, la biomasa individual de *B. rotundiformis* es superior a la de *H. jenkinsae*.

El mayor aporte a la biomasa durante el año de 1998 lo realizó *B. rotundiformis* (\bar{x} = 24.8 μg de peso seco l^{-1}) a pesar de haber tenido menores densidades. Globalmente, los mayores valores de biomasa (0-890 μg l^{-1}) se observaron durante los meses de marzo y abril, coincidiendo con las densidades máximas de rotíferos. Durante enero y febrero los valores de biomasa fueron intermedios (0-116.3 μg l^{-1}). En el mes de mayo se observaron los valores mínimos anuales (0-2.5 μg l^{-1}). Entre junio y octubre los valores fueron intermedios (0-63.4 μg l^{-1}) y durante noviembre y diciembre, aunque no se notó un incremento (0-49.8 μg l^{-1}), los valores se hicieron más parejos a lo largo de la columna de agua (Figs. 15 y 16)

Ya se mencionó que el mayor aporte a la biomasa lo realizó *B. rotundiformis*. Por tanto, la variación de la biomasa de esta especie se parece bastante a la variación presentada para la biomasa total de los rotíferos. Los valores mayores para esta especie se presentaron en el mes de marzo (2-805.4 μg l^{-1}), mientras que los valores mínimos (0-1.5 μg l^{-1}) se obtuvieron en el muestreo de mayo. Tanto el valor máximo como el mínimo para la biomasa coinciden con los meses en que se presentaron el máximo y el mínimo en la densidad.

El aporte de *H. jenkinsae* (\bar{x} anual = 17 μg l^{-1}) a la biomasa pasó de casi inexistente (0- 6.3 μg l^{-1}) durante enero y febrero a valores más elevados en marzo (0-84.1 μg l^{-1}) para alcanzar el máximo en abril (0-309.6 μg l^{-1}). Debido a que esta especie no se presentó en los meses de mayo a julio, fue durante esta época que se observó el valor mínimo de la biomasa. Entre agosto y diciembre los valores de biomasa de *Hexarthra* se mantuvieron en un nivel moderado (0-44.9 μg l^{-1}). Abril, noviembre y diciembre fueron los únicos meses donde la biomasa de *H. jenkinsae* superó a la de *B. rotundiformis* (Figs. 15 y 16).

Al analizar si existía diferencia significativa ($p= 0.05$) entre la biomasa de *B. rotundiformis* y *H. jenkinsae* no se observó diferencia para este año. Tampoco hubo diferencia para la biomasa de *B. rotundiformis* al comparar las épocas de circulación y estratificación. Pero en el caso de *H. jenkinsae* sí se encontró diferencia significativa ($p= 0.05$) entre el valor medio de su biomasa en la circulación (\bar{x} =40.1 μg l^{-1}) con respecto al valor promedio durante la estratificación (\bar{x} = 5.1 μg l^{-1}).

Comportamiento de las biomásas de rotíferos durante 1999.

Para el año de 1999 la composición de la biomasa fue diferente a la de 1998 pues en este caso predominó el aporte de *H. jenkinsae* (\bar{x} = 21.9 μg l^{-1}). La biomasa de los rotíferos en este año fue menor (entre 0 y 490.3 μg l^{-1}) con relación al año anterior. El valor máximo se presentó en el mes de febrero y el valor mínimo (0 μg l^{-1}) en el muestreo de junio cuando no se observaron rotíferos de ninguna especie. Los meses de enero a abril presentaron valores de biomasa de intermedios a altos. Entre mayo y agosto los valores fueron muy bajos (0-5.7 μg l^{-1}) y entre octubre y noviembre se observó un incremento en los valores de la biomasa (0-79.4 μg l^{-1}). En diciembre, debido a que

nuevamente desapareció *H. jenkiniae*, los valores de biomasa descendieron ligeramente ($2.2-7.7 \mu\text{g l}^{-1}$).

La biomasa promedio de *B. rotundiformis* en 1999 fue muy pequeña ($\bar{x} = 3.4 \mu\text{g l}^{-1}$). Durante los muestreos de enero a junio de 1999 el aporte a la biomasa de *B. rotundiformis* fue muy reducido ($0-4.4 \mu\text{g l}^{-1}$) pero durante la segunda mitad del año su aporte se incrementó considerablemente ($0-71.6 \mu\text{g l}^{-1}$). *H. jenkiniae* tuvo un comportamiento inverso pues durante la primera mitad del año su contribución a la biomasa fue elevada ($1.1-489.8 \mu\text{g l}^{-1}$) mientras que posteriormente su aportación se redujo considerablemente ($0-17.9 \mu\text{g l}^{-1}$).

El comportamiento de las comparaciones de las medias de biomasa de los rotíferos fue igual al descrito para 1998. La única diferencia significativa se encontró entre la biomasa de *H. jenkiniae* durante la circulación ($\bar{x} = 49.5 \mu\text{g l}^{-1}$) y en la estratificación ($\bar{x} = 1.6 \mu\text{g l}^{-1}$).

Comparación interanual de la variación puntual y biomasa de rotíferos.

En el año de 1998 ($\bar{x} = 67.1 \text{ org l}^{-1}$) las densidades totales de rotíferos fueron más elevadas que en 1999 ($\bar{x} = 29 \text{ org l}^{-1}$). Sin embargo, no se encontró diferencia significativa ($p = 0.05$) entre las medias de ambos años. A pesar de no estar presente durante todos los meses de muestreo, *H. jenkiniae* resultó ser la especie más abundante tanto en 1998 ($\bar{x} = 36.5 \text{ org l}^{-1}$) como en 1999 ($\bar{x} = 23.8 \text{ org l}^{-1}$) en comparación con *B. rotundiformis* ($\bar{x} = 30.9$ y 5.3 org l^{-1} para 1998 y 1999).

