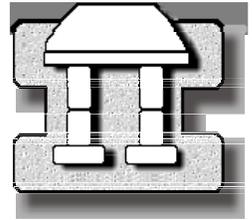




**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO**

**FAULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA**



FLUCTUACIONES TEMPORALES DEL FITOPLANCTON Y ALGUNOS
DESCRIPTORES LIMNOLÓGICOS DEL EMBALSE VALLE DE BRAVO
DURANTE UN CICLO DE *ca.* 30 HORAS EN OCTUBRE DE 2002.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G A

P R E S E N T A:

MARIA ELENA VALERIANO RIVEROS

DIRECTOR DE TESIS:

Dra. GLORIA VILA CLARA FATJO



Marzo 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

A mi Madre, por que día tras día deposito en mí su confianza, sus anhelos y su esperanza, por su trabajo, sus esfuerzos, sus desvelos y sacrificios. Por sus enseñanzas, sus consejos, por todos los momentos que ha compartido conmigo, por sacarme adelante, por enseñarme a mirar adelante y sin importar los obstáculos que se me pusieran enfrente alcanzar mis metas, pero sobre todo el gran amor que me ha demostrado siempre.

A Ricardo por enseñarme que con paciencia pueden alcanzarse grandes sueños, por compartir una gran parte de mi vida, aceptándome como soy y ayudándome a mejorar algunos aspectos de mi vida.

A mis hermanos por que aunque a veces los quiero mucho, pero lejos de mí, me han enseñado muchas cosas y se que en gran medida mi carácter y personalidad dependen en mucho de la convivencia con ellos y de otras personas que me han acompañado a lo largo de mi existencia.

A mis sobrinos e hijos María de los Ángeles y Ricardo Natanael los cuales me han brindado con su compañía grandes alegrías.

A mis Tíos Cele, Javier, Sergio, Artemio, Jaime y Manuel, a todos mis primos por enseñarme que la familia debe estar unida sin importar las adversidades por que con la ayuda de las personas que nos aman todo va mejor.

A mis profesores: Esther Domínguez, Fernando, Silvia de la cruz, Beatriz Gamez, pero sobre todo a mi Tío Isaac, mi primer profesor de Biología, al cual, debo el haber estudiado esta maravillosa carrera.

Por último y no por ello el menos importante, a Dios por permitirme haber nacido en este tiempo, por darme la familia y amigos que me dio y por permitirme seguir viviendo y compartiendo momentos inolvidables con todas las personas que me quieren.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Gloria Vilaclara Fatjó por aceptar dirigir esta tesis, pero sobre todo por aceptarme como su alumna y brindarme su apoyo en todo momento.

A los miembros de mi jurado: Dr. Martín Merino Ibarra, M. en C. María Guadalupe Oliva Martínez, M. en C. Mario Modesto Chávez Arteaga y en especial a Biol. Martha Gaytán Herrera, por la dirección y asesoría para la realización de esta tesis.

Al Laboratorio de Biogeoquímica del instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMYL) y a su responsable, el Dr. Martín Merino, por las facilidades otorgadas al trabajo a través de los proyectos:

-- "Procesos físicos y biogeoquímicos en un embalse tropical en proceso de eutroficación y su relación con florecimientos algales nocivos ", apoyado por DGAPA IN207702, 2003-2006.

-- "Estudio integral del embalse de Valle de Bravo para su manejo sustentable: Un marco científico aplicable a los cuerpos de agua epicontinentales eutroficados del país", apoyado por el Programa de Fondos Sectoriales SEMARNAT-CONACYT 2002 (SEMARNAT-2002-C01-1125), 2004-2007.

Al Hidrobiólogo Sergio Castillo Sandoval, del Laboratorio de Biogeoquímica del ICMYL, por los datos de nutrientes.

A Jorge Ramírez Zierold, estudiante de Doctorado del Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, por su asesoría para la interpretación de los datos de nutrientes y para la realización de las graficas de nutrientes en Surfer.

Al Laboratorio de Limnología Tropical por facilitar el uso del microscopio Invertido Zeiss D y el de epifluorescencia Leica (a cargo del Dr. Miroslav Macek).

A los Servèis Científic-Tècnics de la Universitat de Barcelona, por facilitar el uso del microscopio electrónico de barrido Cambridge-Leica 360 (a través de la Dra. Gloria Vilaclara).

A ustedes, que no necesito mencionar por que saben a quienes me refiero, gracias por brindarme su amistad, su apoyo y por soportarlos día a día, pero sobre todo por los grandes momentos que compartimos.

A Dios por permitirme llegar a este momento de mi vida, por que gracias a él estoy hoy aquí y por todas las bendiciones que me ha dado.

CONTENIDO

1. RESUMEN.....	5
2. INTRODUCCIÓN.....	6
2.1 El recurso acuático en México.....	7
2.2 Comunidades acuáticas y fitoplancton.....	9
2.3 Grupos fitoplanctónicos.....	13
2.3. Antecedentes.....	16
2.4. Justificación.....	18
3. OBJETIVOS.....	19
4. ÁREA DE ESTUDIO.....	20
5. MATERIAL Y MÉTODOS.....	21
6. RESULTADOS.....	25
6.1 Temperatura y oxígeno disuelto.....	26
6.2 Nutrientes.....	30
6.3 Fitoplancton.....	33
7. DISCUSIÓN.....	42
8. CONCLUSIONES.....	50
9. LITERATURA CITADA.....	51
10. ANEXO1.....	57
11. LÁMINAS.....	63

1. RESUMEN

El embalse de Valle de Bravo se clasifica como un cuerpo de agua tropical atemperado por la altitud, que se comporta como un lago monomítico cálido con fluctuaciones de nivel de ± 5 m cada año debido a la manipulación humana; es de gran importancia por los usos a los que se ha destinado, como abastecimiento de agua potable, recreación, navegación, etc. A principios del mes de octubre de 2002, durante un muestreo de ca. 30 horas (con lapsos de ca. 1-3 hrs.) en una estación en la cabeza del embalse, la columna de agua seguía estratificada, con una diferencia máxima de temperatura entre la superficie y fondo de 2.9°C ; la máxima concentración de oxígeno disuelto se encontró en superficie (7.5 mg l^{-1}), con una rápida disminución en el metalimnion y anoxia en el hipolimnion. Los perfiles de temperatura y oxígeno mostraron un ascenso de agua durante el día y un descenso durante la noche, provocado por la acción y dirección del viento. Los nutrientes presentaron un comportamiento afectado por la estructura térmica, la disponibilidad de oxígeno, la producción primaria y la manipulación antropogénica. Las máximas concentraciones de Fósforo Reactivo Soluble (PRS) y Amonio (N-NH_4^+) se registraron en el hipolimnion, disminuyendo hacia la superficie; el Nitrógeno oxidado (N como nitratos y nitritos) presentó concentraciones bajas, con excepción de las 9:15 hrs. a.m., cuando se observó un aumento debido a una inyección de agua procedente de la presa de Colorines; esto parece haber aumentado también oxígeno disuelto y PRS, así como la relación NID/PRS, que por un lapso de ca. 8 hrs. muestra una relación más cercana a la de Redfield ($>16:1$). Esta relación N:P muy por debajo de la proporción de Redfield favoreció el desarrollo de cianofíceas capaces de fijar el nitrógeno atmosférico en la zona fótica, y los pulsos de nutrientes más cercanos a la proporción de Redfield permiten también el crecimiento de otros grupos algales como diatomeas y clorofitas. La especie más abundante durante este muestreo fue *Limnothrix redekei*, seguida de *Cylindrospermopsis raciborskii* y *Mougeotia/Debarya*, acompañadas por *Woronichinia naegeliana*, *Anabaena charrmichaelii*, *A. aff. spiroides*, *Pseudoanabaena* sp., *Microcystis aeruginosa*, *Lyngbya birgei*, *Snowella lacustris*, *Aphanizomenon flos-aquae*; *Cyclotella ocellata*, *Fragilaria crotonensis*, *Aulacoseira granulata*, *Synedra ulna*, *Urosolenia erinensis* y *Nitzschia* sp. La dominancia de cianobacterias y otras Clorofitas (como *Mougeotia/Debarya*, *Scenedesmus ecornis*, *Monoraphidium dybowskii*, entre otras) indican que el embalse presentó una condición eutrófica durante el muestreo de octubre; esta interpretación se refuerza con las densidades presentes en el embalse y superiores a $100,000 \text{ células ml}^{-1}$.

2. INTRODUCCIÓN

La existencia del agua es una de las características más notables en nuestro planeta (Turk, 1988). Se distribuye ampliamente sobre la corteza terrestre, ocupando las dos terceras partes (71%) de la superficie de la tierra y formando una envoltura llamada Hidrosfera. Aproximadamente el 97% en volumen de la hidrosfera se encuentra en los océanos y la mayor parte del agua dulce que pudiera ser utilizada directamente por el hombre (2.08%) se encuentra congelada en los polos y el restante (0.009%) en las aguas continentales (aguas subterráneas, ríos y lagos) (Andrade, 1995; Chávez, 1986; García y de la Lanza, 2002; Margalef, 1995; Wetzel, 1981; Wetzel, 1983).

El medio acuático continental está formado por agua contenida en diferentes depósitos, su relación con la corteza terrestre, el clima y los diferentes fenómenos meteorológicos (precipitación pluvial, dilución, evaporación, erosión y sedimentación), además de la influencia de los componentes biológicos; dichos factores confieren características limnológicas particulares a cada cuerpo de agua. (Ortega *et al.*, 1994; Odum, 1985; Wetzel, 1981).

En la división de los ambientes acuáticos continentales, Pearse (1939) distingue los cuerpos de agua estancada y de corriente como sigue: Lóticos, que corresponden a las aguas corrientes que se desplazan en una dirección definida; este flujo se realiza por un canal y todas las condiciones físicas, químicas y biológicas cambian desde su nacimiento hasta las desembocaduras en un gradiente bien definido, como ocurre en los ríos y arroyos. Lénticos son los cuerpos de agua estancada, en los que el agua no fluye ni corre, no hay gradientes horizontales de las condiciones fisicoquímicas y biológicas en una dirección definida y su evolución en el tiempo se realiza *in situ*, como ocurre en lagunas y lagos (Andrade, 1995; Armengol, 1982; García y de la Lanza, 2002; Ortega *et al.*, 1994).

Dentro de la clasificación de los lagos, encontramos aquellos formados por actividades etológicas, que incluyen los que son construidos por el hombre y se denominan embalses, presas, presas de almacenamiento o reservorios (Odum,

1972). Se les llama también lagos artificiales, ya que representan superficies de agua estancada, reciben afluentes y su caudal se destina a usos diversos (Hutchinson, 1975; Ortega *et al.*, 1994; Margalef, 1983). Dussart (1966, *in* Margalef, 1983) compara estos depósitos lénticos artificiales, por el conjunto de sus condiciones fisiográficas, con lagos o lagunas en la parte de la cortina y con ríos naturales en la región de la cola, por lo que manifiestan características mixtas de ambos sistemas cuando el caudal de los ríos es importante y el cuerpo de la presa se encuentra encajonado en un valle profundo. En estas condiciones, las colas del embalse (por donde entran los ríos) retienen muchas características de río: la menor profundidad, la extensión de la turbulencia y el predominio del transporte horizontal; sin embargo, la tasa de renovación del agua es más lenta que en un río y más rápida que en un lago; la cabeza o dique está dominada por los procesos verticales típicos de un lago. Odum (1972) señala que los embalses varían según la región y el carácter del desagüe; por lo regular, se caracterizan por presentar niveles fluctuantes de agua y una turbidez elevada. La producción del bentos es menor que la de los lagos naturales. Así, las características fisiográficas, físicas, químicas y biológicas pueden variar mucho, en comparación con las de un lago natural.

Los usos a los que se destinan los grandes reservorios o embalses son: abastecimiento de agua potable, control de avenidas, irrigación, recreación, navegación, tratamiento de aguas negras, obtención de energía eléctrica (hidroeléctrica), piscicultura y abrevaderos, entre mucho más (Aguilar, 2003; Chávez, 1986; García y de la Lanza, 2002; Olvera, 1990; Ortega *et al.*, 1994; Margalef, 1983; Wetzel, 1981).

2.1 El recurso acuático en México

En relación con los diversos cuerpos de agua continentales, la gran diversidad fisiográfica y climática de México determina una distribución heterogénea de los recursos acuáticos (Alcocer *et al.*, 1993; INEGI, 1995), donde el mayor volumen de los recursos hídricos se encuentra en los ríos (68 %), seguido de las presas o lagos artificiales (18 %), los acuíferos (12 %) y los lagos y lagunas (2 %) (Aguilar, 2003). Una herramienta importante de la que se ha hecho uso para clasificar los recursos

hidrológicos con que cuenta nuestro país -con fines de planeación, manejo y conservación de los ecosistemas y sus recursos- es la regionalización (Aguilar, 2003). Las regionalizaciones se basan en diferentes características como usos, topografía, flujo de drenajes, etc. Ferrusquía-Villafranca (1993) menciona que las regionalizaciones de carácter fisiográfico reflejan datos que representan la geología y la estructura e historia de una región, de tal manera que –con base en estos criterios fisiográficos- la SRH (Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1976, *in* Alcocer *et al.*, 2000) menciona 6 grandes regiones: Cuenca Aluvial Costera del Noroeste del país, el Altiplano Mexicano, la cuenca del Río Balsas, el Sureste del País, la península de Yucatán y las Planicies Costeras del Sur del Golfo de México. Bassols-Batalla (1977) -basado en características topográficas (como el tipo de flujo, léntico y lótico, las zonas de drenaje, tierras montañosas del sur con abundantes ríos, etc.)- también describe 5 regiones.

Asimismo, a partir de regionalizaciones basadas en la orografía y fisiografía, se han realizado otras de tipo limnológico, como las de Chávez y Vilaclara (1992), Velásquez-Ordaz (1992) y Arredondo-Aguilar (1987). Otros autores consideran un número mayor de regiones hidrológicas, tomando en cuenta criterios que han prevalecido en la ordenación administrativa de los recursos; el primero en proponer un número elevado fue Benassini (1974), dividiendo el país en 14 regiones determinadas por flujos de agua y topografía; esta propuesta es similar a la de la SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1981) propuesta para el Plan Nacional Hidráulico, y la ha adoptado la CNA (Comisión Nacional del Agua) para establecer las 13 Regiones Hidrológicas administrativas (SEMARNAP, 1996). Aguilar (2003) identifica 110 regiones hidrológicas prioritarias. Probablemente, tales discrepancias en número pueden atribuirse a los diferentes conceptos de región hidrológica aplicados.

En relación con las cuencas de México, tampoco los diversos autores presentan datos concordantes, en parte por las diferencias temporales en la presentación de los datos. Tamayo (1974) destacó que la suma total de las cuencas en México, sin tomar en cuenta las cuencas interiores y endorreicas, sumaban 146. Ortega *et al.* (1994) mencionan que para 1976 se habían construido 382 grandes presas. Tinoco y Atanacio (1988) señalan la existencia de 320

cuencas hidrológicas, en las cuales se destacan 70 lagos y 14000 reservorios (embalses). La CNA, en su programa Hidráulico 1995-2000, maneja una regionalización que agrupa 314 cuencas (SEMARNAP, 1996). En 1998, la CNA menciona que ahora existen 320 cuencas hidrográficas, 69 lagos mayores y más de 12000 embalses. Alcocer *et al.* (2000), basados en otros autores, refieren 320 cuencas de drenaje, 92 lagos y 611 embalses, con un volumen igual o mayor a 0.5 millones de m³. García y de la Lanza (2002) mencionan 70 lagos y 14000 embalses. Como en el caso de las regiones hidrológicas, estas grandes diferencias se deben principalmente a los distintos criterios para definir las cuencas y dificulta apearse a alguno de ellos. Por ello y tras analizar esta información, se optó por seguir a García y de la Lanza (2002) y Alcocer-Escobar (1996), que consideran la existencia de 12000-14000 cuerpos de agua lénticos, lagos y embalses, siendo el de Valle de Bravo, en el Estado de México, uno de los más importantes en cuanto a su uso local y como integrante del sistema Cutzamala, que abastece de agua a la Ciudad de México. El análisis puntual (durante un ciclo de 28 horas, con lapsos de muestreo de ca. 1 a 3 hrs., en octubre de 2002) del fitoplancton de dicho embalse es precisamente el objeto del presente estudio.

2.2 Comunidades acuáticas y fitoplancton.

Una parte importante de la tipificación de los sistemas acuáticos es la determinación de los organismos que en él habitan; se considera que los cuerpos de agua de tipo léntico poseen cinco comunidades: perifiton, neuston, bentos, necton y plancton (Margalef, 1995; Odum, 1972). El perifiton está constituido por macrófitas y algas microscópicas en las orillas; el neuston está formado por organismos microscópicos adheridos a la interfase aire-agua por secreciones hidrófugas o simplemente extendiendo una parte semisólida, de baja tensión superficial, junto a la superficie (que posee una alta tensión superficial por el efecto de frontera, cuando no hay sustancias surfactantes disueltas); el necton comprende esencialmente los peces; el bentos está formado por organismos que viven y se desarrollan en los fondos, y el plancton está constituido por organismos generalmente microscópicos que flotan libremente en el agua, y que se divide en dos categorías, zooplancton y fitoplancton (Margalef, 1983).

En estas comunidades, las algas son organismos que poseen una estructura y organización relativamente sencillas, ya que están formadas por una sola célula en las más simples de ellas, o grupos de éstas en colonias, filamentos, etc., llegando a formar estructuras multicelulares como las de *Hydrodictyon*, visibles a simple vista.

En general, las algas se desarrollan en hábitats donde la luz puede ser aprovechada por medio de la fotosíntesis en producción neta (productividad primaria), lo cual puede expresarse a través de diferentes tipos de asociación de comunidades (Margalef, 1995). Además, las algas tienen diversas necesidades de nutrimentos y diferentes límites de tolerancia a determinados parámetros fisicoquímicos (Wetzel, 2001) que interactúan para regular el crecimiento temporal y espacial de éstas.

El conjunto del fitoplancton está formado por organismos flotantes que tienen un poder de locomoción limitado o nulo, aunque algunas algas poseen la capacidad de movimiento mediante flagelos¹. Han desarrollado estrategias de adaptación a la vida planctónica² y otros mecanismos que influyen en su posición gracias a los cambios de flotabilidad³. A pesar de ello, por su pequeño tamaño, su desplazamiento depende en gran medida de las corrientes producidas en el cuerpo de agua (Margalef, 1983; Wetzel, 2001).

¹ Flagelos o undulipodios, en cuyo eje se reconocen 2+9 estructuras tubulares con el empleo de microscopía electrónica de transmisión en cortes transversales de los mismos.

² Como células alargadas, en cadena o a manera de estrella, como sucede en algunas diatomeas; o bien la presencia de prolongaciones o agujas que se interpretan como determinantes de una mayor superficie relativa y como defensa a depredadores, o apéndices sin cavidad interna, o cuyo interior no está en continuidad con la célula, como son las sedas de *Golenkinia*, *Chodatella* y *Scenedesmus*.

³ Una de las características de las algas con capacidad de locomoción es que no sólo les permite mantener cierto nivel en la columna de agua, sino que también les permite migrar activamente por alimento o por respuesta a la intensidad lumínica; se han descrito migraciones para el caso de algas, como: *Mallomonas*, *Ochromonas*, *Chroomonas*, *Peridinium*, *Ceratium*, *Gymnodinium*, *Pandorina*, *Eudorina*, *Volvox*, etc. Un ejemplo claro en la migración vertical son los dinoflagelados, los cuales ascienden por las mañanas y, por las tardes o noches, descienden o se dispersan; no obstante, cuando la intensidad de luz es muy alta, se genera un efecto inhibitor en la zona superior de la columna de agua, a la cual se atribuye la destrucción de clorofila por foto-oxidación, indistintamente en los dos fotosistemas, con la posibilidad de que los carotenoides tengan cierto papel protector; este efecto depende de la adaptación de los organismos a la intensidad lumínica (Margalef, 1983).

En el fitoplancton se observan diferentes poblaciones microscópicas de algas que comparten funciones en la zona fótica: mediante la fotosíntesis, generan oxígeno y materia orgánica a partir de carbono inorgánico y nutrientes (Margalef, 1983). Uno de los parámetros en los que se basa la clasificación del plancton para su estudio, incluido el fitoplancton, es el tamaño celular, el cual -según los autores comúnmente citados- es:

	Sieburth et al., 1978	Fieldman, 1978
microplancton	200 - 20 μm	500 – 50 μm
nanoplancton	20 - 2 μm	50 – 10 μm
picoplancton	2 - 0.2 μm	-
ultraplancton	-	10 - 0.5 μm

También puede ser dividido en: euplancton, que corresponde a la comunidad permanente de aguas abiertas, y pseudoplancton (ticoplancton), formado por organismos incorporados azarosamente a la columna de agua (Lampert y Sommer, 1997; Margalef, 1983; Ortega *et al.*, 1994; Sieburth *et al.*, 1978), o bien meroplancton, organismos con parte del ciclo de vida asociado con el sedimento y, en época de mezcla, en activa división vegetativa en la columna (Lund, 1954, *in* Margalef, 1983).

En lagos templados y tropicales, la disponibilidad de nutrientes -en relación con el régimen de estratificación/mezcla y con descriptores morfométricos como la profundidad- es de gran importancia en la composición del fitoplancton (Reynolds, 1980, *in* Larelle y Duivenvoorden, 2000). Por ejemplo, la composición específica del fitoplancton está determinada por el estado trófico y por varias propiedades del lago (morfología, hidrología y localización climática) que pueden favorecer distintas estrategias de vida y composición (Salmaso, 2000). Las variaciones estacionales y fluctuaciones en la temperatura en el agua, las distribuciones de calor y frío y la extensión de la mezcla por el viento; son elementos que, en conjunto, tienen gran impacto en la capacidad de las algas pláncicas para aumentar su biomasa (Reynolds, 1989). En lagos tropicales, estas fluctuaciones están determinadas por las temporadas de vientos, lluvias y sequías, establecidas a su vez por las estaciones anuales, que no son estrictamente asimilables a la sucesión primavera-invierno; esto, junto con una menor diferencia térmica anual, explica parcialmente

que las variaciones de biomasa fitopláctica a lo largo del año sean menos drásticas en este tipo de lagos que en los de regiones templadas (Lewis, 1996) y que la productividad primaria sea mayor en lagos tropicales que en lagos templados.

En particular, la tendencia de la biomasa y la composición del fitoplancton dependen principalmente de la concentración de nutrientes, la mezcla turbulenta y los efectos de la red trófica (Rhew *et al.*, 1999, *in* Naselli y Barone, 2000). Sin embargo, no sólo la cantidad sino también la calidad de los nutrientes pueden influir en la composición del fitoplancton. Diferentes especies algales pueden explotar fuentes de nutrientes orgánicos e inorgánicos con desigual capacidad y diversas fuentes de nitrógeno pueden estimular selectivamente el desarrollo de las especies algales dominantes (Berman y Chava, 1999, *in* Naselli y Barone, 2000).

De esta manera, el fitoplancton también es útil como indicador de uno de los problemas que presentan actualmente los cuerpos de agua epicontinentales, esencialmente los embalses: el de la eutroficación. Dicha problemática es de orden mundial, ya que las actividades humanas han repercutido, generalmente en forma negativa, aportando nutrientes a la superficie del cuerpo de agua que -a su vez- inducen cambios en las comunidades; dichos cambios afectan la salud ecosistémica de los cuerpos de agua continentales, lo que amenaza asimismo el equilibrio ecológico global y, con él, la disponibilidad de recursos para las comunidades humanas (Xu *et al.*, 2001; Vallentyne, 1979).

Todo cambio en la relación entre el nitrógeno y el fósforo acaba manifestándose en un avance o retroceso en el desarrollo de las cianofíceas. La capacidad de algunas cianofíceas de fijar el nitrógeno molecular es muy importante, ya que pueden regular la relación entre el nitrógeno y el fósforo combinado en las aguas. Cuando la relación N:P se desvía del equilibrio (relación de Redfield, N:P=16:1) a favor del fosfato (relación N:P < 16:1), se facilita el desarrollo de cianofíceas que fijan nitrógeno atmosférico a través de los heterocitos, y cuando la relación N:P \geq 16:1, tienden a dominar otras especies, fundamentalmente clorofíceas (Casterlin *et al.*, 1984; Margalef, 1983; Reynolds, 1999; Smith y Bennett, 1999).

2.3 Grupos fitoplanctónicos

El grupo de las microalgas está compuesto por 8 divisiones (Hill, 1967; Moreno *et al.*, 1996):

1.- Cyanophyta (algas verde-azules, cianofíceas, cianobacterias o cianoprocariotas) son organismos procariotas, autótrofos, aislados o en cenobios filamentosos, planos o globulares; algunas tienen la capacidad de formar acinetos - como estructuras de resistencia a ambientes adversos- y heterocitos -con condiciones internas anóxicas y paredes gruesas- para fijar el nitrógeno atmosférico (Scagel, 1987). Presentan una membrana de mucopéptidos en su pared celular, y la reproducción es normalmente por partición binaria. Las células contienen clorofila a y ficobilinas como pigmentos accesorios (Wetzel, 1981), además de betacaroteno, mixoxantofila, oscilaxantina, afanizoxantina y equinenona. El sistema fotosintetizador sólo difiere de las algas eucariotas por la presencia de ficobilinas o ficocianinas que se pueden presentar bajo formas de color diferente como el rojo (ficoeritrina) y el azul (ficocianina), lo que les facilita el aprovechamiento de luz de diversas longitudes de onda⁴ (Margalef, 1983). Están ampliamente distribuidas en aguas continentales; especialmente en embalses se encuentran *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena* spp, *Merismopedia* spp. y varias filamentosas.

2.- Chlorophyta o algas verdes son principalmente formas de agua dulce. Muy abundantes y cosmopolitas, pueden crecer muy bien en la mayoría de las fuentes semipermanentes, en agua corriente de poca profundidad o en suelo sombreado y húmedo. Son eucariontes y de coloración verde pasto; los pigmentos que presentan en sus cloroplastos son clorofila a y b y distintos carotenoides que se encuentran también en las plantas superiores y aproximadamente en la misma proporción. Los cloroplastos pueden tener diferentes formas: reticulados, elipsoidales, en formas de placa, lobuladas, en copa, estrelladas, en espiral, etc. Su material de reserva es el almidón y está asociado con los pirenoides, aunque algunas pueden almacenar grasa; la pared celular está compuesta de celulosa. Algunos estudios indican que probablemente las carofíceas y otras clorofíceas

⁴ Lo cual resulta fundamental para entender la capacidad de crecimiento, tanto en superficie como en la región cercana a la profundidad de compensación, usualmente cerca o en la termoclina, con una cantidad elevada de nutrientes.

evolucionaron hacia los briofitos y plantas superiores (Robbins, 1966; Scagel, 1991). Ejemplos de esta división son: *Tetraedron minimum*, *Schroederia setigera*, *Monoraphidium dybowskii*, *Nephrocytium agardhianum*, *Oocystis marssonii*, *Coelastrum reticulatum* y *Scenedesmus ecornis*.

3.- Euglenophyta son organismos flagelados y pueden presentar una lóriga; las células están rodeadas por una película compuesta por bandas espiraladas de naturaleza proteica. Los flagelos salen a la superficie en la parte anterior, poseen una citofaringe, generalmente un flagelo, los cloroplastos son de color verde con una envoltura triple, los tilacoides están agrupados en tres formando bandas o lamelas. Poseen pirenoides y un estigma. Los pigmentos accesorios de mayor importancia son el beta-caroteno y la diadinoxantina, además de presentar clorofila a y b. El producto de reserva es el paramylon. Parte de las Euglenofitas son autótrofos verdaderos; sin embargo, muchas de las especies pigmentadas pueden funcionar como heterótrofos facultativos (auxotróficas). Las no pigmentadas son heterótrofas obligadas y pueden llegar a ser fagotróficas. Su reproducción es asexual (Parra *et. al.*, 1982; Wehr y Sheath, 2003). (Ejemplos de éstos son los géneros: *Euglena*, *Trachelomonas*, *Phacus*, *Strombomonas*).

4.- El mayor número de especies de Dinophyta es de aguas marinas, aunque diversas especies son comunes en aguas dulces y salobres; se las conoce como pirrofitas (“pyrrh-“=rojo) o dinoflagelados (“dino-“=girar); son de forma variada y de tamaños desde muy pequeños hasta muy grandes (pocas μm a 2mm), solitarias o coloniales, de vida libre, parásitas o comensales, de células uninucleares, cocoides, palmeloides o filamentosas y biflageladas. Su cuerpo puede estar desnudo, atecado (protegido sólo por una simple membrana), o cubierto de celulosa, es decir, tecado; la cubierta puede estar constituida por una pieza y ser lisa o compuesta por dos valvas o numerosas placas. Tanto atecados como tecados dividen su cuerpo en dos regiones, la superior (epicono o epiteca) y la inferior (hipocono o hipoteca), ambos con surcos longitudinales y transversales (sulco y cíngulo) que alojan cada uno a un flagelo (Martínez, 1985) (Ejemplo: *Ceratium*, *Peridinium*, *Gimnodinium*, *Glenodinium*).

5.- Chrysophyta son organismos autótrofos de amplia distribución en ambientes marinos y dulceacuícolas. La célula uninucleada típica contiene uno o dos cloroplastos de márgenes lisos y de color dorado a pardo amarillento por la presencia de la fucoxantina; además de presentar clorofila a y c; los cloroplastos están constituidos por tres tilacoides. En algunas formas móviles se encuentra una mancha ocular cerca de la parte anterior del cloroplasto. En su mayoría son organismos flagelados unicelulares o coloniales que carecen de una pared celular definida, pueden poseer escamas o lóriga, la cual está formada por microfibrillas o escamas y pueden contener celulosa o minerales de hierro, magnesio y carbonato. Las células inmóviles poseen una pared de celulosa con sustancias pécticas (Scagel, 1987). El carbohidrato de reserva (que se acumula extraplastidialmente) es la crisolaminarina. En el estado biflagelado, el flagelo más largo es barbulado y el otro es de tipo látigo (Scagel, 1987; Wehr y Sheath, 2003). (Ejemplos: *Dinobryon*, *Chromulina*, *Ochromonas*).

6.- Bacillariophyta o diatomeas son algas pardo-doradas con un exoesqueleto silíceo o frústula compuesta de dos valvas que se ensamblan a modo de cajita. Pueden ser unicelulares, asociadas en cadenas o embebidas en masas mucilaginosas. Poseen la capacidad de habitar cualquier ambiente acuático o semiacuático que esté expuesto a la luz. Su talla varía entre 2 y 2000 μm . Los cloroplastos presentan lamelas con tres tilacoides, tienen clorofila a, c_1 y c_2 , así como el carotenoide pardo-dorado fucoxantina. Almacenan crisolaminarina y aceite. Únicamente los gametos masculinos presentan un undulipodio de tipo particular (9+0) (Moreno *et al.*, 1996).

Las diatomeas se reproducen asexualmente por fisión binaria, en la que -al concluir la mitosis y división celular- cada valva se separa y forma una nueva hipoteca, lo cual involucra una disminución sucesiva de tamaño en una de las dos líneas durante cada división. La restitución de su tamaño se puede obtener a través de la reproducción sexual, la cual es oógama en las diatomeas céntricas e isógama en las pennadas. El producto de la fusión sexual es la autospora. (Moreno *et al.*, 1996). (Ejemplos: *Nitzchia sp*, *Fragilaria crotonensis*, *Aulacoceira granulata*, *Synedra ulna*, *Cyclotella ocellata*). Sin embargo, en muchas especies nunca se ha observado la reproducción sexual, por lo que las líneas de mayor disminución de

tamaño terminan por ser inviables, lo cual permite mantener los tamaños celulares en un intervalo característico de cada especie.

7.- Cryptophyta son flageladas unicelulares, cuyas células presentan una característica asimetría dorso-ventral, con el lado dorsal redondeado y el ventral plano; en este último desemboca una citofaringe, cuya pared presenta tricocitos. Las células poseen dos flagelos, uno largo que lleva dos hileras de mastigonemas y uno corto que lleva sólo una hilera. La célula se encuentra rodeada por un periplasto proteico conformado por placas rectangulares o poligonales. El cloroplasto se encuentra envuelto por un pliegue del retículo endoplásmico, contiene dos tilacoides lamelados y el pirenoide. Existe una mancha ocular. Presentan clorofila a y c, nunca b; el color es consecuencia de los pigmentos accesorios que son: ficocianina, ficoeritrina, alfa-caroteno y xantofilas (como aloxantina, crocoxantina, diatoxantina, monedoxantina) (Parra *et. al.*, 1982). Este grupo ha sufrido una revolución taxonómica con la introducción –obligatoria actualmente, si se quiere llegar a género y especie- de técnicas de punto crítico y microscopía electrónica de barrido (Ejemplos: *Cryptomonas curvata*, *Cryptomonas marssonii*, *Chroomonas acuta*, *Komma sp.*, *Plagioselmis sp.*, Krugens y Clay, 2003). Sin embargo, dado lo novedoso de la propuesta y de lo escasísimo que resultó este grupo en Valle de Bravo durante el muestreo, en el presente trabajo nos referiremos a la taxonomía tradicional del grupo (Ortega, 1984).