En ambos años la especie que se presentó en mayor número de muestreos fue *B. rotundiformis*. En 1998 estuvo presente en todos los muestreos realizados. Para 1999 no se observó la presencia de la especie en los muestreos de abril, mayo y junio. A partir de la información anterior puede considerarse que *B. rotundiformis* fue una especie de presencia constante durante todo el año en el lago, aunque generalmente con densidades bajas o medias. Las densidades de esta especie fueron más elevadas durante la época de circulación ($\bar{x} = 65 \text{ org l}^{-1}$) que en la de estratificación ($\bar{x} = 13 \text{ org l}^{-1}$) para 1998; sin embargo en 1999 la densidad durante la estratificación ($\bar{x} = 7.8 \text{ org l}^{-1}$) fue mayor a la observada en la circulación ($\bar{x} = 1.7 \text{ org l}^{-1}$). A pesar de lo anterior, la diferencia no resultó estadísticamente significativa ($p = 0.05$) en ninguno de los dos años.

Por el contrario, *H. jenkiniae* puede considerarse como una especie básicamente estacional en el lago Alchichica. La densidad de esta especie durante la época de circulación resultó significativamente diferente ($p = 0.05$) de la densidad durante la estratificación para ambos años. Además fue muy evidente la disminución o desaparición de esta especie durante la época de mayor temperatura en el lago (mayo-julio) durante la cual se presentó el florecimiento de *N. spumigena* en los dos años (mayo en 1998 y junio en 1999). Lo anterior permite suponer un probable efecto negativo de la temperatura sobre el desarrollo de *H. jenkiniae* o bien pudiera ser que el efecto negativo se deba al cambio en la composición del fitoplancton que ocurre al presentarse el florecimiento de *Nodularia*. Tratándose de un alga filamentososa, su consumo por parte de los rotíferos debe ser muy complicado, además de que esta alga está considerada como no palatable para el zooplancton (Galat *et al.* 1981). Apoyando este último punto de vista, se observó que también las densidades de *B. rotundiformis* disminuyeron considerablemente cuando estuvo presente el florecimiento de *Nodularia* en Alchichica en ambos años.

Al realizar la comparación de medias de la densidad de *B. rotundiformis* en los dos años se observó que no hubo diferencia estadísticamente significativa ($p=0.05$) entre los dos años, a pesar de que las densidades en 1998 fueron considerablemente superiores a las de 1999. *H. jenkiniae* tampoco presentó una diferencia significativa ($p<0.05$) entre las medias de ambos años, a pesar de que en este caso el valor promedio de 1999 resultó mayor que el valor observado en 1998.

Con respecto a la comparación de biomasa total en 1998 fue más alta ($\bar{x}=41.8 \mu\text{g l}^{-1}$) que en 1999 ($\bar{x}=25.3 \mu\text{g l}^{-1}$), aunque esta diferencia no resultó significativa. *B. rotundiformis* fue el que aportó la mayor parte (59.2%) de la biomasa durante el año de 1998 y *H. jenkiniae* aportó más (86.6%) para 1999. Las biomásas más altas corresponden a los meses en donde *B. rotundiformis* es más abundante en 1998. Sin embargo en 1999 su número disminuyó durante la mayor parte del año y sólo hasta noviembre su aporte a la biomasa se hizo considerable (Fig. 17 y 18).

La comparación de las medias de la biomasa total de rotíferos para las épocas de circulación y estratificación señaló la existencia de diferencias significativas ($p=0.05$) para ambos años (1998 circulación $\bar{x}=99.7 \mu\text{g l}^{-1}$, estratificación $\bar{x}=11.8 \mu\text{g l}^{-1}$; 1999 $\bar{x}=50.6 \mu\text{g l}^{-1}$, estratificación $\bar{x}=6.5 \mu\text{g l}^{-1}$).

Contribución de la biomasa de los rotíferos a la biomasa del zooplancton

El zooplancton del lago de Alchichica está formado únicamente por tres especies: las dos especies de rotíferos y *Leptodiptomus novamexicanus*, un copépodo calanoideo (Lugo *et al.* 1999). Garfías (2000) evaluó las densidades y la biomasa del copépodo en el mismo período que el presente trabajo. Esta autora encontró que para 1998 la biomasa de copépodos varió entre 0 y $1377.7 \mu\text{g l}^{-1}$ ($\bar{x}=116.8 \mu\text{g l}^{-1}$) resultados mayores a los observados en los rotíferos (0– $889.5 \mu\text{g l}^{-1}$, $\bar{x}=41.8 \mu\text{g l}^{-1}$). El valor máximo puntual de biomasa ($2267.2 \mu\text{g l}^{-1}$) se presentó en el mes de marzo a 8 m de profundidad, coincidiendo en este punto los valores máximos anuales de biomasa de rotíferos y copépodos. En estas condiciones la biomasa de los rotíferos representó casi el 40% de la biomasa total del zooplancton.