8.- Xanthophyta o algas amarillas son unicelulares, filamentosas o coloniales, que se caracterizan por tener mayor cantidad de carotenoides que de clorofila. Casi todas las células móviles poseen dos flagelos, uno de los cuales es más largo que el otro. Su pared celular, contiene gran cantidad de pectinas y, en muchas especies, se encuentra silificada (Wetzel, 2001). (Ejemplo: *Tribonema*, *Tetraedriella*, *Ducellieria*)

2.4 Antecedentes

Aunque hay relativamente pocos trabajos realizados sobre el fitoplancton en México, cada vez son más los enfocados a las relaciones ecológicas, sin olvidar que sigue siendo del quehacer ficológico la taxonomía, la morfología y los estudios

ficoflorísticos, incluyendo catálogos y la ecología (Ortega y Godínez, 1994). La ecología se refiere al estudio de los organismos y el ambiente que determina su distribución; en este rubro podemos citar a Mendoza (1985), que realizó un estudio ficológico estacional de la laguna de Victoria; en el mismo año y con la colaboración de Huerta y Flores, estudian el fitoplancton del lago de Zirahuén en Michoacán, México; García y Tavera (1998) estudiaron el fitoplancton del lago de Zempoala, del cual realizan la caracterización taxonómica, ecológica y distribución geográfica de las especies presentes en el lago; López y Serna (1999) analizan la variación estacional del zooplancton y su relación con el fitoplancton en el embalse Ignacio Allende en Guanajuato; Oliva y colaboradores (2001) estudian la dinámica del fitoplancton en el lago tropical hiposalino Alchichica; Pérez (2003) realiza un análisis de las clorofitas epicontinentales de la Faja Volcánica Transmexicana. Además de los trabajos ya mencionados, en el estado de México encontramos también los de Andrade (1995), que estudia el fitoplancton de la zona litoral de la laguna Verde Bonsencheve; Arcos *et al.* (2002) analizan el comportamiento espacial de los parámetros físicos y químicos en los canales chinamperos de Xochimilco en el periodo 2001–2002; Cuna y colaboradores (2002) estudian las diatomeas de sedimentos superficiales de los lagos del Nevado de Toluca, México; en el mismo año, Sánchez y colaboradores, realizan la caracterización del lago del Parque Tezozomoc, Magaña y colaboradores (2002) realizan una propuesta de evaluación del estado trófico de los lagos y embalses por medio de la comunidad fitoplantónica.

También el embalse Valle de Bravo, dado el interés que presenta el uso de sus aguas, ha sido objeto de diversos estudios. Por ejemplo, trabajos tempranos que aproximan la limnología del embalse a finales de la década de los 70 son los de Franco (1981) y Chávez (1986) y, más tarde, Olvera *et al.*, (1998). Con el apoyo de la CNA y del CONACYT se han realizado estudios dirigidos a evaluar la calidad del agua de Valle de Bravo (IMTA 1994, 1997, 1998; Olvera *et al.*, 1993; IDECA, 1999), y a estudiar aspectos biológicos del sistema (Ramírez P. *et al.*, 2002; Gaytán *et al.*, 2002; Valeriano *et al.*, 2003), a evaluar el aspecto químico del embalse (Ramírez J. *et al.*, 2002 y 2004; Monroy *et al.* 2002), o bien a estudios toxicológicos del agua (Martínez, 1998). En busca de la predicción de los florecimientos, a menudo se ha correlacionado (Smith y Bennett, 1999; Reynolds, 1999; Sommer, 1999) la presencia y abundancia de las microalgas con los

parámetros medidos en dichos estudios. Sin embargo, en Valle de Bravo no se ha logrado dilucidar hasta la fecha cómo interaccionan estos mecanismos causales con los florecimientos de cianoprocaritas que empeoran considerablemente la calidad del agua. A este respecto, se están desarrollando diversos proyectos de investigación⁵ como colaboración entre el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología y la FES Iztacala con el objetivo de entender multidisciplinariamente los mecanismos causales de la eutroficación a que se ve sometido este embalse. Un estudio iniciado en 2001 (Monroy *et al.*, 2002; Monroy, 2004) mostró el interés de realizar muestreos de 36 horas en épocas claves en el embalse, llevándose a cabo el primero en octubre del 2002; es precisamente en el mes de octubre donde se observa generalmente una transición entre la estratificación iniciada en marzo y la mezcla, plenamente establecida en noviembre. En estas circunstancias se observa un enriquecimiento local de diversas especies fitoplanctónicas adaptadas a condiciones variables, las cuales -a su vez- cambian su posición a lo largo del día, dado el régimen de vientos característico de Valle de Bravo, que con un fetch máximo de 7 km, potencia su efecto: a partir de las 11-12 horas del día, los vientos soplan en dirección NO a SE (cabeza-cola) con intensidades que alcanzan los 14 nudos o más, mientras que en las noches, el viento revierte 180° su dirección, con intensidades mucho menores; esta situación afecta el funcionamiento de la capa de mezcla (epilimnion) y la flotabilidad -por variaciones de la turbulencia- del fitoplancton, sobre todo de aquellas algas con mecanismos de flotación como aerotopos (algunas cianofitas).

2.5 Justificación

Dada la importancia de conocer la composición y abundancia de los integrantes de la comunidad fitoplanctónica, emerge como prioridad fundamental abordar estudios que aporten información acerca de cómo se distribuyen las diversas especies en la columna de agua a lo largo de un ciclo más prolongado que un simple muestreo en la hora, relativamente aleatoria, en la que se llega a la estación seleccionada en un

⁵ “Procesos físicos y biogeoquímicos en un embalse tropical en proceso de eutroficación y su relación con florecimientos algales nocivos” y “Estudio integral del embalse de Valle de Bravo para su manejo sustentable: Un marco científico aplicable a los cuerpos de agua epicontinentales eutroficionados del país” apoyados por DGAPA y CONACYT (2002), respectivamente.

cuerpo de agua. Dado también lo laborioso del estudio del fitoplancton y los límites que impone una investigación como la presente, se escogió una época de transición entre las condiciones de estratificación y las de mezcla (octubre) para comprender más a fondo la dinámica de poblaciones con diferentes adaptaciones al régimen térmico, las cuales se asocian con diferentes condiciones tróficas (eutrofia durante la estratificación, mesotrofia durante la mezcla, Monroy *et al.*, 2002; Monroy, 2004) en la presa Valle de Bravo.

3. OBJETIVOS

Objetivo General:

™ Determinar la variación en la distribución de los grupos fitoplanctónicos y de algunos descriptores físico-químicos en una estación ubicada en la cabeza del embalse de Valle de Bravo, a tres profundidades diferentes (dos del epilimnion - 1 y 4 m-, y una del hipolimnion -20 m-) durante un muestreo de ca. 30 horas, en octubre de 2002.

Objetivos Particulares:

- ™ Reportar la variación de algunos descriptores físico-químicos (temperatura, oxígeno disuelto, velocidad del viento, nutrientes) durante el lapso de muestreo.
- ™ Identificar los integrantes de la comunidad fitoplanctónica hasta el más fino nivel taxonómico posible (género, especie y/o variedad).
- ™ Cuantificar la variación de los taxa del fitoplancton mediante el método de Utermhöl.
- ™ Interpretar, desde el punto de vista limnológico, la variación del fitoplancton y de los descriptores abióticos en el embalse durante el muestreo intensivo.

cuerpo de agua. Dado también lo laborioso del estudio del fitoplancton y los límites que impone una investigación como la presente, se escogió una época de transición entre las condiciones de estratificación y las de mezcla (octubre) para comprender más a fondo la dinámica de poblaciones con diferentes adaptaciones al régimen térmico, las cuales se asocian con diferentes condiciones tróficas (eutrofia durante la estratificación, mesotrofia durante la mezcla, Monroy *et al.*, 2002; Monroy, 2004) en la presa Valle de Bravo.

3. OBJETIVOS

Objetivo General:

™ Determinar la variación en la distribución de los grupos fitoplanctónicos y de algunos descriptores físico-químicos en una estación ubicada en la cabeza del embalse de Valle de Bravo, a tres profundidades diferentes (dos del epilimnion - 1 y 4 m-, y una del hipolimnion -20 m-) durante un muestreo de ca. 30 horas, en octubre de 2002.

Objetivos Particulares:

- ™ Reportar la variación de algunos descriptores físico-químicos (temperatura, oxígeno disuelto, velocidad del viento, nutrientes) durante el lapso de muestreo.
- ™ Identificar los integrantes de la comunidad fitoplanctónica hasta el más fino nivel taxonómico posible (género, especie y/o variedad).
- ™ Cuantificar la variación de los taxa del fitoplancton mediante el método de Utermhöl.
- ™ Interpretar, desde el punto de vista limnológico, la variación del fitoplancton y de los descriptores abióticos en el embalse durante el muestreo intensivo.

4. ÁREA DE ESTUDIO

La presa Miguel Alemán o Valle de Bravo se localiza en el municipio del mismo nombre en el Estado de México, al oeste de la ciudad de Toluca, en los 19°21'30" de latitud norte y 100°11'00" de longitud oeste, a 1800 m s.n.m.

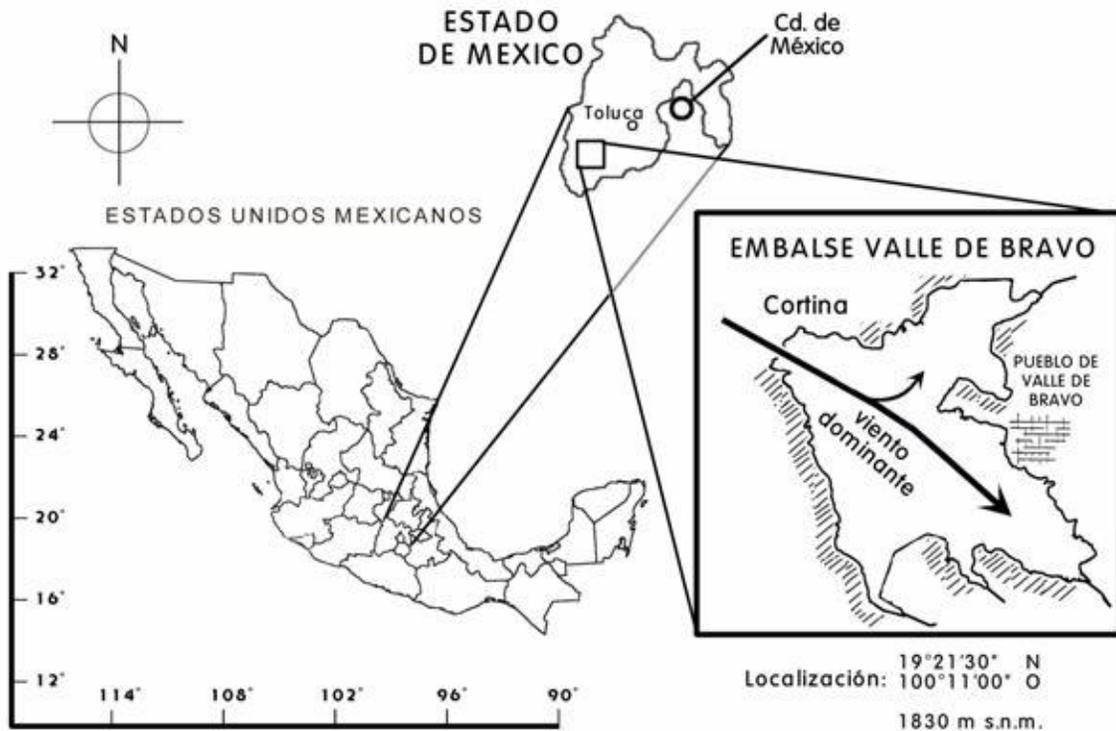
La presa fue construida en 1949 por la Comisión Federal de Electricidad y forma parte del Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán, conformado también por las presas Villa Victoria, Chilesdo, Ignacio Ramírez y Antonio Alzate. Este sistema constituye una de las áreas hidroeléctricas de la cuenca del Río Balsas y del sistema Cutzamala, que abastece de agua potable a la Ciudad de México (CNA, 1998), el cual está constituido por las presas Chilesdo, Villa Victoria, Valle de Bravo, Colorines y del Bosque (ésta última en el Estado de Michoacán).

La superficie del embalse es de 1,730 ha, con una longitud máxima de 7.3 km y 6.3 km de anchura máxima; presenta una profundidad máxima de 35m y una capacidad de $335 \times 10^6 \text{ m}^3$, lo que la ubica como la presa más importante del Estado de México (Monroy, 2004). El embalse recibe 5 tributarios: Amanalco y Molino, los arroyos Santa Mónica, González y el Carrizal, abarcando una cuenca de captación de 546.9 km^2 (Olvera, 1990; Olvera *et al.*, 1998) (Mapa 1) y, ocasionalmente, también recibe agua por bombeo de la presa Colorines.

El clima de la región donde se localiza el embalse es (A) C W₂ (w)(i)g, es decir, semicálido subhúmedo, con verano fresco y largo, precipitación media anual de 1311 mm y temperatura media anual entre los 12-18°C (CNA, 1998). Los perfiles de oxígeno y temperatura permiten clasificar el embalse como un lago cálido monomítico, estratificado la mayor parte del año (periodo marzo-octubre), cuyo hipolimnion se torna anóxico rápidamente al comenzar la estratificación. La mezcla vertical se presenta durante la temporada invernal (IDECA, 1999; Monroy *et al.*, 2002).

Valle de Bravo es un embalse artificial ubicado en la provincia litológica de la Faja Volcánica Mexicana, con un relieve circundante montañoso y en un

basamento estructural calcáreo; no así en la superficie, pues la depresión donde se ubica la presa corresponde a un polje, que sufrió una interrupción de su proceso cárstico debido a la actividad volcánica, por lo que se observa actualmente una predominancia de materiales volcánicos.



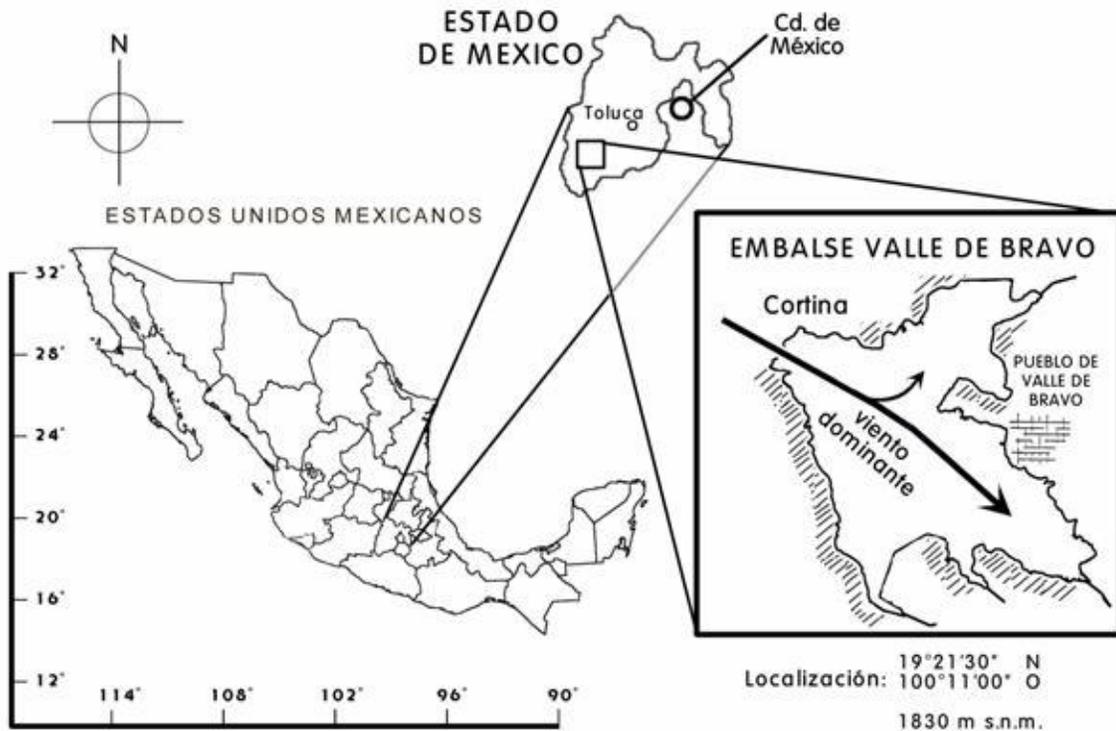
Mapa 1. Ubicación del embalse de Valle de Bravo y la dirección del flujo de viento dominante. En este esquema, la escala es arbitraria (tomado de Monroy, 2004).

El suelo dominante en la zona es acrisol órtico y andosol húmico de textura media, con lecho rocoso entre los 10 y 50 cm (López, 1973). La vegetación de la zona está compuesta por bosques de pino, oyamel y encino, así como por selva baja caducifolia con matorrales subespinosos y chaparrales. En los alrededores se desarrollan cultivos de temporal (CNA, 1998).

5. MATERIAL Y MÉTODOS.

Se realizó un muestreo en el transcurso de ca. 30 horas (28 horas para el fitoplancton y 31 para temperatura, oxígeno disuelto y nutrientes) en una estación

basamento estructural calcáreo; no así en la superficie, pues la depresión donde se ubica la presa corresponde a un polje, que sufrió una interrupción de su proceso cárstico debido a la actividad volcánica, por lo que se observa actualmente una predominancia de materiales volcánicos.



Mapa 1. Ubicación del embalse de Valle de Bravo y la dirección del flujo de viento dominante. En este esquema, la escala es arbitraria (tomado de Monroy, 2004).

El suelo dominante en la zona es acrisol órtico y andosol húmico de textura media, con lecho rocoso entre los 10 y 50 cm (López, 1973). La vegetación de la zona está compuesta por bosques de pino, oyamel y encino, así como por selva baja caducifolia con matorrales subespinosos y chaparrales. En los alrededores se desarrollan cultivos de temporal (CNA, 1998).

5. MATERIAL Y MÉTODOS.

Se realizó un muestreo en el transcurso de ca. 30 horas (28 horas para el fitoplancton y 31 para temperatura, oxígeno disuelto y nutrientes) en una estación

ubicada en la cabeza del embalse (zona más profunda, Mapa 2), entre el 3 y 4 de octubre de 2002, lapso correspondiente al final de la estratificación en el embalse. Se tomaron muestras directas de fitoplancton a 1, 4 y 20 m de profundidad mediante una botella muestreadora tipo Niskin (de resorte, con capacidad de 2 l, fabricación artesanal en la República checa). La toma de las muestras se llevó a cabo cada 2 ó 3 horas; se tomaron 500 ml de muestra, agregándole como fijador acetato de lugol.

Los parámetros físico-químicos (temperatura y oxígeno disuelto) se midieron *in situ* a cada m de profundidad entre superficie y fondo de la columna, por medio de una sonda multisensor marca Hydrolab, modelo Datasonde 3 conectada a un almacenador electrónico de datos Surveyor 3.

Adicionalmente, para la medición de los nutrientes disueltos (PRS, N-NO_3^- , N-NO_2^- y N-NH_4^+), se filtraron muestras de agua *in situ* con un filtro Millipore de 0.22 μm de diámetro de poro (previamente filtrado por otro de 0.45 μm , para evitar el taponamiento del de menor tamaño de poro), se almacenaron en frascos de 30 ml a los que se adicionaron dos gotas de cloroformo para detener la actividad metabólica de los organismos que hayan quedado en la muestra y se congelaron hasta su análisis en el laboratorio.

En el laboratorio del Proyecto de Limnología Tropical, FES-Iztacala, se realizó la identificación de los taxa con la utilización de las claves correspondientes (como las de Komárek y Anagnostidis, 1999; Comas, 1996; Krammer y Lange-Bertalot 1986, 1988, 1991; Round *et al.*, 1990; Wehr y Sheath, 2003). Para ello, se observaron muestras *in vivo* del filtrado (que posteriormente se fijaron con formol al 2%, Mc Nabb, 1960), así como muestras fijadas con lugol mediante el invertoscopio Zeiss D (que se usó para la cuantificación); para facilitar su determinación se tomaron fotografías digitales con dos microscopios Olympus, uno de transmisión de luz modelo BX50 y otro invertido, modelo IX-70, ambos con óptica Nomarsky y cámara integrada, ubicados en el Laboratorio de Microscopios, en el edificio anexo del Instituto de Geofísica, UNAM. Adicionalmente, se realizó la limpieza de frústulas de diatomeas con la técnica de oxidación ácida (Rushforth *et al.*, 1984, modificada por Stoermer *et al.*, 1995), las cuales se montaron con Naphrax para su observación con el microscopio óptico con Nomarsky BX-50,

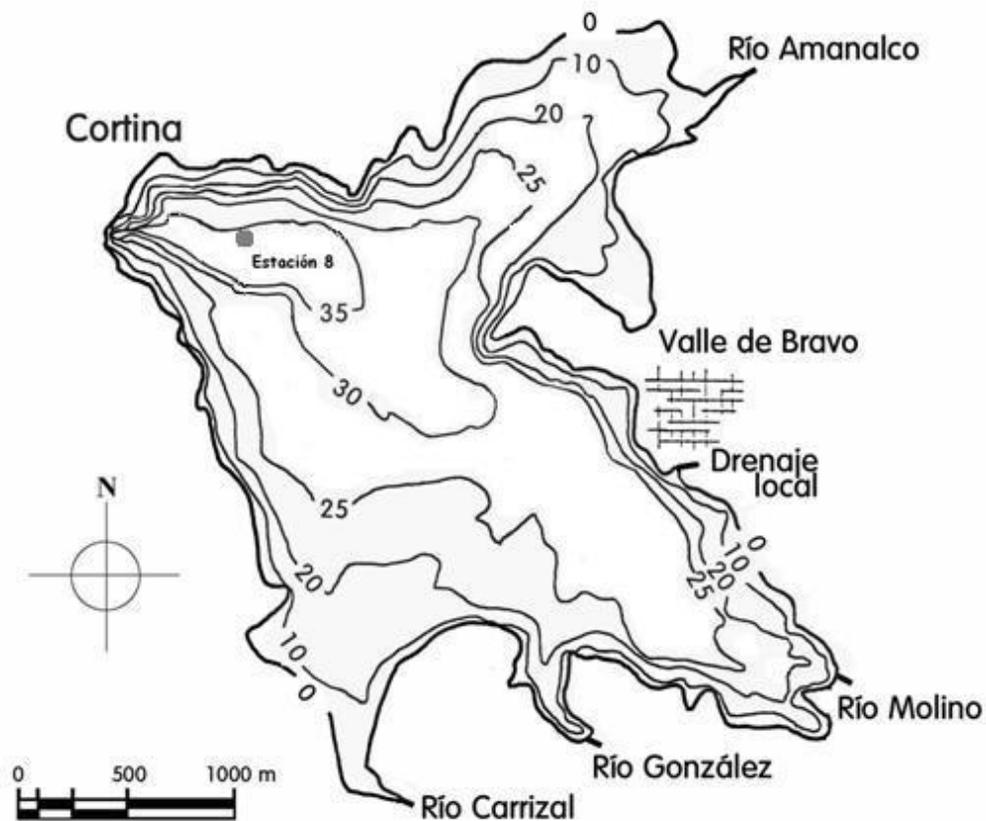
ubicado en el Instituto de Geofísica, y fueron cubiertas con oro alícuotas, con el fin de observarlas con el microscopio de barrido Leika-Cambridge 360, de los Serveis Científico-Tècnics de la Universidad de Barcelona, España (fotografías obtenidas por la Dra. Gloria Vilaclara, necesarias para la determinación de algunas de las especies).

Para la cuantificación del fitoplancton se sedimentó un volumen de 10 ml (ya que las características del embalse propician un elevado desarrollo algal, de tal manera que si se hubiera sedimentado más cantidad, los organismos se hubieran amontonado, impidiendo su conteo) en cámaras de Utermhöl, las cuales miden aproximadamente 2 cm de altura, y se dejaron sedimentar 1 hr. por cada mm de altura de la cámara (Wetzel y Likens, 1991), aunque usualmente se dejó por más de 24 horas, pues por ensayo y error se determinó que incrementar el tiempo recomendado en la metodología (Wetzel y Likens 1991) favorecía que sedimentaran totalmente las especies más pequeñas. Este método de sedimentación facilita la distribución homogénea del fitoplancton en el fondo de las cámaras, lo que permite el conteo de una alícuota, ya sea en transectos o bien en campos elegidos al azar. Se cuenta hasta alcanzar un mínimo de 400 individuos de la especie más abundante con el fin de disminuir el error de conteo (a $\pm 10\%$ del total de células contadas, Wetzel y Likens 1991). El algoritmo utilizado para la cuantificación se construye calculando el volumen de cada campo óptico contado, multiplicando por el total de campos, y realizando una regla de tres para extrapolar el número de células o mm de filamento por ml de muestra.

Los biovolúmenes calculados para las especies más importantes se obtuvieron a partir de los registros de densidad (células ml^{-1}), medidas en por lo menos 20 organismos de cada especie más abundante y usando volúmenes específicos de las formas geométricas más cercanas a los organismos descritos (Wetzel y Likens, 1991).

La determinación de los nutrientes fue realizada por el Hidrobiólogo Sergio Castillo (Laboratorio de Biogeoquímica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología) con un autoanalizador de flujo segmentado marca Skalar Sanplus System. Los nutrimentos evaluados fueron Fósforo reactivo soluble (PRS, en su mayoría

ortofosfatos $P-PO_4^{3-}$) por el método de reducción del ácido molibdofosfórico a fosfomolibdeno azul ($0.05-4 \mu M$ de intervalo de concentración). Nitrógeno como nitritos ($N-NO_2^-$) por medio del método de diazotización con sulfanilamida ($0.1-20 \mu M$ de intervalo de concentración). Nitrógeno como nitratos ($N-NO_3^-$) por el método de reducción de cadmio y analizando nitritos ($0.1-20 \mu M$ de intervalo de concentración). Nitrógeno como amonio ($N-NH_3$) por la reacción de Berthelot (azul de endofenol, $0.1-20 \mu M$ de intervalo de concentración) y Sílice (como SiO_2) por la conversión del ácido silícico a ácido β -silicomolíbico y su reducción a molibdeno azul ($0.02-140 \mu M$ de intervalo de concentración) (APHA, AWWA, WPCF, 1992).



Mapa 2. Embalse Valle de Bravo, donde se observa la estación de muestreo cercana a la cortina (modificado de Monroy, 2004)

6. RESULTADOS

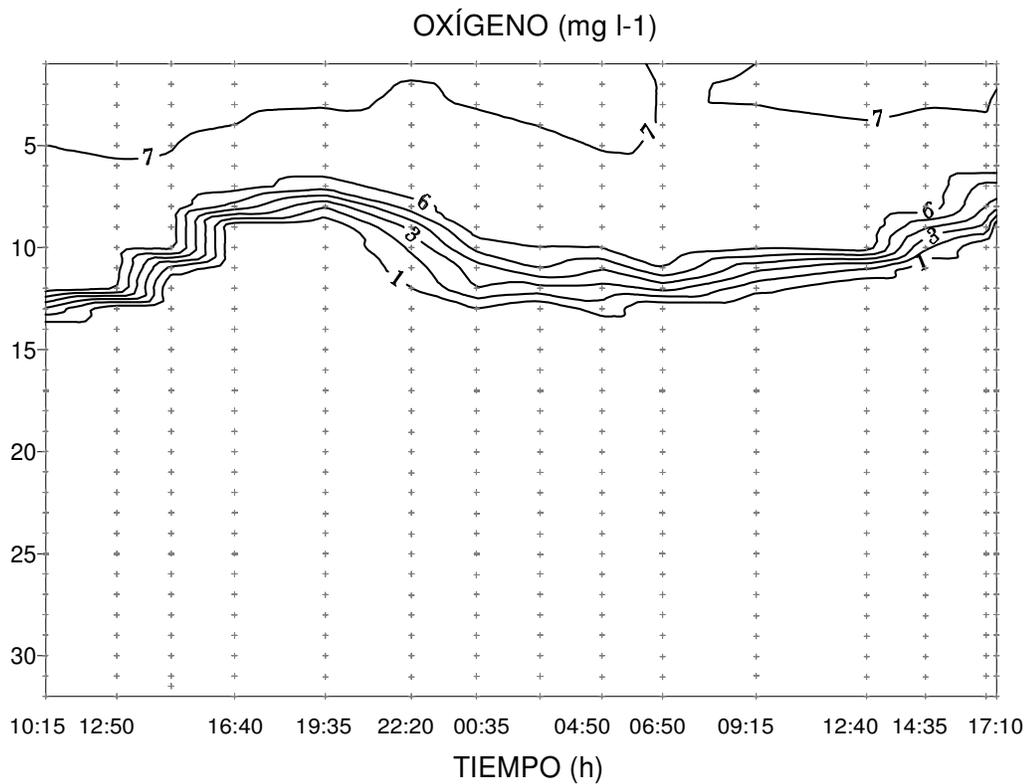
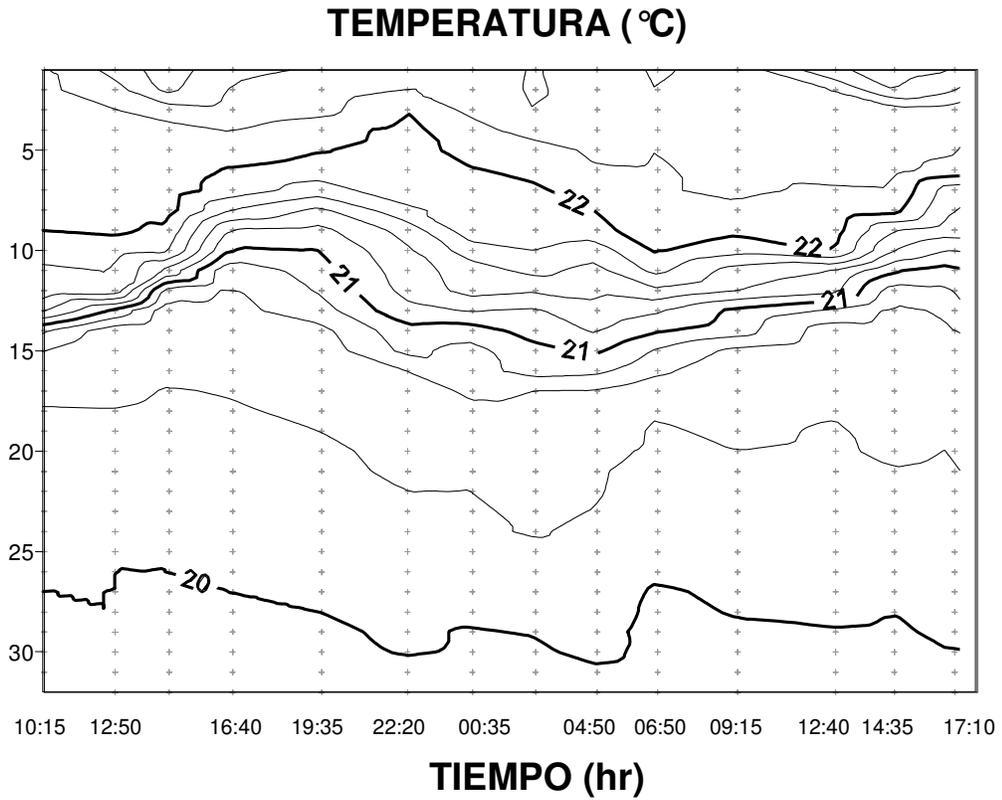


Figura 1. Distribución de la temperatura (°C) y concentración de Oxígeno (mg l⁻¹) durante un muestreo de ca. de 30 hrs. en octubre de 2002, en una estación cercana a la cortina del embalse Valle de Bravo

6. RESULTADOS

6.1 Temperatura, oxígeno disuelto y velocidad del viento

La distribución vertical de la temperatura registrada en el transcurso del muestreo presentó un gradiente de estratificación con una diferencia entre el epilimnion y el hipolimnion fue de 2.9°C (temperatura promedio en la superficie de 22.5°C y en el fondo de 19.9°C). Asimismo, la variación de temperatura registrada en la superficie a lo largo de las 31 horas de estudio fue mínima, fluctuando solamente entre los 22.2 y los 22.8 °C entre la madrugada (2-7 a.m.) y el pico de calentamiento diurno (9 a 19 hrs.).

Con base en el perfil de temperatura se determinó el espesor de las capas en la columna de agua:

El epilimnion abarcó de los 0 a los 9 m de profundidad máxima (aproximadamente entre las 7 y las 10 hrs.), y de los 0 a los 5 m como grosor mínimo, que se alcanzó al término del ciclo diurno de viento (aproximadamente, entre las 17 y las 19:30 hrs. figura 1).

En el metalimnion la temperatura fluctuó entre los 20 y los 22°C. Los cambios generados por el ascenso y descenso de la termoclina no sólo modificaron el espesor del epilimnion, sino también el del metalimnion, fluctuando éste de los 9 a los 17m durante la mañana (aproximadamente entre las 7 y las 10 hrs.), y alcanzando su máximo intervalo de espesor, de los 5 a los 16 m, por la tarde (aproximadamente entre las 16 y las 19:35 hrs., Figura 2 y 2 bis a, c, e).

En el hipolimnion la temperatura permaneció prácticamente constante, fluctuando 0.5°C entre los 17 y 21m y permaneciendo igual (19.9°C) de los 21 a los 31m de profundidad (Figura 2 y 2 bis a, c, e).

Los perfiles de oxígeno se comportaron en forma parecida a los térmicos, de manera que la mayor concentración se registró en la superficie y fue disminuyendo conforme aumentó la profundidad. Los valores de oxígeno en la columna de agua fluctuaron entre los 0.0-7.5 mg l⁻¹, encontrando una diferencia mínima de 6.6 mg l⁻¹ y una máxima de 7.4 mg l⁻¹.