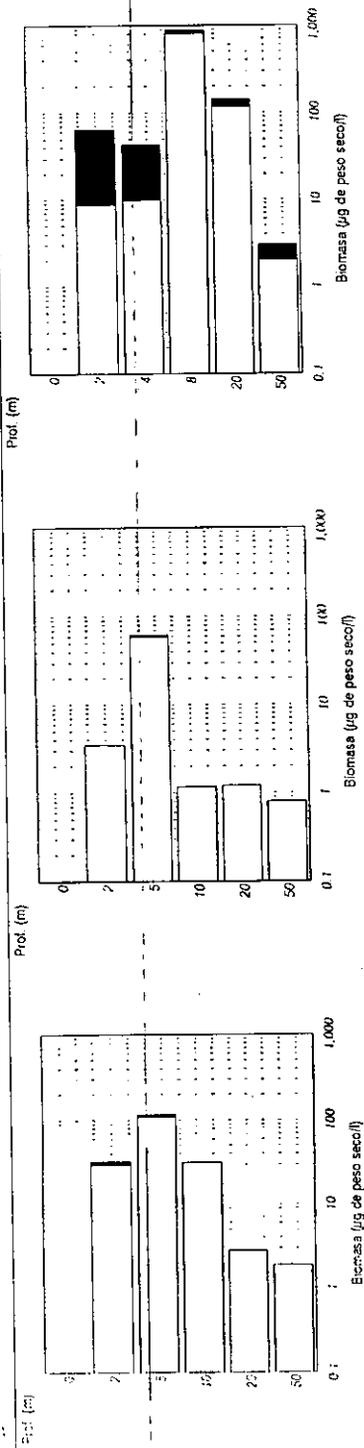
Considerando los resultados de una manera más global, la biomasa de los rotíferos durante la época de circulación de 1998 representó entre un 0.39 y 100% con un promedio de 47.3% de la biomasa total. Especialmente en el mes de abril, la contribución de la biomasa de rotíferos superó a la de los copépodos en las profundidades ubicadas en la zona fótica. A partir del mes de mayo y hasta diciembre, los valores de biomasa total disminuyeron y la contribución de los copépodos fue generalmente mayor. En esta época, correspondiente a la estratificación térmica del lago, la contribución de los rotíferos varió entre 0 y 100% con un promedio de 27.6%.

En 1999 los valores de biomasa de copépodos (0– $797.4 \mu\text{g l}^{-1}$, $\bar{x}=77.4 \mu\text{g l}^{-1}$) y rotíferos (0– $491.3 \mu\text{g l}^{-1}$, $\bar{x}=25.3 \mu\text{g l}^{-1}$) disminuyeron con relación al año anterior. El comportamiento fue similar al de 1998 con una mayor contribución a la biomasa por parte de los rotíferos (0–100% $\bar{x}=23\%$) durante la época de circulación (enero-abril y diciembre). Especialmente en febrero, la biomasa de rotíferos superó a la de los copépodos en la parte superficial del lago (2–10 m). Durante la época de estratificación la biomasa de los copépodos generalmente fue mayor a la de los rotíferos pero la contribución de éstos últimos se ubicó en valores de entre 0 y 100% con un valor promedio de 19.1%.

Enero 1998

Febrero 1998

Marzo 1998



Abril 1998

Mayo1 1998

Mayo2 1998

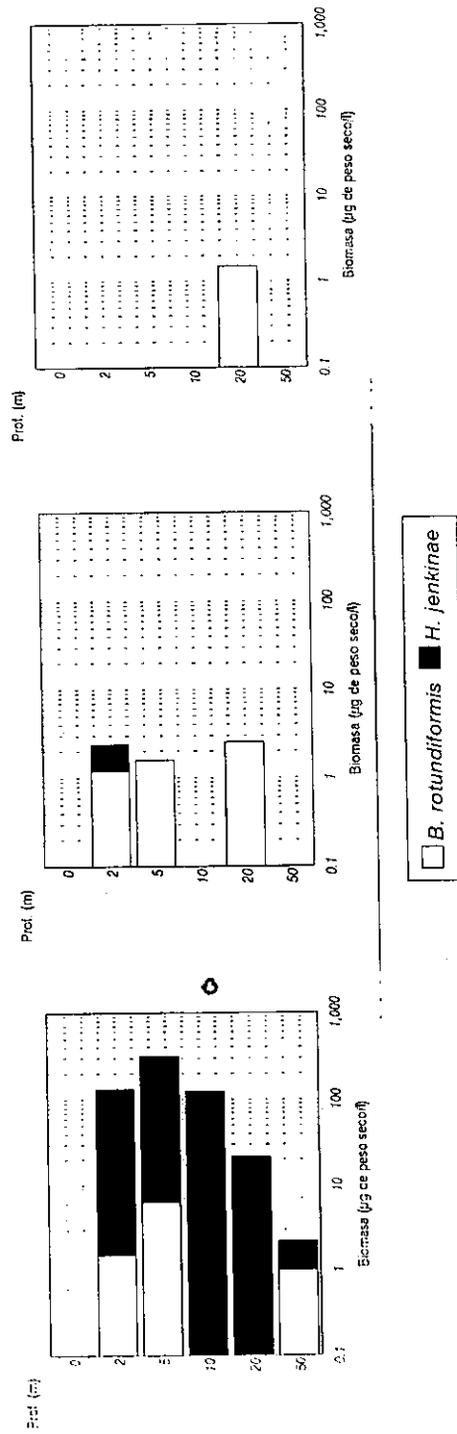
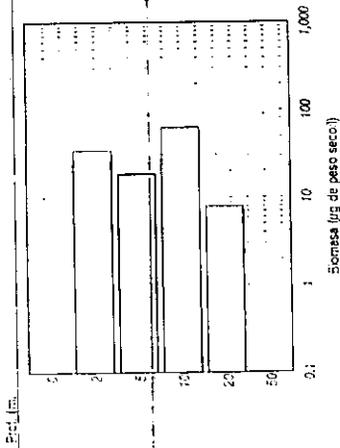
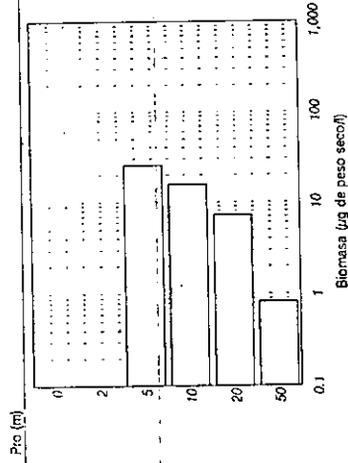


Figura 15. Variación vertical de la biomasa de la especies de rotíferos pláncnicos del lago Alchichica. Enero a mayo de 1998