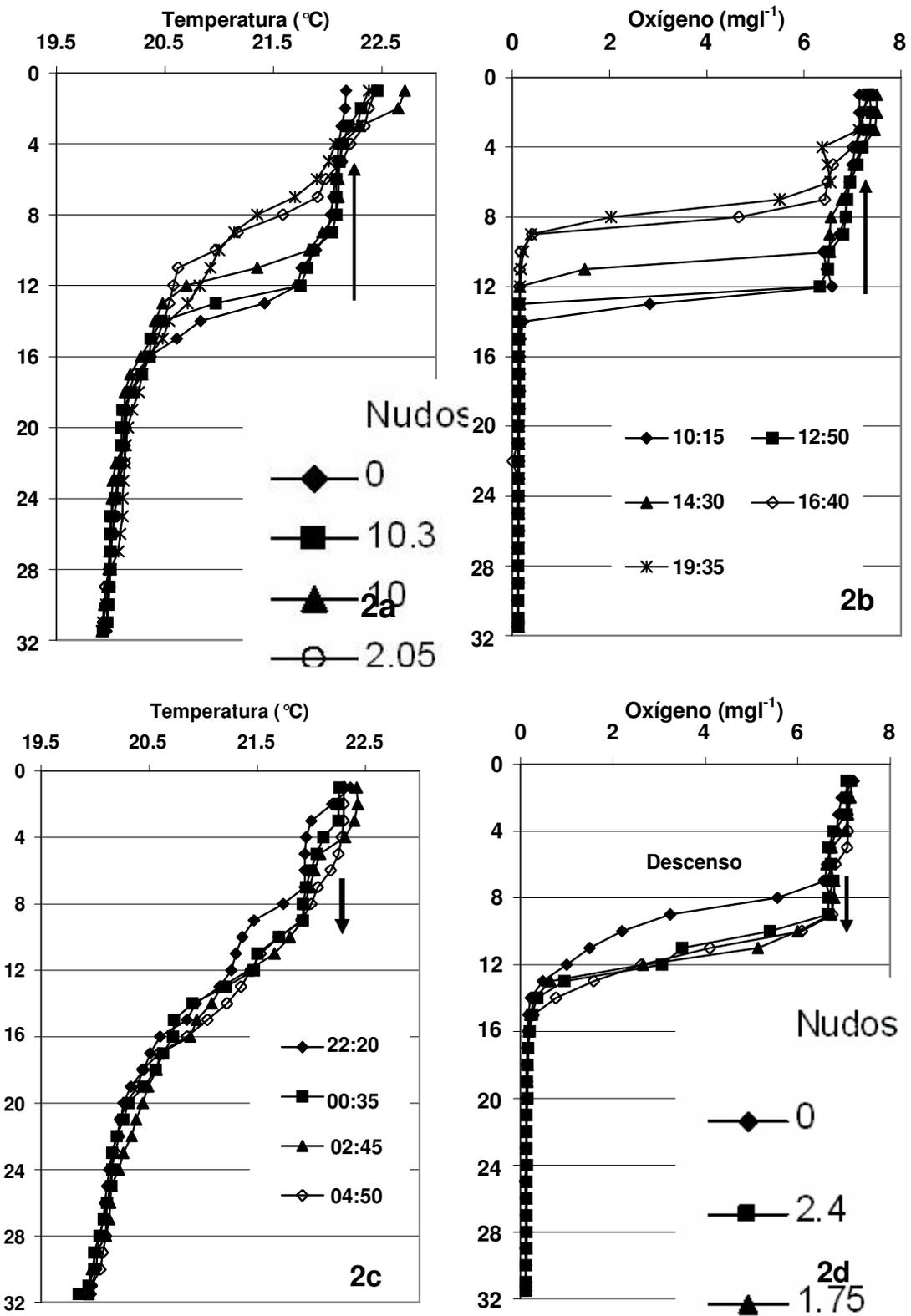


Figura 2. Distribución de la temperatura, el oxígeno disuelto y velocidad del viento en la estación de cortina en Valle de Bravo durante un muestreo de ca. de 30 hrs.

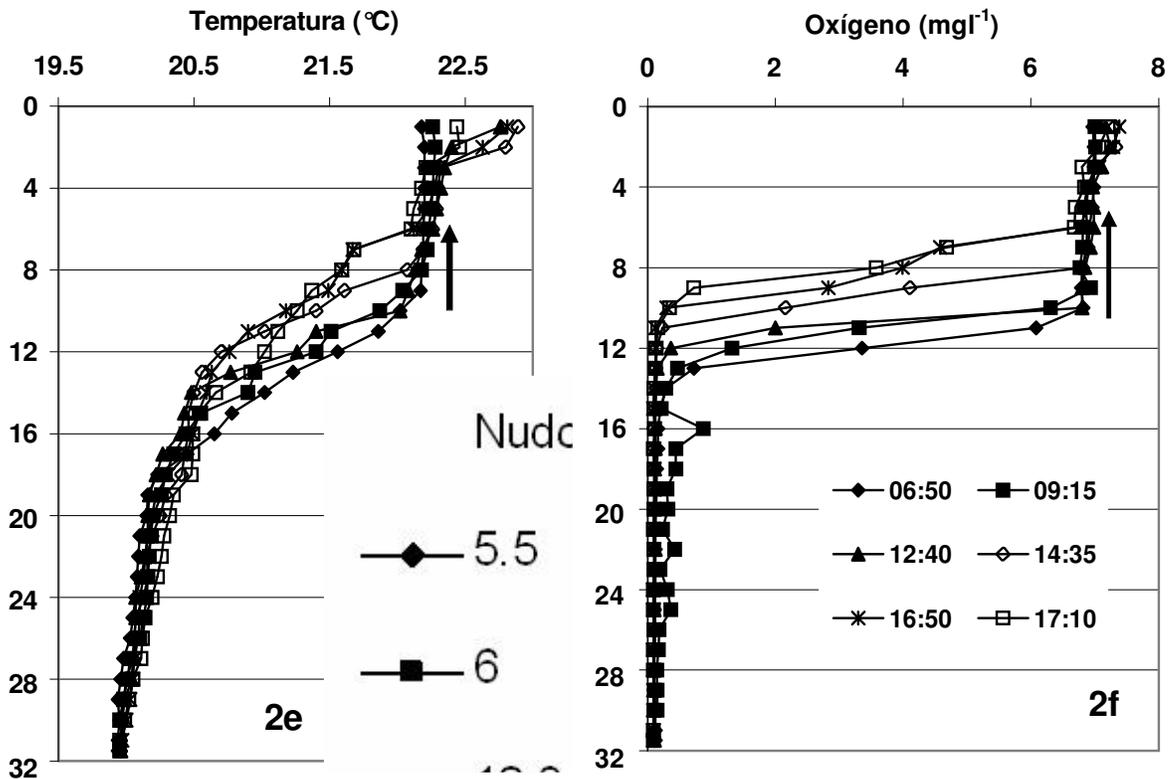


Figura 2 bis. Distribución de la temperatura, el oxígeno disuelto y velocidad del viento en la estación de cortina en Valle de Bravo durante un muestreo de ca. de 30 hrs.

El oxígeno disuelto en el epilimnion por encima de la oxiclina fluctuó entre los 7.0 y los 7.5 mg l⁻¹, abarcando el estrato óxico entre los 0 y 12m de profundidad a las 10:15 hrs y entre los 0 y 6m a las 19:35. En la figura 1 se observa nuevamente el ascenso de la oxiclina durante el día y su descenso durante la noche, que se corresponde con el horario y la profundidad de la termoclina. En la oxiclina, la concentración del oxígeno disuelto fluctuó entre los 6.5 – 6.8 y los 0.1 mg l⁻¹, y el desplazamiento vertical de su zona superficial se observó, en el ascenso, entre los 12 y los 6m de profundidad, y, en el descenso, de los 6 a los 10 m. Por debajo de la oxiclina, a partir de los 14 – 15m y hasta los 31.5 no hay variación en el oxígeno, que desaparece generando un hipolimnion anóxico (Figura 2 y 2 bis b, d, f).

Debido a la importancia que ejerce la acción del viento sobre los cuerpos de agua al producir o generar movimientos y desplazamientos (Armengol-Caputo, 2003;

Monroy, 2004), se registró la velocidad del viento durante este estudio. Se detectaron rachas de hasta 12 nudos con dirección NO-SE (de la cabeza hacia las colas del embalse) durante el día y, por la noche, el viento sopló en dirección contraria (SE-NO, de las colas hacia la cabeza) y con menor intensidad, como se observa en los datos de la Tabla 1.

Hora	Nudos	m s ⁻¹	Sentido	Hora	Nudos	m s ⁻¹	Sentido
10:15	0	0	NO-SE	04:50	7.35	3.8	SE-NO
12:50	10.3	5.3	NO-SE	06:50	5.5	2.8	SE-NO
14:30	10	5.1	NO-SE	09:15	6	3.1	NO-SE
16:40	2.05	1.0	NO-SE	12:40	12.3	6.3	NO-SE
19:35	3.3	1.7	NO-SE	14:35	9.15	4.7	NO-SE
22:20	--	--	SE-NO	16:50	7.75	4.0	NO-SE
00:35	2.4	1.2	SE-NO	17:10	5.5	2.9	NO-SE
02:45	1.75	0.9	SE-NO				

Tabla 1: Velocidad y orientación desde donde soplan las rachas máximas de viento en cada lapso de muestreo (se indica la hora de inicio de los mismos) en Valle de Bravo durante octubre de 2002.

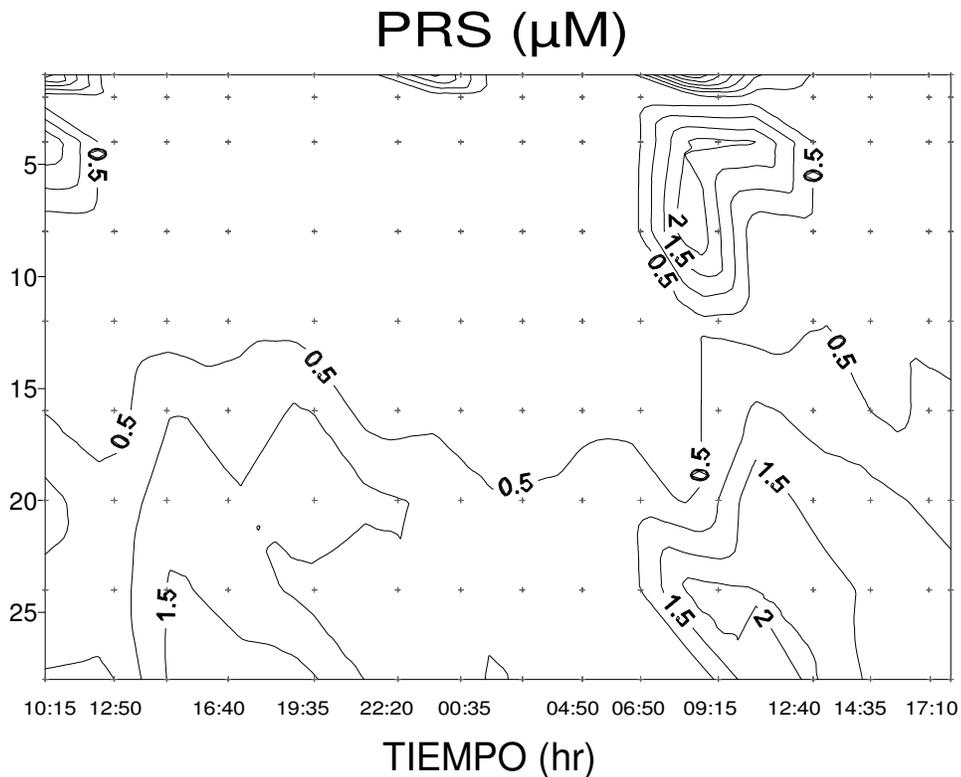


Fig. 3 Distribución del PRS a lo largo de un ciclo de ca. de 30 horas en Valle de Bravo (concentración μM).

6.2 Nutrientes

En general, durante el muestreo la concentración de fósforo (de aquí en adelante P, es decir, Fósforo Reactivo Soluble, PRS) y amonio (como N-NH_4^+) presentaron un comportamiento semejante, registrando sus mínimos valores en el epi- y metalimnion y aumentando la concentración de los 12m en adelante (hipolimnion).

En general, el P aumentó ligeramente sus concentraciones en el metalimnion en relación con el epilimnion, aunque siempre fueron menores que en el hipolimnion; en este último estrato fue donde se registraron sus mayores fluctuaciones. Sin embargo, a las 10:15 hrs. (Figura 3) se observó un comportamiento a la inversa, teniendo los máximos valores en el epilimnion ($2.8 \mu\text{M}$), y los menores en el hipolimnion ($0.45 \mu\text{M}$); dicho comportamiento volvió a observarse a las 9:15 del segundo día de muestreo.

El comportamiento del nitrógeno oxidado (nitratos + nitritos) se observa en la Figura 4. El nitrito (N-NO_2^-) mostró bajas concentraciones y fluctuaciones en toda la columna de agua (de 0.05 - $2.2 \mu\text{M}$), con la mayor concentración ($2.2 \mu\text{M}$) en el hipolimnion. Los nitratos (como N-NO_3^-) mantuvieron bajas concentraciones a lo largo de toda la columna con excepción de dos aumentos, uno durante la noche (8.0 y $18.7 \mu\text{M}$ a las horas 00:35 y 22:20, respectivamente) en el epilimnion y otro durante la mañana (9:15 hrs.) del segundo día de muestreo ($68.8 \mu\text{M}$) en el hipolimnion. Como se observa, en general el nitrato presentó concentraciones 10 ó más veces superiores a las del nitrito, razón por la cual se decidió presentarlos en conjunto.

Este aumento no sólo se observó en la concentración del PRS (en el epilimnion) y el Nitrógeno oxidado (epi-hipolimnion), sino también en el oxígeno disuelto, donde se aprecia un aumento ligero de su concentración en el hipolimnion (figura 5).

El amonio (N-NH_4^+) mostró una disminución a lo largo del epilimnion (1.6 - $5.7 \mu\text{M}$ a 1.1 - $3 \mu\text{M}$) y un rápido aumento en el metalimnion, obteniendo su máxima concentración en el hipolimnion (89 - $104 \mu\text{M}$, Figura 4).

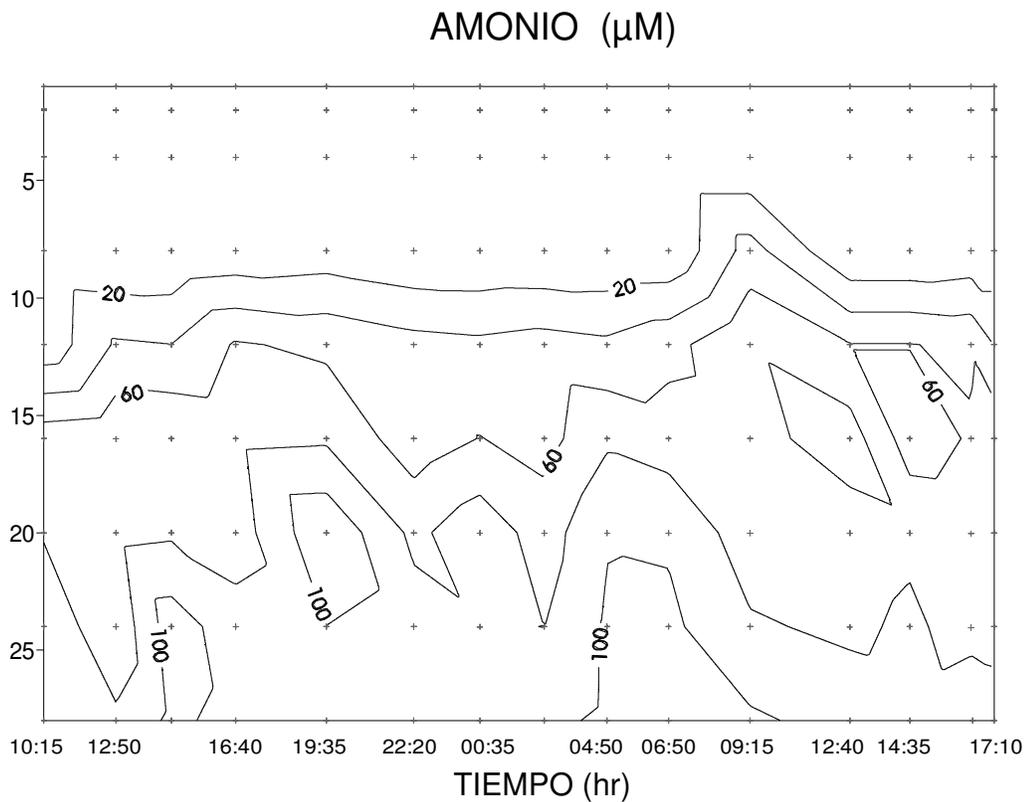
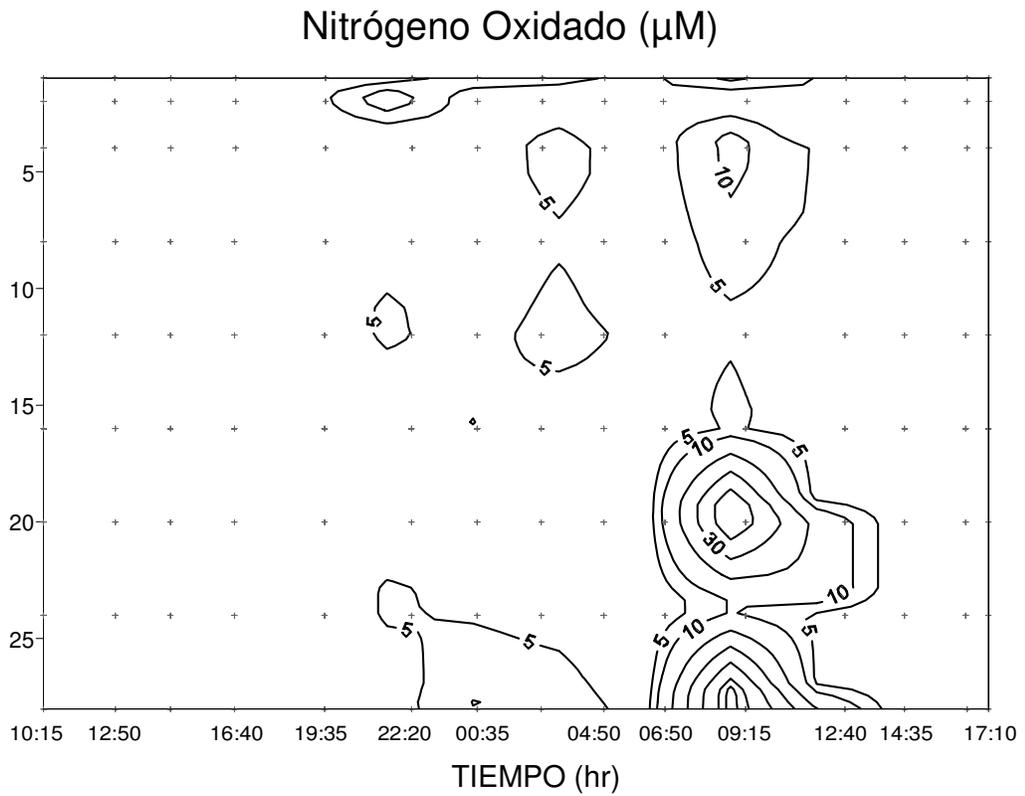


Figura 4 Variación del nitrógeno oxidado ($\text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^-$) y el Amonio (N-NH_4^+) registrados en una estación (cerca de la cortina) del embalse de Valle de Bravo (en concentración μM).