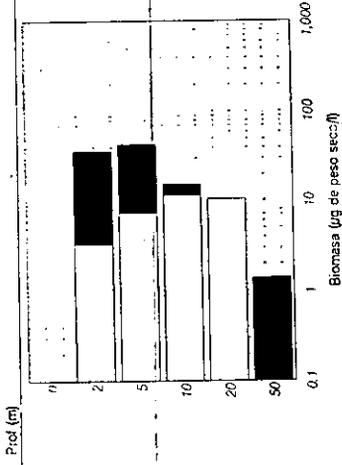
Junio 1998



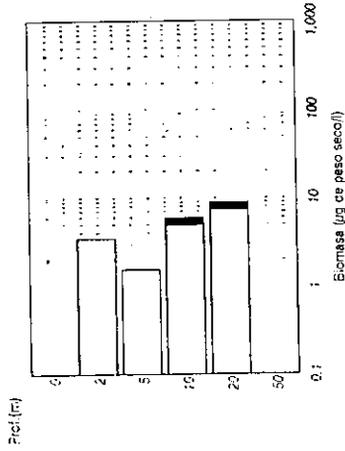
Julio 1998



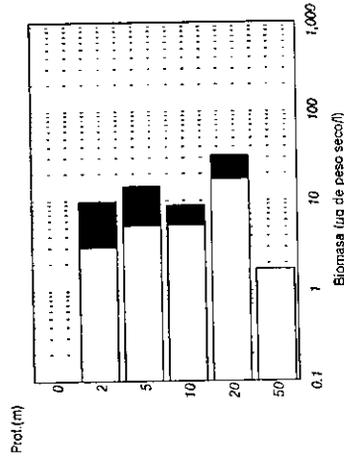
Agosto 1998



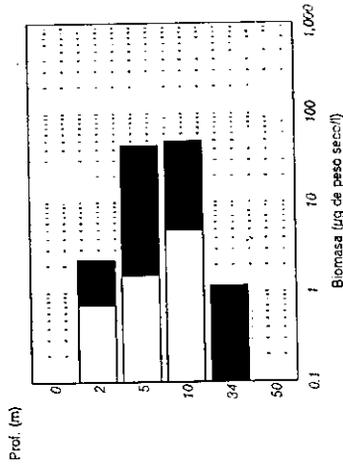
Octubre 1998



Noviembre 1998



Diciembre 1998



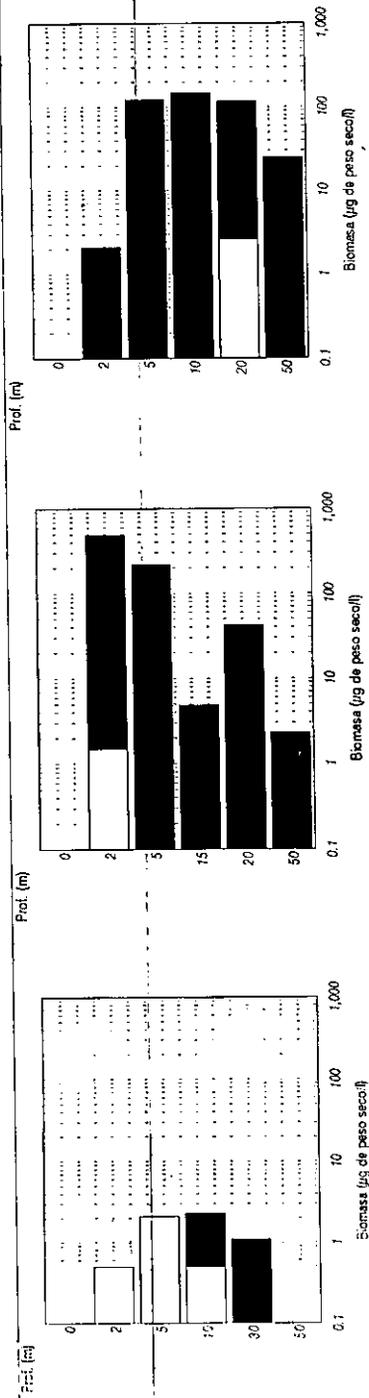
□ *B. rotundiformis* ■ *H. jenkiniae*

Figura 16. Variación vertical de la biomasa de las especies de rotíferos pláncnicos del lago Alchichica. Junio a diciembre de 1998.

Enero 1999

Febrero 1999

Marzo 1999



Abril 1999

Mayo 1999

Junio 1999

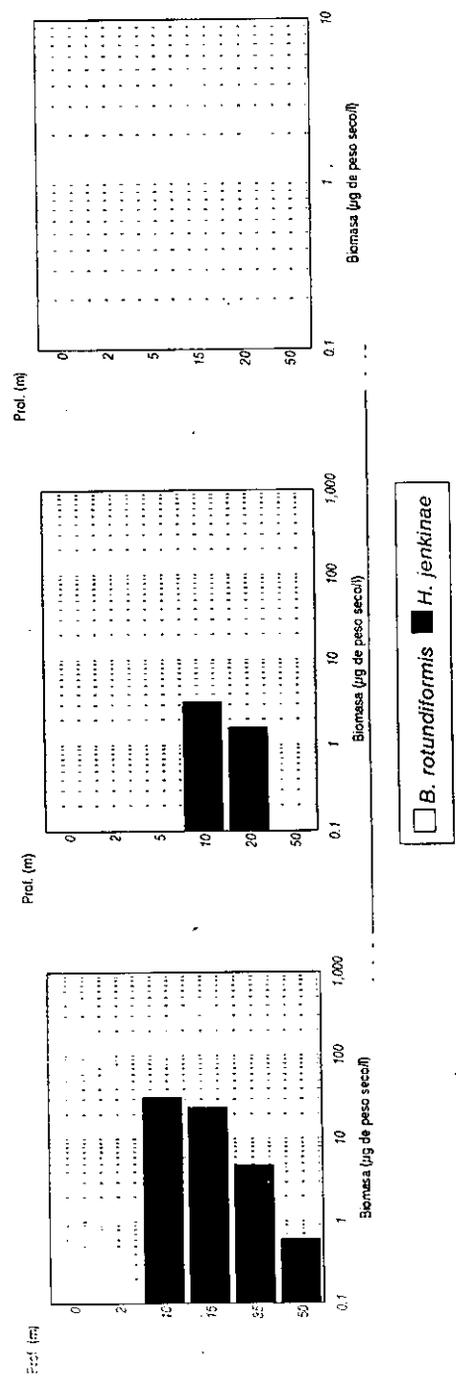


Figura 17. Variación vertical de la biomasa de la especies de rotíferos plácticos del lago Atchichica. Enero a junio 1 de 1999.

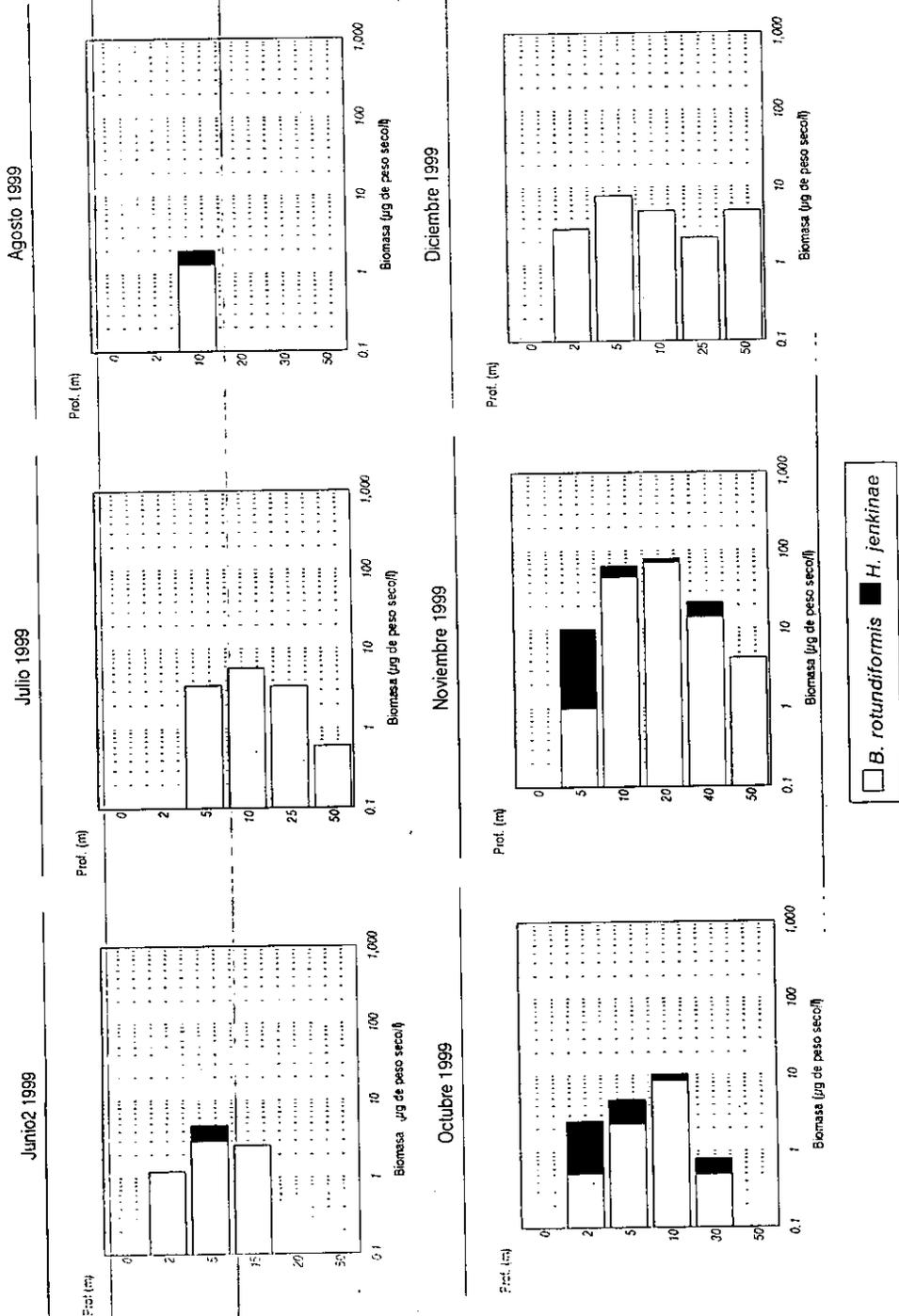


Figura 18. Variación vertical de la biomasa de las especies de rotíferos planctónicos del lago Alchichica. Junio 2 a diciembre de 1999.

Correlaciones

Los resultados del análisis de correlación entre las variables ambientales y las densidades de las especies de rotíferos plácticos señalaron una correlación significativa ($r=0.32$ $p < 0.05$) entre *H. jenkinsae* y la concentración de oxígeno disuelto. Esto es un reflejo del hecho de que esta especie presentó sus densidades más elevadas durante la época de circulación, que también corresponde a la temporada en que se midieron las concentraciones más elevadas de OD en el lago. También se observó una correlación más débil, pero significativa ($r=0.20$ $p < 0.05$) entre *B. rotundiformis* realizados con el coeficiente de correlación no paramétrico de Spearman ($p < 0.05$), no fueron significativas en ninguno de los dos años, a excepción de *H. jenkinsae* que se correlacionó positivamente con la presencia de oxígeno disuelto ($r=0.32$ $p < 0.05$), con temperatura ($r=0.20$). Las correlaciones anteriores indican la relación de las mayores densidades de con la época de circulación del lago, cuando en ambos años se observaron las concentraciones más elevadas de OD. Para el caso de *B. rotundiformis* la relación más clara con la temperatura se observó principalmente en el año de 1998 cuando esta especie fue moderadamente abundante durante la época cálida (junio-agosto). En el año de 1999 la relación con la temperatura fue menos evidente.