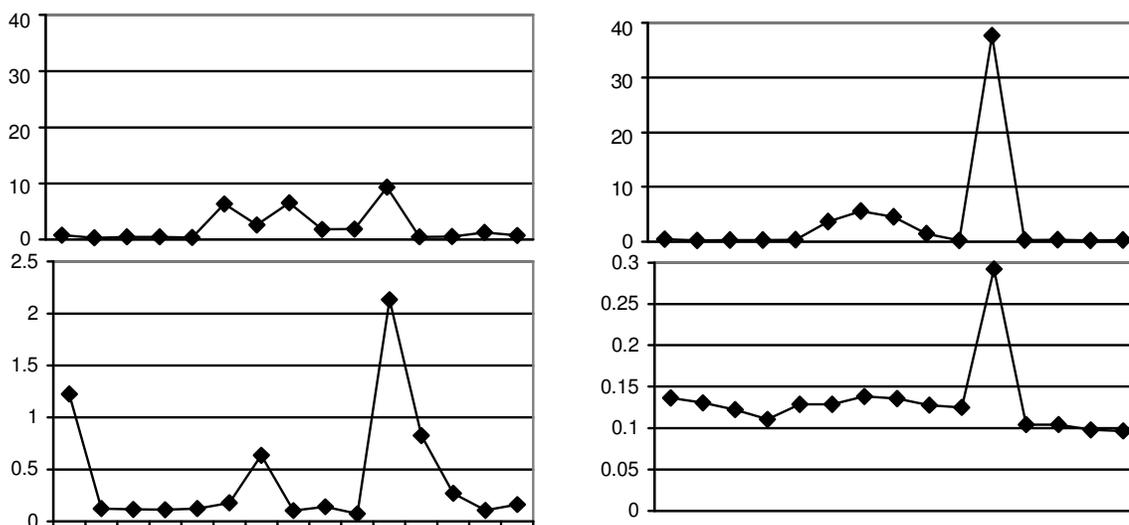


Figura 5. Distribución de las concentraciones promedio de O₂ mg l⁻¹ (hipolimnion), Nitrógeno oxidado μM (epi-hipolimnion) y Ortofosfato (epilimnion) μM en Valle de Bravo.

El fósforo orgánico no registró valores mayores a los 4 μM, manteniéndose constante y presentando sus mayores concentraciones en el hipolimnion.

Usualmente, el nitrógeno orgánico no sufrió muchos cambios en el epilimnion (varió entre 23 y 50 μM), observando una mayor fluctuación en el meta- e hipolimnion (4–59 μM); durante el segundo día de muestreo se registró una mayor fluctuación, tanto a lo largo de la columna de agua como con el paso del tiempo, 7 a 95 μM en el epilimnion, 0.04 a 41 μM en el metalimnion y 1.2 a 67.8 en el hipolimnion.

La relación NID/PRS durante este muestreo presento varias fluctuaciones, pasando de una relación menor a la de Redfield (N:P<16:1, lo cual nos indica déficit de Nitrógeno) a una relación más cercana a 16 (por un lapso de ca. 8 hrs.), cambiando bruscamente a una relación >16:1 (déficit de fósforo), para regresar nuevamente a una relación a favor del P (N:P<16:1, figura 6).

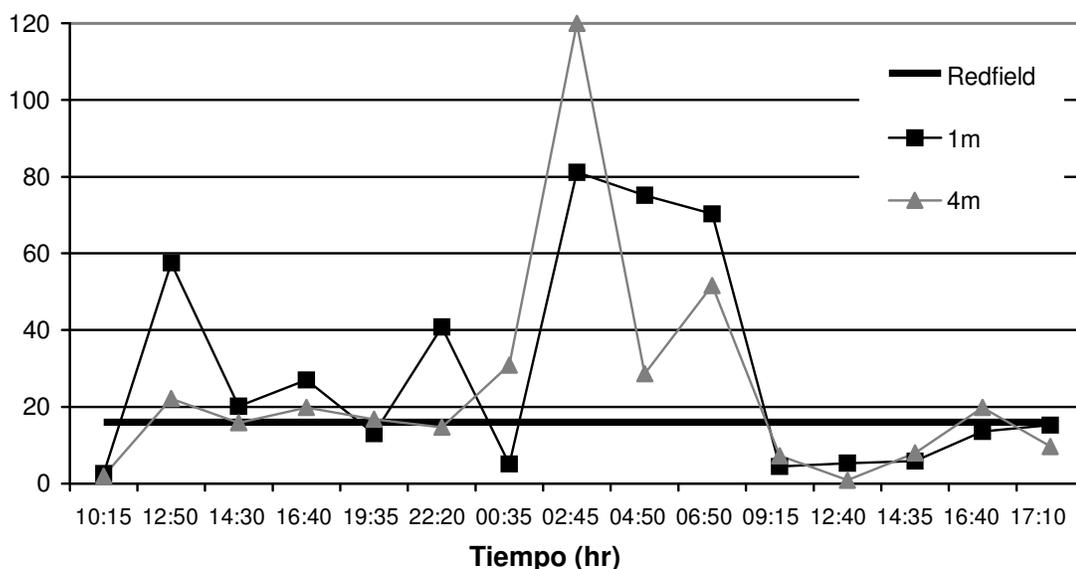


Figura 6. Relación N:P a 1 y 4 m (epilimnion) en el embalse Valle de Bravo

6.3 Fitoplancton

En el presente trabajo se revisaron un total de 36 muestras. Se siguieron los criterios de clasificación de diversos autores: Komárek y Anagnostidis (1999) y Cronberg (2005) para Chroococcales; Komárek (1989), Cronberg (2005), John *et al.* (2002) y Wher y Sheath (2003) para Nostocales; Komárek (2005) y Cronberg (2005) para Oscillatoriales; Round *et al.* (1990) y Krammer y Lange-Bertalot. (1986, 1988 y 1991) para diatomeas; Comas (1996) para Chlorococcales; Tell y Conforti (1986) para Euglenophyta; Ortega (1984) y Kristiansen (2001) para Chrysophyta; John *et al.* (2002) para Xantophyta; Huber-Pestalozzi (1968), John *et al.* (2002), Ortega (1984) y Wher y Sheath (2003) para los grupos restantes. Asimismo, para la nomenclatura se consultó el "Index Nominum Algarum" (<http://ucjeps.berkeley.edu/ina/>).

A continuación se cita la ubicación taxonómica de los taxa determinados (las descripciones de algunas de las especies se citan en el Anexo 1).

División: **CYANOPHYTA** (o CIANOPROCARIOTA o CYANOBACTERIA)
 Clase: CYANOPHYCEAE
 Subclase: COCCOGONOPHYCIDAE
 Orden: CHROOCOCCALES
 Familia: SYNECHOCOCCACEAE
 Subfamilia: APHANOTHECOIDEAE

Género: *CYANOBACTERIUM*
Especie: ***Cyanobacterium* sp.**
Género: *APHANOTHECE*
Especie: ***Aphanothece* sp.1**
Especie: ***Aphanothece* sp. 2**

Familia: GLOEOBACTERACEAE
Subfamilia: SYNECHOCOCCOIDEAE
Género: "*incertae saedis*
Myxobactron, ("***Dactylococcopsis?***")

Familia: MERISMOPEDIACEAE
Subfamilia: MERISMOPEDIOIDEAE
Género: *MERISMOPEDIA*
Especie: ***Merismopedia trolleri*.**

Subfamilia: GHOMPHOSPHAERIOIDEAE
Género: *SNOWELLA*
Especie: ***Snowella septentrionalis***
Genero: *WORONICHINIA*
Especie: ***Woronichinia naegeliana***

Familia: MICROCYSTACEAE
Género: *MICROCYSTIS*
Especie: ***Microcystis flos-aquae***
Especie: ***Microcystis aeruginosa***
Especie: ***Microcystis aff. aeruginosa***

Subclase: HORMOGONOPHYCIDAE
Orden: NOSTOCALES
Familia: NOSTOCACEAE
Género: *ANABAENA*
Especie: ***Anabaena aff. charmichaelii***
Especie: ***Anabaena aff. spiroides***
Especie: ***Anabaena* sp.**
Género: *CYLINDROSPERMOPSIS*
Especie: ***Cylindrospermopsis raciborskii***

Orden: OSCILLATORIALES
Familia: PSEUDANABAENACEAE
Subfamilia: PSEUDANABAENOIDEAE
Género: *PSEUDANABAENA*
Especie: ***Pseudoanabaena* sp.**

Subfamilia: LIMNOTRICHIOIDEAE
Género: *LIMNOTHRIX*
Especie: ***Limnothrix redekei***

Familia: OSCILLATORIACEAE
Subfamilia: OSCILLATORIOIDEAE

Género: *LYNGBYA*
Especie: *Lyngbya birgei*

División: **BACILLARIOPHYTA**

Clase: COSCINODISCOPHYCEAE
Subclase: THALASSIOSIROPHYCIDAE
Orden: THALASSIOSIRALES
Familia: STEPHANODISCACEAE
Género: *CYCLOTELLA*
Especie: *Cyclotella ocellata*

Subclase: COSCINODISCOPHYCIDAE
Orden: AULACOSEIRALES
Familia: AULACOSEIRACEAE
Género: *AULACOSEIRA*
Especie: *Aulacoseira granulata*

Subclase: RHIZOSOLONIOPHYCIDAE
Orden: RHIZOSOLENIALES
Familia: RHIZOSOLENIACEAE
Género: *UROSOLENIA*
Especie: *Urosolenia erinensis*

Clase: FRAGILARIOPHYCEAE
Subclase: FRAGILARIOPHYCIDAE
Orden: FRAGILARIALES
Familia: FRAGILARIACEAE
Género: *FRAGILARIA*
Especie: *Fragilaria crotonensis*
Género: *SYNEDRA*
Especie: *Synedra ulna*

Clase: BACILLARIOPHYCEAE
Subclase: BACILLARIOPHYCIDAE
Orden: BACILLARIALES
Familia: BACILLARIACEAE
Género: *NITZCHIA*
Especie: *Nitzschia sp.*

División: **PYRRROPHYTA**

Clase: DINOPHYCEAE
Subclase: DINOPHYCIDAE
Orden: PERIDINIALES
Familia: GYMNODINIACEAE
Género: *GYMNODINIUM*
Especie: *Gymnodinium sp.*
Género: **Tipo *Glenodinium***

Familia: PERIDINIACEAE
Género: *PERIDINIUM*
Especie: ***Peridinium* sp. 1**
Especie: ***Peridinium* sp. 2**

Familia: CERATIACEAE
Género: *CERATIUM*
Especie: ***Ceratium hirundinella***

Clase: CRYPTOPHYCEAE
Subclase: CRYPTOMONADINAE
Orden: CRYPTOMONADALES
Familia: CRYPTOMONADACEAE
Subfamilia: CRYPTOMONADOIDEA
Género: *CRYPTOMONAS*
Especie: ***Cryptomonas curvata***
Especie: ***Cryptomonas marssonii***
Género: *RHODOMONAS*
Especie: ***Rhodomonas* sp.**

División: **EUGLENOPHYTA**
Clase: EUGLENOPHYCEAE
Orden: EUGLENALES
Familia: EUGLENACEAE
Género: *TRACHELOMONAS*
Especie: ***Trachelomonas* aff. *Volvosinopsis***

División: **CHLOROPHYTA**
Clase: CHLOROPHYCEAE
Subclase: CHLOROPHYCIDAE
Orden: **CHLOROCOCCALES**
Familia: CHLOROCOCCACEAE
Género: *TETRAEDRON*
Especie: ***Tetraedron minimum***

Familia: CHARACIACEAE
Género: *SCHROEDERIA*
Especie: ***Schroederia setigera***

Familia: OOCYSTACEAE
Género: *MONORAPHIDIUM*
Especie: ***Monoraphidium dybowskii***
Género: *NEPHROCYTIUM*
Especie: ***Nephrocytium agardhianum***
Género: *OOCYSTIS*
Especie: ***Oocystis marsonii***

Familia: SCENEDESMACEAE
Género: *COELASTRUM*
Especie: ***Coelastrum indicum***
Especie: ***Coelastrum reticulatum***
Género: *SCENEDESMUS*
Especie: ***Scenedesmus ecornis***

Familia: HYDRODICTYACEAE
Género: *PEDIASTRUM*
Especie: ***Pediastrum simplex***

Orden: **DESMIDIALES**
Familia: CLOSTERIACEAE
Género: *CLOSTERIUM*
Especie: ***Closterium acutum***
Especie: ***Closterium aciculare***

Familia: DESMIDIACEAE
Género: *MOUGEOTIA*
Especie: ***Mougeotia sp.***
Género: *COSMARIUM*
Especie: ***Cosmarium sp.***

Orden: **TETRASPORALES**
Familia: TETRASPORACEAE
Género: *PAULCHULZIA*
Especie: ***Paulchulzia tenera***

División: **CHRYSTOPHYTA**
Calse: CHRYSTOPHYCEAE
Orden: CHROMULINALES
Familia: CHROMULINACEAE
Género: *CHROMULINA*
Especie: ***Chromulina sp.***

Familia: DINOBRYACEAE
Género: *DINODRYON*
Especie: ***Dinobryon sp***
Género: **Tipo *Chrysochromulina***
incertae saedis 1
incertae saedis 2

División: **XANTOPHYTA**
Orden: MISCHOCOCCALES
Género: *PSEUDOSTAURASTRUM*
Especie: ***Pseudostaurastrum aff. limneticum***

Se registraron un total de 50 taxa, quedando 3 taxa sin identificar. Del total de taxa identificados y siguiendo los criterios de clasificación de los autores mencionados con anterioridad, 17 pertenecen a la División Cyanophyta, 14 a Chlorophyta, 8 a Pyrrophyta (Dinoflagelados y Cryptomonadales), 6 a Chromophyta, 2 a Chrysophyta, 1 a Euglenophyta, y 1 a Xantophyta (figura 7).

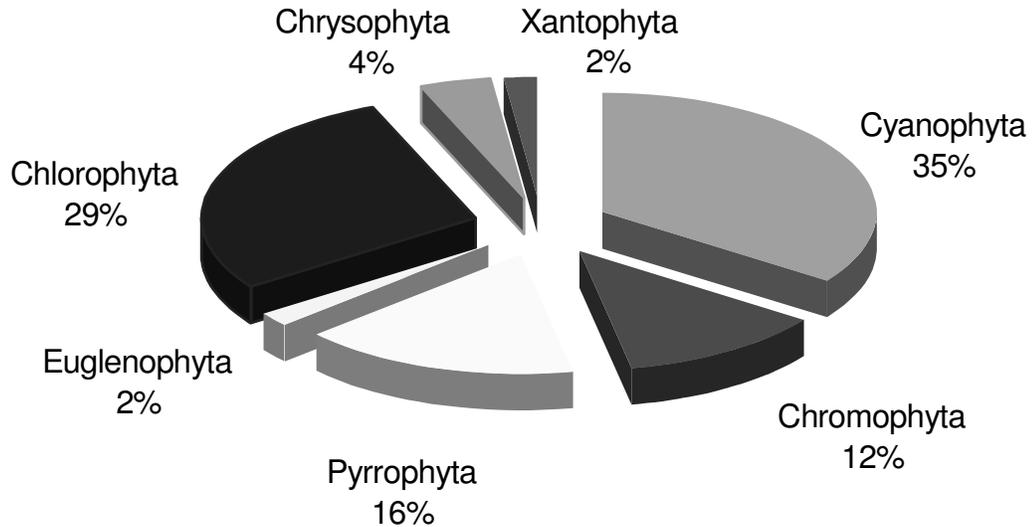


Figura 7: Porcentaje de cada División en base a su número de especies.

En la columna de agua, la mayor densidad fitoplanctónica ($>90,000 \text{ cél.ml}^{-1}$) se detectó en el epilimnion (1 y 4 m de profundidad), donde se registraron 2 incrementos a 1m, uno a las 14:30 hrs. ($480,000 \text{ cél.ml}^{-1}$) y otro las 00:35 hrs. ($330,000 \text{ cél.ml}^{-1}$), mientras que a los 4m sólo se registró un aumento a las 14:35 hrs. ($360\,000 \text{ cél ml}^{-1}$). A los 20m (hipolimnion) se observó la menor densidad ($< 50\,000 \text{ cél ml}^{-1}$) (Figura 8).