El análisis de correlación entre los rotíferos y el fitoplancton mostró una correlación significativa ($r=0.44$, $p=0.0040$) entre las densidades de *B. rotundiformis* y las densidades de algas de tamaño menor de $17 \mu\text{m}$; También hubo relación significativa ($r=0.29$, $p=0.02$) entre las densidades totales de rotíferos y el grupo de algas $< 17 \mu\text{m}$. La densidad total del fitoplancton y la densidad total de rotíferos igualmente mostraron correlación significativa ($r=0.29$, $p=0.02$). En todos los casos el número de datos utilizados para la correlación fue de 60.

No se encontró ninguna correlación significativa entre *H. jenkinsae* y el fitoplancton. Lo anterior puede deberse a que, según observaciones personales realizadas en el laboratorio esta especie, a diferencia de *B. rotundiformis*, parece consumir preferentemente bacterias.

Conclusiones

La riqueza específica de rotíferos plácticos en el lago de Alchichica fue muy reducida (2 especies). Este bajo valor se atribuye principalmente al efecto de la salinidad y composición del agua y corresponde con lo observado en otros lagos salinos.

Con respecto a la densidad de las dos especies de rotíferos plácticos del Lago Alchichica, fue *H. jenkiniae* el que presentó el mayor valor promedio durante ambos años, aunque su presencia en el lago puede considerarse estacional, con los valores más elevados presentes durante la época de circulación. *B. rotundiformis* también tuvo densidades más elevadas en la época de circulación pero su presencia en el lago a lo largo de todo el ciclo anual fue más constante.

En cuanto a la distribución vertical, los rotíferos se encontraron principalmente en la zona fótica (0-20 m), prefiriendo principalmente las profundidades de 5 y 10 m. En la zona profunda (50 m) únicamente se encontraron con densidades moderadas durante la época de circulación del lago.

Aunque la variación en ambos años no fue exactamente la misma si pudo observarse un patrón de fluctuación anual similar: un crecimiento limitado durante enero, crecimiento máximo en el período de febrero a abril, desaparición casi completa entre mayo y julio. Durante la época de estratificación (agosto –noviembre) las densidades se mantuvieron en valores muy bajos. Finalmente, en diciembre parece iniciarse una nueva época de crecimiento.

La densidad y la biomasa de los rotíferos fueron mayores para 1998 que para 1999. *B. rotundiformis* fue el que contribuyó con la mayor proporción de la biomasa en 1998 y *H. jenkiniae* lo hizo en 1999.

El patrón de circulación-estratificación del lago de Alchichica durante los años 1998-1999 fue de tipo monomítico cálido, coincidiendo con lo observado en estudios previos. Los perfiles de temperatura de 1998 y 1999 fueron muy parecidos, pero en 1999 el período de mezcla además de presentarse en los meses de enero abril, en este año comienza una mezcla en el mes de diciembre, adelantándose al período de mezcla del año 2000.

El oxígeno disuelto estuvo presente durante más tiempo en el año de 1999 en la zona afótica, aunque para 1998 se encontraron valores más altos en la zona eufótica en los meses de marzo a mayo.

Las variaciones de pH fueron muy bajas para los dos años debido a la alta reserva alcalina que presenta el lago Alchichica que no permite grandes variaciones a lo largo del año. La conductividad a K_{25} se comportó para los dos años sin grandes variaciones, tanto en la época de lluvias como de secas.

En 1998 la concentración de clorofila *a* se encontró en cantidades menores que durante 1999. Tanto a lo largo de toda la columna de agua durante todo el año, así como cuando se presenta el máximo profundo de clorofila.

Las únicas correlaciones significativas entre los rotíferos y los factores ambientales fueron la de *H. jenkinsae* con la presencia de oxígeno disuelto y la de *B. rotundiformis* con la temperatura. A pesar de lo anterior, ninguna de las dos especies de rotíferos fue abundante durante la época más cálida del año.

El factor limitante de la presencia de rotíferos en la columna de agua a lo largo de los dos años parece ser la disposición de alimento, y este a su vez está relacionado con los períodos de mezcla y estratificación que presenta el lago anualmente. El período de circulación, cuando la concentración de alimento es elevada, generalmente presentó densidades y biomásas más altas, especialmente para el caso de *H. jenkinsae*. Al igual que se ha observado en otros lagos, el crecimiento de las poblaciones de rotíferos ocurrió desfasado de la época de máximo crecimiento del fitoplancton, encontrándose las mayores densidades durante la parte intermedia o al final de la época de circulación.

La contribución de los rotíferos a la biomasa total del zooplancton del lago Alchichica fue notablemente variable a lo largo del ciclo anual. Sin embargo, en los dos años estudiados la contribución fue mayor en la época de circulación. Durante ésta, los rotíferos fueron frecuentemente los principales contribuyentes de la biomasa del zooplancton, señalando la importancia de los organismos mencionados dentro del funcionamiento del plancton en el lago Alchichica.