La División con mayor predominio fue Cyanophyta ($>88 \%$ de la densidad de organismos a 1 y 4 m, y $>95 \%$ a 20m de profundidad). Las divisiones Chromophyta, Pyrrophyta, Chrysophyta y Xantophyta se constituyeron en el 0.2 al 5 % de la densidad a 1 y 4 m, con porcentajes $< 1\%$ a 20m de profundidad (Figura. 9).

Dentro de la división Cyanophyta (cianoprocariota), el orden más abundante fue el Oscillatorial (34-91%), seguido del Nostocal (4-30%) a 1 y 4m y el orden Chroococcales (58-99%) a 20m.

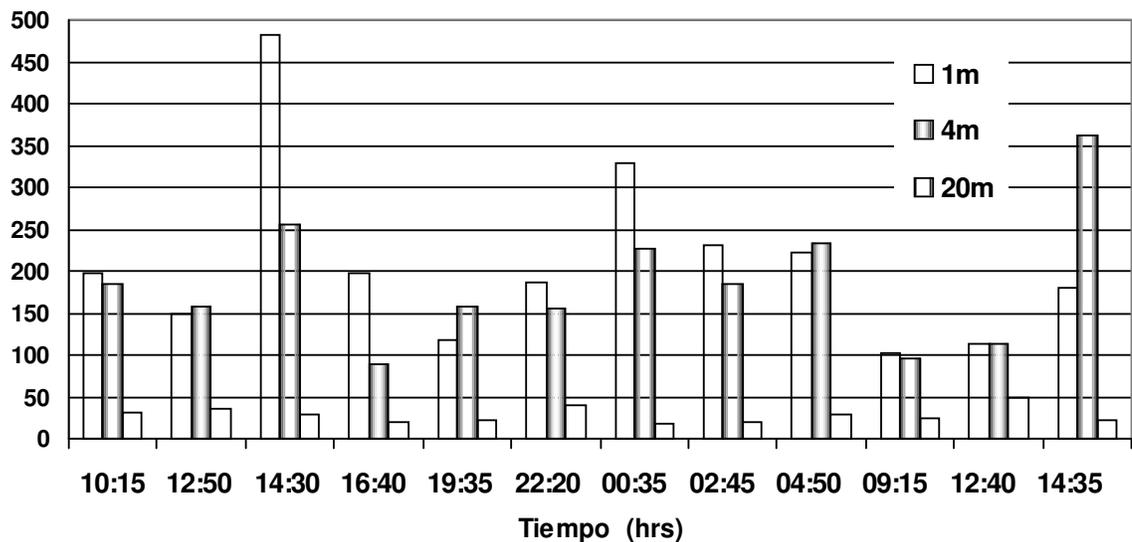


Fig. 8. Variación de la densidad fitoplanctónica (células x 10³ ml⁻¹) a tres diferentes profundidades durante un muestreo de 28 hrs. en el embalse Valle de Bravo.

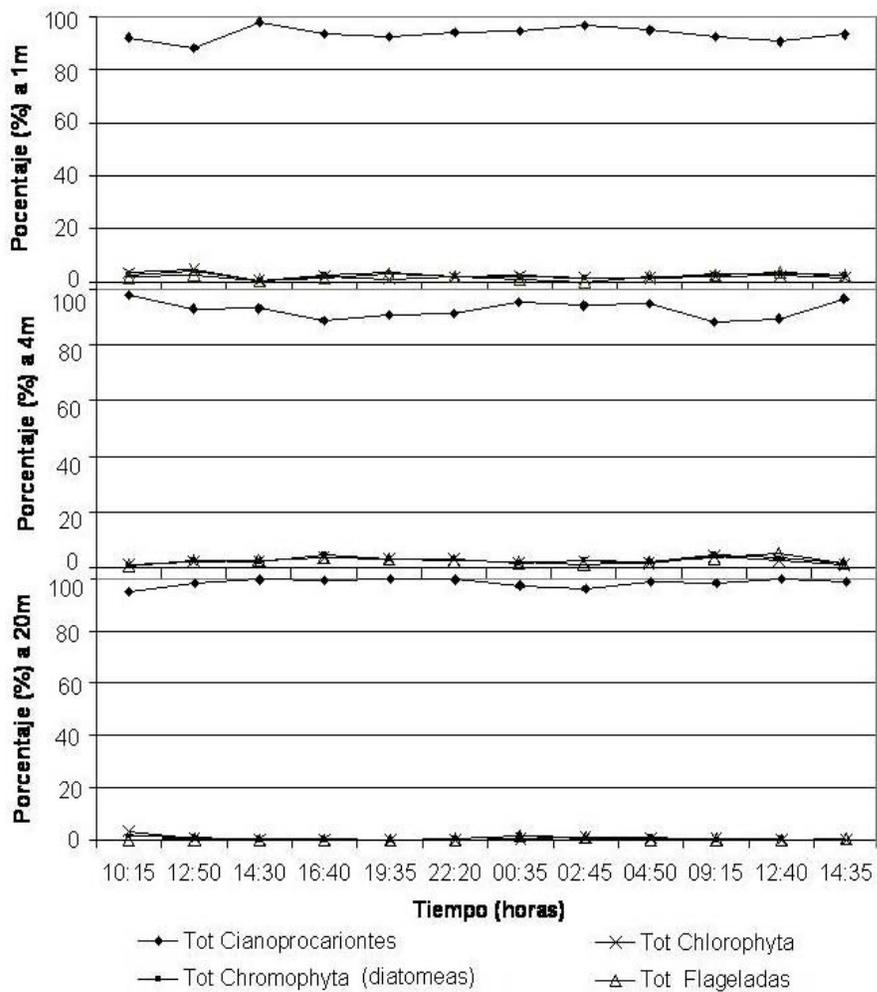


Figura 9. Porcentaje de la densidad de organismos por División a 1, 4 y 20m en el embalse Valle de Bravo, Estado de México.

Del total de taxa reportados en este trabajo (53), las especies más abundantes en densidad (cél. ml⁻¹) fueron: dentro de las Cyanophyta, a 1 y 4m *Limnothrix redekei* (34-91%, con los máximos valores a 1 m) y *Cylindrospermopsis raciborskii* (4-29%); *Merismopedia trolleri* (47-99%) que sólo se encontró a 20m; dentro de la división Chromophyta, *Cyclotella ocellata* (0.4-4%), y dentro de la división Chlorophyta, *Mougeotia/Debarya* sp. (0.3-3.1%) (Figuras. 10 y 11).

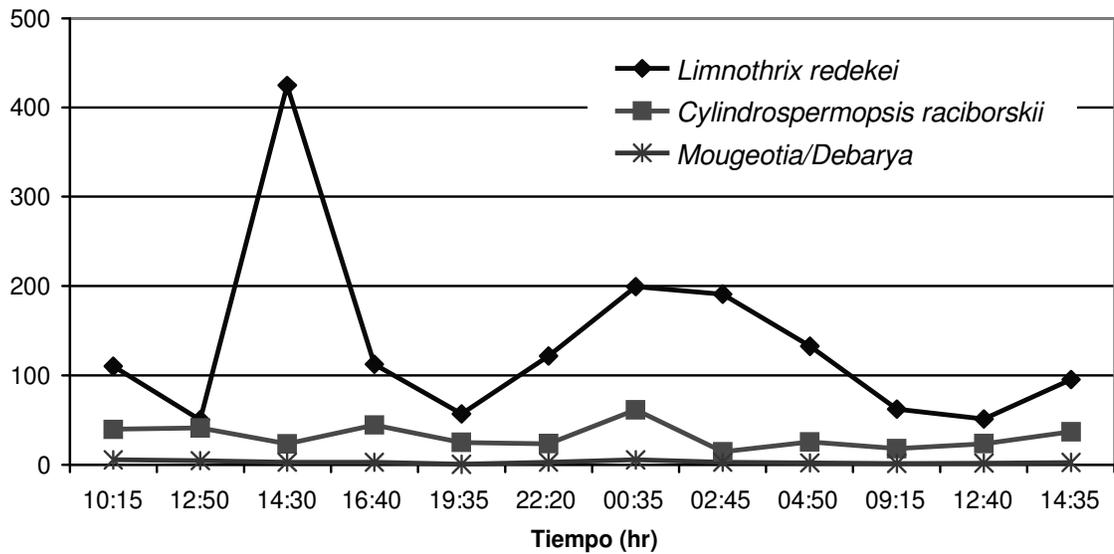


Figura 10. Densidad en células. ml⁻¹ de las especies más abundantes a 1m de profundidad

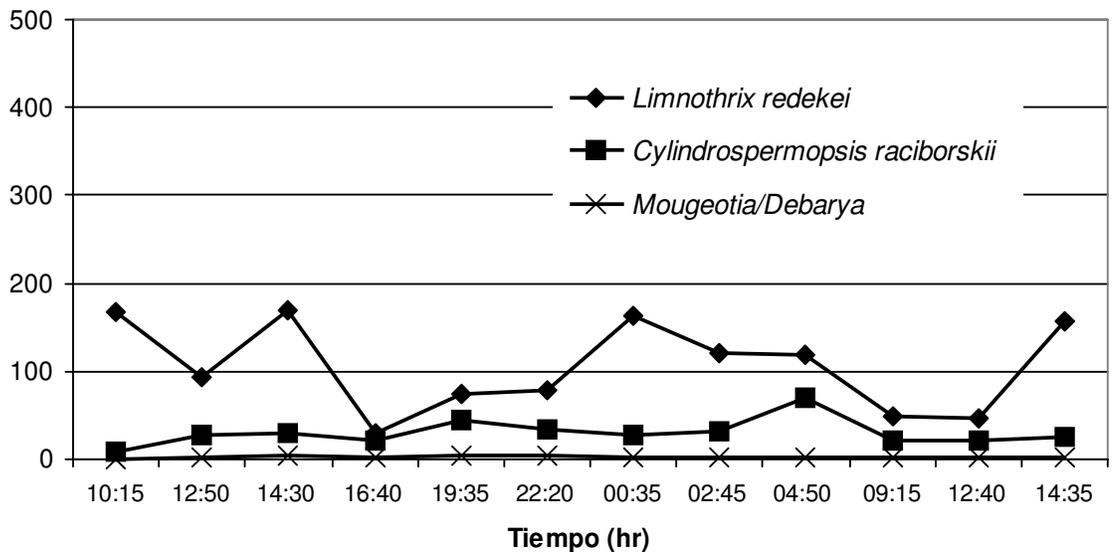


Figura 11. Densidad en células. ml⁻¹ de las especies más abundantes a 4m profundidad

Sin embargo, al calcular el biovolumen, la especie más abundante fue *Mougeotia/Debarya* sp., con excepción de las 14:30 hrs a 1m de profundidad, cuando *Limnithrix redekei* la superó por $2.0 \times 10^6 \mu\text{m}^3 \text{ l}^{-1}$. *Mougeotia/Debarya* sp. presentó su mayor variación a 1m de profundidad, registrando su menor biovolumen ($2.5 \times 10^5 \mu\text{m}^3 \text{ l}^{-1}$) a las 19:35 hrs. (Figuras 12 y 13).

A los 20m de profundidad, la especie más abundante fue *Merismopedia trolleri*, en comparación con lo escaso de las especies restantes.

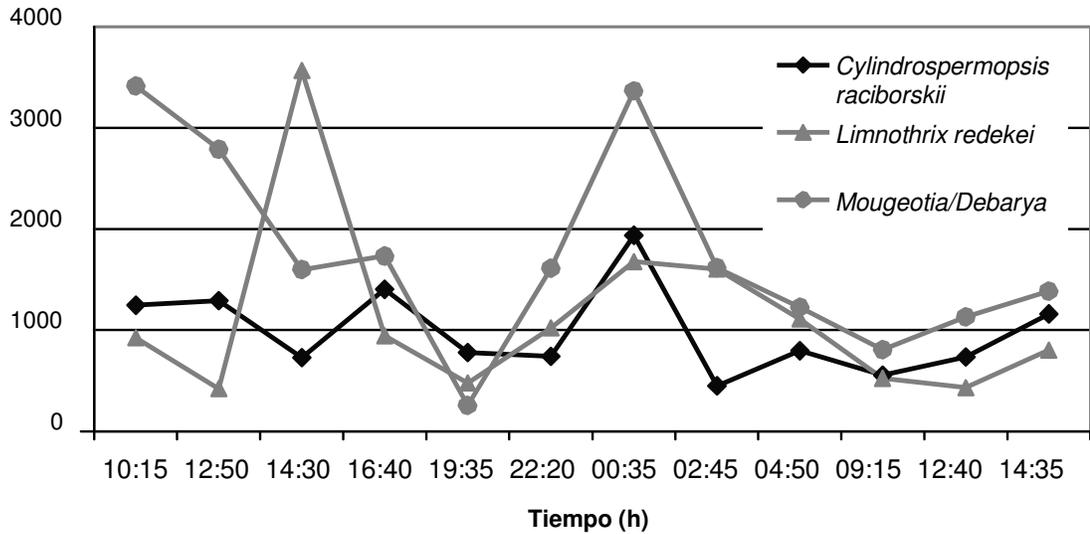


Figura 12. Variación del biovolumen ($\times 10^3$) de las especies más abundantes a 1m.

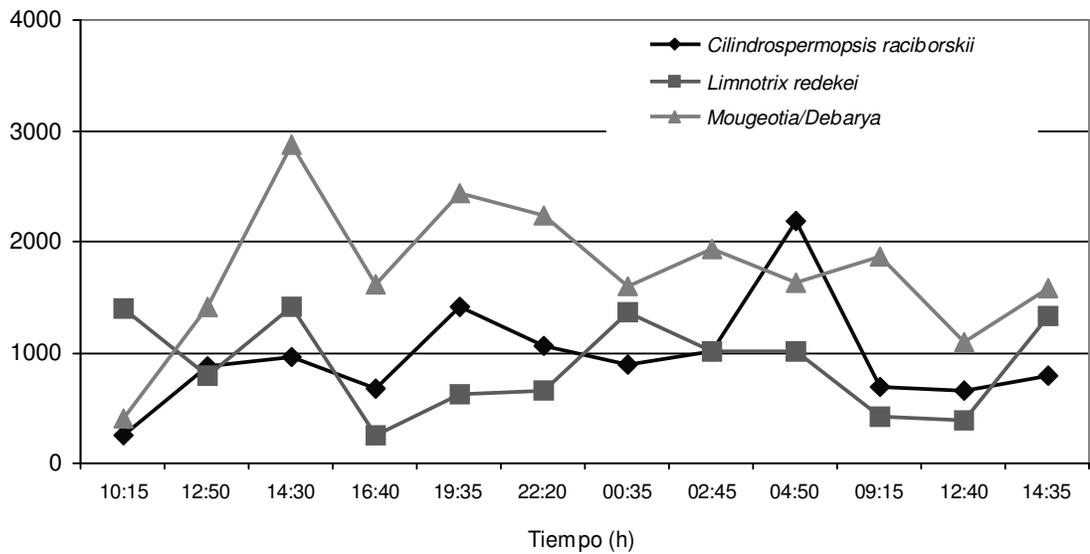


Figura 13. Variación del biovolumen ($\times 10^3$) de las especies más abundantes a 4m

7. Discusión

El embalse Valle de Bravo ha sido clasificado como un cuerpo de agua tropical atemperado por la altitud (por su posición y altitud, 25° 34' N corregida por altitud y 1830 m s.n.m.), que se comporta como un lago monomítico cálido (Monroy, 2004; Ramírez J. *et al.*, 2002). Los cuerpos de agua monomíticos cálidos se caracterizan por no formar nunca una capa de hielo en la superficie, por presentar un periodo de mezcla de corta duración, que coincide con el invierno hemisférico, y una época de estratificación que dura la mayor parte del año (Lewis, 1983.; Lewis 1996)

Durante el mes de octubre de 2002 la diferencia máxima de temperatura en el embalse entre la superficie y el fondo fue de 2.9 °C (22.9°C a 20.0°C, respectivamente). Dado que el mes de Octubre se ha reportado (Monroy *et al.*, 2002) en el embalse de Valle de Bravo como de transición entre la época de estratificación y el inicio de la mezcla, cabría preguntarse si la relativamente escasa diferencia de temperaturas en la columna de agua permite que se constituya o no una termoclina. En principio, se podría considerar suficiente todavía como para mantener la estratificación, pues a temperaturas >20°C, el cambio de densidad con el cambio de temperaturas es mayor, por lo cual se establece una barrera efectiva contra la mezcla (Wetzel, 2001). En la fig. 1 puede observarse el efecto del calentamiento diurno entre las 10:00 y las 16:00 hrs. Aparentemente, la termoclina (Figuras 2 y 2bis, a-f) no está tan bien marcada como la estratificación del oxígeno, precisamente porque nos encontramos en la fase previa al inicio de la mezcla, cuando las temperaturas empiezan a igualarse en la columna, lo cual estaría indicando una fase de debilitamiento, aunque no ruptura, de la termoclina.