Referencias Bibliográficas

- Alcocer, J. y Escobar, E. 1988. Limnology of Alchichica Lake (México). Memorias of IV International Symposium on Athalassic (Inland) Saline Lake. *Banyoles*. s/p
- Alcocer J. y E. Escobar. 1990. The drying up of the Mexican Plateau axalapazcos. *Salinet* 4:34-36.
- Alcocer J. y Williams, W.D.. 1993. Lagos salinos mexicanos.pp 849-865. In: S.I. Salazar-Vallejo y N.E. Gonzáles (eds.) *Biodiversidad marina y costera de México*. CONABIO y CIQRO. México.
- Alcocer, J. 1995. *Análisis holístico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos litorales de seis lagos cráter con un gradiente de salinidad*. Tesis de Doctorado en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM. México. 106 pp.
- Alvarez, J. 1950. Contribución al conocimiento de los peces de la región de los llanos del estado de Puebla (México) *An. Esc. Nat. Cienc. Biol.* VI(1-4).
- A.P.H.A., A.W.W.A., W.P.C.F. 1985. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 16ed. Washington, D.C. 1268 pp.
- Arredondo- Figueroa J.L., L.E. Borrego-Enriquez, R.M. Castillo Dominguez y M.A. Valladoiid-Laredo . 1983. Batimetría y morfometría de los lagos "maars" de la Cuenca de Oriental, Puebla, México. *Biótica* 8 (1) 37-47.
- Arredondo-Figueroa, J.L, O. Vera y A. O. Ortiz. 1984. Análisis de componentes principales y cúmulos de datos limnológicos, en el Lago Alchichica. *Pue. Biótica* 9:23-39
- Barnes D.R. 1996. *Zoología de los Invertebrados*. Ed. Interamericana, México, 258-271 pp.
- Bartram, W.C. 1981. Experimental development of a model for the feeding of neritic copepodes on phytoplankton, *J. Plankton Res* 3:25-51.
- Becker E. W. 1994. *Microalgae. Biotechnology and Microbiology*. Cambridge University Press.
- C.F.E. 1960. Análisis químicos del agua de las lagunas de El Carmen Alchichica, Quechulac. La preciosa y Atexcac en Puebla. Comisión Federal de Electricidad. Junio 1960 a Nov de 1962. Reporte inédito.
- Chotiyaputta C. y Hirayama K. 1978. Food selectivity of the rotifer *Brachionus plicatilis* feeding on phytoplankton. *Mar. Biol.* 45: 105-111.
- Cole, G.A. 1979. *Textbook on Limnology*. The C.V. Mosby Company. San Luis. 426 pp.

- De Buen, F. 1945. Investigaciones sobre ictiología mexicana. I. Atherinidae de aguas continentales de México. *An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. Méx.* 16:475-532.
- Dewey, J.M. 1976. Rates of feeding respiration and growth of the rotifer *Brachionus plicatilis* and the dinoflagellate *Noctiluca miliaris* in the laboratory, Ph. D. Thesis, Univ. Washington 117 pp.
- Díaz, P.E. y M.C. Guerra. 1979. Estudio limnológico de los axalapaxcos del estado de Puebla; resultados preliminares. Lab. de Cordados. Depto de Zoología. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. I:P:N: Reporte inédito.
- Downing, J. y Rigler, F. 1984. *A manual on methods for the Assessment of secondary productivity in fresh waters*. Second edition. IBP Handbook No 17. Gran Bretaña. 501 pp.
- Dumont, H.J. 1977. Biotic factors in the population dynamics of rotifers In: C.E. King (ed) *Proceedings of the First International Rotifer Symposium*. *Ergeb. Limnol.* 8:98-112.
- Edmondson, W. T. 1959. Rotifera. En Edmondson W.T. (Ed). *Freshwater Biology*. 2ª Ed. John Wiley & Sons. pp 421-489.
- Edmondson, W.T. & Winberg, G.G. 1971. *A manual on methods for the Assessment of Secondary Productivity in Fresh Waters*, IBP Handbook No 17 358 pp.
- Ewald, U., E. Seele, y J. Alcocer. 1994. Tequesquite- A Story with loose ends (The occurrence of natural soda in México). *J. Salt Hist.* 2:71-100.
- Fuentes A.L. 1972. *Regiones naturales del estado de Puebla*. Dirección de Publicaciones de la Universidad Nacional Autónoma de México. 143 pp
- Fu, Y., Hirayama, K. And Natsukari, Y. 1991. Genetic divergence between S and L type strains of the rotifer *Brachionus plicatilis* O.F. Muller. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 151:43-56
- Galat, D.L., Lider, E.L., Vigg, S., y Robertson, S.R. 1981 Limnology of a large, deep, North American terminal lake, Pyramid lake, Nevada, U.S.A. *Hydrobiología*. 82: 281-317.
- García, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. E. García. México. 217 pp.
- Garfias, T. 2000. *Variación poblacional temporal y vertical del copépodo pláctico *Leptodiaptomus novamexicanus* (Copepoda: Calanoida) en un lago salino*. Tesis de Licenciatura (Biología). ENEP Iztacala, UNAM. México. 57 pp.
- Garzón, M.A. 1990. *Caracterización saprotrofica de los lagos cráter de la región de los Llanos, Puebla*. Tesis de Licenciatura (Biología). ENEP. Iztacala, UNAM. México. 101 pp.
- Gasca, D.A. 1982. *Algunas notas de los génesis de los lagos cráter de la Cuenca de Oriental, Puebla-Tlaxcala-Veracruz*. Colección científica Prehistoria, N° 98. *Inst. Nal. Antrop. Hist.* México, 55 pp.

- Green, J. 1981. Associations of rotifers in Australian crater lakes. *J. Zool. Lond.* 193: 469-486
- Green, J. 1986. Zooplankton associations in some Ethiopian crater lakes. *Freshwater Biol.* 16: 495-499
- Green, J. 1986. Associations of zooplankton in six crater lake in Arizona, Mexico and New Mexico. *J. Zool. Lond.* 208: 135-159
- Green, J. 1994. The temperate-tropical gradient of planktonic Protozoa and Rotifera. *Hydrobiologia* 272: 13-26
- Green, R. H. 1975. *Sampling Design and Statistical Methods for Environmental Biologists*. John Wiley and Sons Toronto. 257 pp.
- Hammer, T.U., 1986. *Saline lake ecosystems of the world*. Dr. W. Junk Publishers. Dordrecht. 616 pp.
- Hammer, T.U., Sheard, J. S., y Kranabetter, J. 1990. The distribution and abundance of littoral benthic fauna in saline lakes of Saskatchewan, Canada. *Hydrobiologia*. 105:1-26
- Herzig, A. Koste W. 1989. The development of *Hexarthra* spp. in a shallow alkaline lake. *Hydrobiologia* 186/187: 129-136
- Hirayama, K. and Rumengan, I. 1993. The fecundity patterns of S-type and L-type rotifers of *Brachionus plicatilis*. *Hydrobiologia* 255/256: 153-157
- Koste, W. 1978. Rotatoria. Die Rädertiere Mitteleuropas. Ein Bestimmungswerk, begründet von Max. Vol 2 Voigt Überordnung Monogononta. Alemania. 673 pp.
- Lewis, W. Jr., 1978. A compositional phytogeographical and elementary structural analysis of the phytoplankton in a tropical lake. *J. Ecol.* 66:213-226
- Lugo, 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 en Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. 76 pp.
- Lugo, A., J. Alcocer, M. Chávez, G. Vilaclara, M. Gaytán y Ma. R. Sánchez. 1994. Los axalápazcos de Puebla. Seis joyas en el desierto. *Información Científica y Tecnológica*. 16 (209):32-36
- Lugo, A. 1999. Distribution of *Leptodiptomus novamexicanus* (Copepoda: Calanoida) in a Mexican hyposaline lake. *Rev. Biol. Trop.* 47: 141-148.
- Lugo, A. 2000. *Variación espacial y temporal de la estructura de la comunidad planctónica del lago de Alchichicá, Puebla, con algunos aspectos de interacciones tróficas*. Tesis de Doctorado en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM. 98 pp.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

- Makarewicz J.C. and G.E. Likens, 1979. Structure and function of the zooplankton community of Mirror Lake, New Hampshire. *Ecol. Monogr.* 49:109-127.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*, Omega. Madrid. 1010 pp.
- Marker A.F.H., C.A. Crowther y R. J. M. Gunn. 1980. Methanol and acetone as solvents for estimating chlorophyll a and phaeopigments by spectrophotometry. *Archiv. Hydrobiol. Beih. Ergebnisse der Limnologie* 14: 52-69
- Montoya, Ma. de J. y L. Peralta. 1995. *Ecología de los oligoquetos de los lagos "maars" de la porción surenoriental del Altiplano Mexicano*. Tesis de Licenciatura (Biología). E.N.E.P. Iztacala, UNAM. 62 pp.
- Nogrady, T., Wallace, R.L. y Snell, T.W.. 1993. Rotifera. Biology, Ecology and Systematics. SPB Academic Publishing, The Hage, Holanda. 142 pp.
- Ordoñez, E. 1906. Los xalapascos del estado de Puebla. 2a. Parte. *Parergones del Instituto Geológico de México* 1: 347-393.
- Piña, E.P. 1984. *Variación estacional del fitoplancton en tres axalapaxcos de la Cuenca de Oriental, Puebla*. Tesis de licenciatura (Biología) Esc. Nac. Cienc. Biol., I.P.N., México. 41 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.* 75-78.
- Ramírez-García, P. y F. Vázquez-Gutiérrez. 1989. Contribución al estudio limnobotánico de la zona litoral de seis lagos cráter del estado de Puebla. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Nal. Autón. México* 16: 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.* México 62 pp+ 1 plano.
- Rumengan, I. Kayano, H. and Hirayama K. 1991. Karyotypes of S-type and L-type rotifers *Brachionus plicatilis* Muller, O.F. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 154: 171-176
- Ruttner-Kolisko, A. 1974. Plankton rotifers: biology and taxonomy. *Die Binnengewässer* (Suplemento) 26: 1-146.
- Serranía, C. 1996. *Diversidad de Rotíferos Monogonontos en algunos sistemas acuáticos del Estado de México*. Tesis Profesional. Licenciatura. Biología. E.N.E.P. Iztacala, UNAM. 74 pp.
- Sládeček, V. 1983. Rotifers as indicators of water quality. *Hydrobiologia* 100:169-201
- Soto, F., F. Lozano, A. Diez, C., Mejía y J. Villa, 1977. Estudio piloto de la vegetación de la región de Alchichica-Perote por medio de la percepción remota. *Biótica* 2: 19-36
- Sudzuki, M. 1987. Intraspecific variability of *Brachionus plicatilis*. *Hydrobiologia* 147: 45-47

- Taylor E.H. 1943. A new Ambystomid salamander adapted to brackish water. *Copeia* 3: 151-156.
- Ubeda, M. y Estrada S. 1994. *Variación temporal de las comunidades macrobentónicas de los lagos de la región de los llanos de Puebla. México (composición, abundancia, distribución, asociaciones)*. Tesis de Licenciatura (Biología). E.N.E.P. Iztacala, UNAM. 44 pp.
- Vidal, L.J. Valero, G.M. y Rangel M.R. 1985. *Frontera Acuicola*. S.A.R.H. Comisión del Plan Nacional Hidráulico, México. 216 pp
- Vilaclara, G., M. Chávez, A. Lugo, H. González y M. Gaytán. 1993. Comparative description of crater-lakes basic chemistry in Puebla State, México. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 435-440.
- Wetzel R. G. 1981. *Limnología*. Omega. Barcelona. 679 pp
- Vilsee C. A. 1976. *Biología*. Interamericana. España. 821 pp.
- Williamson C.E. 1986. Invertebrate predation on planktonic rotifers. *Hydrobiologia*. 104: 385-396.