Para acabar de dirimir este asunto, podemos acudir a la variación de la concentración de oxígeno en la columna. La máxima concentración de oxígeno disuelto durante este trabajo fue de 7.5 mg l⁻¹ en los primeros metros superficiales, producto del intercambio superficie de agua-atmósfera y producción primaria, obteniendo la mayor variación y una rápida disminución en el metalimnion y agotándose en el hipolimnion, debido a la degradación de la materia orgánica que se ha venido acumulando en el fondo desde fases previas (Figura 1) (Wetzel, 1983;

Vallentyne, 1979). En las figuras 2 y 2bis (b, d, f) se observa claramente con la oxiclina que el embalse está estratificado, de manera que los resultados obtenidos en este trabajo reflejan mucho más las características de la época de estratificación del embalse que las de transición o mezcla. Así pues, la existencia de una fuerte oxiclina refuerza la existencia de la termoclina y, por ende, de un epilimnion, metalimnion y hipolimnion.

En relación con la capa de mezcla o epilimnion, los efectos del viento sobre un lago o reservorio son de diversos tipos. El más evidente es la generación de ondas de superficie, las cuales conllevan un considerable transporte de energía a través de un movimiento oscilatorio que no transporta masa a gran escala. Las ondas, sin embargo, aumentan el mezclado y multiplican el efecto del viento de tal manera que incluso puede haber una reducción de la estabilidad térmica (debido a una mezcla a mayor profundidad) y, con ello, un aporte de agua del fondo (menos caliente y más rica en nutrientes) que provocaría un pulso corto pero intenso de producción primaria (Armengol-Caputo, 2003; Buscaglia-Arnica, 2000). En las figuras 2 y 2bis (a-f) se observan los perfiles de temperatura y oxígeno, donde puede verse claramente el movimiento oscilatorio de la termoclina; como se señaló anteriormente, la acción del viento produce la mezcla del epilimnion y el transporte a favor del viento, que -de acuerdo con Monroy (2004)- “para este caso puede esquematizarse como un modelo de circulación de una celda, impulsada diariamente por la acción del viento y esquematizado como un movimiento oscilatorio en el que cada ciclo provoca un ascenso hipolimnético y un descenso epilimnético en los extremos contrarios del embalse” (Figura 14).

En el muestreo de octubre, este ascenso puede observarse a partir de las 12:00 y hasta las 19:00 hrs., que es cuando alcanza su máximo valor (6m) provocado por la acción del viento, que alcanzó los 12 nudos con dirección NO-SE; el flujo constante y unidireccional del viento ocasiona un desplazamiento de agua de la cabeza hacia las colas del embalse y, por lo tanto, una acumulación en el extremo opuesto a la estación muestreada, que empuja la termoclina hacia abajo en la cola más larga del embalse; dicha situación genera una corriente en el fondo que, a su vez, empuja la termoclina hacia arriba cerca de la cortina, en forma similar a como sucedería en una surgencia o afloramiento.

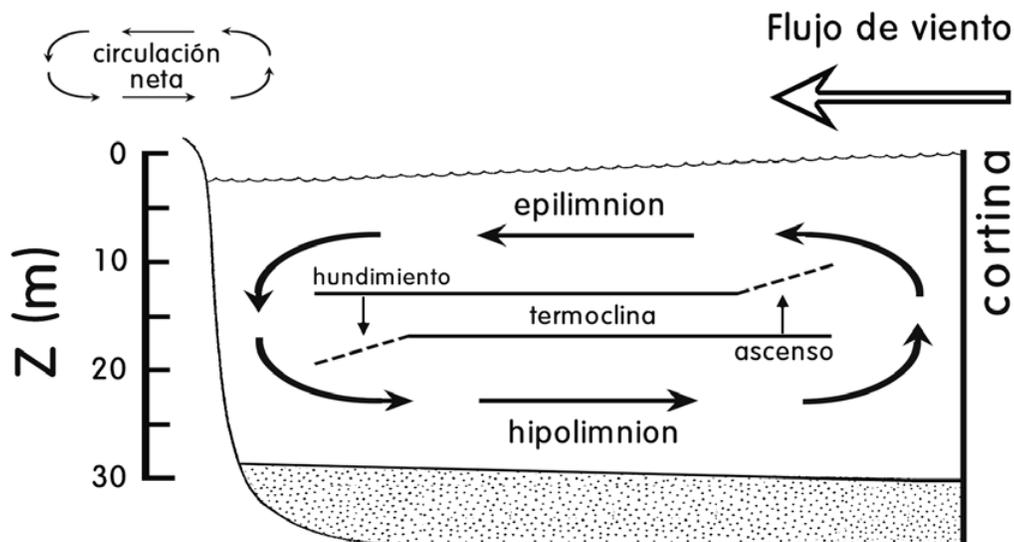


Figura 14: Modelo de una celda propuesto para la circulación de agua a lo largo del eje principal de viento diurno del embalse de Valle de Bravo (tomado de Monroy, 2004).

Dicho fenómeno explica la ascensión observada de la termoclina durante el día. De noche, el viento sopla en dirección contraria, de las colas hacia la cortina del embalse y con menor fuerza; entonces, el efecto es a la inversa pero mucho menos intenso, pues la termoclina recupera su nivel, descendiendo alrededor de 4m (figuras 2 y 2bis a, c, e). Tales fenómenos implican que la velocidad y la dirección del viento juegan un papel muy importante en este lugar.

En lo que se refiere a los nutrientes, su comportamiento se ve afectado por la estructura térmica, la disponibilidad de oxígeno y la producción primaria. Las P_4RS y Amonio (N-NH_4^+) se registraron en máximas concentraciones en el hipolimnion, disminuyendo su concentración hacia la superficie, debido principalmente a la estratificación del embalse, ya que en la capa superior se agotan los nutrientes, por consumo y asimilación de los organismos (principalmente el fitoplancton, ya que prefieren ingerir amonio por ser la fuente de nitrógeno más reducida, lo que implica un ahorro de energía), y por la nitrificación, porque -en presencia de oxígeno- el amonio se oxida pasando a NO_2^- , lo que también

disminuye la concentración de amonio en el epilimnion. La acumulación del PRS y NH_4^+ en el hipolimnion se debe a la exportación de nutrientes por el N-NH fitoplancton y otras partículas orgánicas que se hunden desde la superficie, haciéndose posible la liberación de estos nutrientes en el hipolimnion y en el sedimento (Lampert y Sommer, 1997.; Wetzel, 2001; Vallentyne, 1979; Monroy, 2004; Ramírez *et al.*, 2002).

Los resultados observados en nitrógeno y fósforo total (dados principalmente por amonio y PRS respectivamente), nos confirman que en el embalse se lleva a cabo una elevada remineralización de los nutrientes durante la época de estratificación en el fondo del embalse.

Los nitritos fueron muy escasos debido a que ésta es una especie transitoria de la nitrificación y de la amonificación (o paso de N-NO_2^- a amonio, respectivamente). Los nitratos son menos abundantes en el fondo debido a que han sido reducidos, pues -junto con los sulfatos- juegan un importante papel como fuente de oxígeno durante los meses de estratificación, por el agotamiento del oxígeno y la remineralización de la materia orgánica (Olvera *et al.*, 1998, Monroy, 2004)

En la figura 4 se observa que a las 9:15 se registraron valores de 30 a 68 μM de $\text{NO}_3^- + \text{N}$ nitratos (aunque en la gráfica se muestra el resultado de la suma de N_2NO_3^- , los valores por encima de 10 μM están dados por los nitratos, ya que -en comparación con los anteriores- los nitritos son muy escasos), lo cual puede deberse a que, de acuerdo con datos de la CNA (Ramírez-Zierold, com. pers.), el día 4 de octubre de 2002 se realizó una inyección de agua al embalse por el lado de la cortina procedente de la presa Colorines; esta inyección parece no sólo haber afectado la concentración de los nitratos, sino también la del oxígeno disuelto, el PRS (u ortofosfato), y el amonio (cerca del metalimnion) que registraron un ligero aumento durante esta hora (Figura 5).

El amonio en el hipolimnion no se ve afectado por el ingreso de agua debido a que los procesos biogeoquímicos del embalse (reciclamiento interno de los nutrientes) son más importantes que la carga externa (Ramírez J. *et al.*, 2002 y 2004).

Por ello, la entrada de agua procedente de la presa Colorines afecta de manera importante la concentración de los nutrientes en la zona cercana a la cortina (figura 5). Más que el efecto que podría tener el viento sobre el embalse al producir un aporte de agua de fondo rica en nutrientes o la erosión de la termoclina (atelmixis), parece ser esta inyección la determinante en permitir la aparición de otros grupos algales necesitados de concentraciones más equilibradas de nutrientes, básicamente P y N en el epilimnion. Esto se observa en el drástico aumento de la relación de Redfield posterior a la entrada de agua de Colorines, y que duró varias horas (Figura 6)

El embalse Valle de Bravo se ha clasificado como eutrófico temporal (CNA, 1998; Gaytán *et al.*, 2002; Olvera *et al.*, 1998) por los importantes aportes de nutrientes (P y N principalmente), que ocasionan el desarrollo de una alta productividad primaria, incluyendo florecimientos de cianobacterias durante el verano, ya sea por descargas del río Amanalco (y otros ríos), por descargas urbanas y por inyecciones de agua de las presas cercanas al embalse.

El fitoplancton requiere de nutrientes como el fósforo, nitrógeno y sílice para sobrevivir, además de elementos traza y otros elementos mayores, (Lampert y Sommer, 1997, Reynolds, 1986; Harris, 1986). La relación promedio entre C, P y N inorgánicos disueltos, necesaria para el crecimiento del fitoplancton, se conoce como relación de Redfield (Redfield, 1958), quien señala que se requieren 106C:16N:1P. El fósforo y el nitrógeno son los elementos que más limitan el crecimiento vegetal en los ecosistemas acuáticos (sin embargo, hay otros elementos que también pueden actuar como limitantes para algunos grupos, por ejemplo el sílice, que puede limitar el crecimiento de las diatomeas, o el hierro a diversos grupos fitoplanctónicos de aguas oligotróficas). Cuando la relación N:P es menor a la de Redfield (16), el elemento limitante es el Nitrógeno; como se observa en la Figura 6, durante este muestreo se manifestó en más de una ocasión que la relación N:P está por debajo de la proporción de Redfield, lo cual implica que se favorece un desarrollo de cianófitas capaces de fijar el nitrógeno atmosférico

cerca de la superficie del agua (o en el epilimnion)⁶; esta capacidad se ve mejorada por el hecho de que estas especies fijadoras de nitrógeno poseen además aerotopos y, por ello, presentan la capacidad de cambiar su posición en la capa de mezcla, incluyendo el descenso cerca de la termoclina, donde pueden tomar el fósforo disuelto y, por ello, tener ventaja sobre otras algas que no son capaces de realizar ninguna de estas dos funciones. (Lampert y Sommer, 1997; González – Ortaz, 1998; Harris, 1986; Reynolds, 1986; Reynolds, 1999; Smith y Bennett, 1999; Sommer, 1999).

Adicionalmente, la alta densidad observada de fitoplancton no sólo se debe al enriquecimiento de nutrientes, sino también al hecho de que la mayoría de las especies de cianobacterias capaces de producir florecimientos son resistentes al pastoreo del zooplancton, por presentar una morfología filamentosa o colonial, por sintetizar toxinas como un mecanismo de defensa o debido a que generalmente el zooplancton no puede coexistir en lugares con florecimientos de cianobacterias (Ramírez P. *et al.*, 2002; Margalef, 1983; Wetzel, 2001).

Así mismo, se observan valores superiores a 16 que indican una cantidad proporcionalmente menor de fósforo, pero debido a que estos periodos con diversas proporciones de nitrógeno y fósforo se alternan con periodos de N:P=16 en lapsos cortos de tiempo –producto de la inyección de agua desde Colorines- y debido a que las cianobacterias son capaces de formar heterocitos para fijar el nitrógeno atmosférico y que son más eficientes que las algas verdes en la absorción de fosfatos y bióxido de carbono a bajas concentraciones, esto les permite prevalecer sobre las otras especies (Krebs, 2000-1985; Lampert, 1981; Wetzel, 2001 y Margalef, 1983). Tal situación se ve reflejada en la alta densidad de organismos (células ml⁻¹) que durante este muestreo se registraron, llegando a superar las 100,000 células ml⁻¹ (principalmente de cianofíceas). Asimismo, las fluctuaciones en la relación N:P que se observan en la segunda parte del muestreo podrían relacionarse con la entrada de aguas, ya mencionada, procedente de la presa de Colorines.

⁶ La deficiencia de nitrógeno en el epilimnion favoreció el desarrollo de *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena charmichaelii*, *Anabaena aff. spiroides* y *anabaena* sp. durante este periodo. Sin embargo, *Cylindrospermopsis raciborskii* fue la única especie que mostró grandes abundancias (hasta 69 000 células ml⁻¹, ver lámina 1)

La dominancia de las especies mencionadas de cianofíceas y otras Clorofitas (como *Mougeotia/Debarya*, *Scenedesmus ecornis*, *Monoraphidium dybowskii* (entre otras, lámina 3. H, C, D, B, respectivamente) indican que el embalse tiene una condición eutrófica (Gaytán *et al.*, 2002; Margalef, 1983; Wetzel, 2001). Esta interpretación se refuerza con las densidades citadas, pues -de acuerdo con Margalef (1983)- en lagos verdaderamente eutróficos se rebasa fácilmente las 100,000 cél. ml⁻¹.

A pesar de la tendencia temporal a equilibrar la relación N:P por entrada de agua de Colorines, el hecho es que la cantidad de nutrientes incrementa. Por ello no es de extrañar que, con respecto a las especies determinadas, la división con mayor riqueza específica (número de especies) y densidades más elevadas fue la Cyanophyta -característica de aguas cargadas de nutrientes-, seguida de Chlorophyta, Pyrrophyta (Dinoflagelados y Cryptomonadales), Chromophyta, Chrysophyta, Euglenophyta y Xantophyta.

Esta dominancia de Cyanophyta y Chlorophyta concuerda con lo reportado por otros autores para el embalse Valle de Bravo y otros cuerpos de agua que poseen características similares a las de este embalse. (Gaytán *et al.*, 2002; Pérez, 2003; Ramírez J. *et al.*, 2002; Ramírez P. *et al.*, 2002; Valadez *et al.*, 2005; García-Tavera, 1998)

La especie más abundante durante este muestreo fue *Limnothrix redekei* (Lámina 1. D-E), la cual ha sido reportada para el embalse Valle de Bravo por Valadez *et al.* (2005); de acuerdo con Cronberg (2005) y Komárek *et al.* (2003), las especies pertenecientes a este género se pueden encontrar como pláncnicas en embalses meso- a eutróficos, aunque ambos autores hacen referencia a que principalmente se encuentran distribuidas en zonas templadas. Komárek (2005) menciona que se tienen registros de esta especie en regiones tropicales como Brasil, pero que deben ponerse en duda, por ser característicamente de zona templada. Se la considera una especie tóxica, debido a que puede contener microcistinas.

La segunda especie más abundante fue *Cylindrospermopsis raciborskii* (Lámina 1. A-C), la cual ha sido también reportada con anterioridad en Valle de Bravo por

Valadez *et al.* (2005), seguida de *Mougeotia* sp. (Lámina 3. H); esta última especie ha sido citada para el embalse Valle de Bravo desde 1980 por Deguchi *et al.*, (1980), Chávez (1986) y Franco (1981) y durante el año 2002 por Ramírez P. *et al.* (2002) y Gaytán *et al.* (2002).

Además de las cianofíceas antes mencionadas, se registraron con poca abundancia: *Woronichinia naegeliana*, *Anabaena charmichaelii*, *Anabaena aff. spiroides*, *Pseudoanabaena* sp., *Microcystis aeruginosa*, *Lyngbya birgei*, *Snowella lacustris*, *Aphanizomenon flos-aquae*; las últimas cuatro reportadas como dominantes y formando florecimientos algales, junto con *Limnothrix redekei* y *Cylindrospermopsis raciborskii* (ver Lámina 1), durante el periodo de estratificación en el embalse Valle de Bravo (Valadez *et al.*, 2005).

Las diatomeas encontradas durante este muestreo fueron *Cyclotella ocellata*, *Fragilaria crotonensis*, *Aulacoseira granulata*, *Synedra ulna*, *Urosolenia erinensis* y *Nitzschia* sp. Valadez *et al.* (2005) reportan -en un estudio realizado en los sedimentos y la columna de agua- a *Fragilaria crotonensis* en asociación con *Aulacoseira granulata*, *A. granulata var. curvata* y *Cyclotella ocellata*. Así mismo, mencionan que *Cyclotella ocellata* es abundante en la columna del agua sólo a fines de la estratificación y comienzo del periodo de mezcla, misma época en la que se realizó este estudio, por lo que se encontró más abundante que *Fragilaria crotonensis* y las demás especies de diatomeas; cabe mencionar que *A. granulata* se observó con una abundancia muy baja, lo cual concuerda con Valadez *et al.* (op. cit.), quienes la reportan como una especie con abundancia baja pero constante durante todo el año (ver lámina 2).

También se registraron, aunque escasas, la tetráspora *Paulchulzia tenera*, la Xantophyta *Pseudostaurastrum limneticum*, y la Cyanophyta *Cyanobacterium* sp., las cuales no se tomaron en cuenta en el análisis de este trabajo precisamente por ser raras; debido a sus muy bajas abundancias, son ecológicamente poco importantes, sin embargo, se mencionan en los resultados por ser taxonómicamente interesantes, ya que no se han registrado con anterioridad para el embalse Valle de Bravo.

8. Conclusiones

- El embalse Valle de Bravo aún se encontró estratificado a principios de octubre de 2002, de acuerdo con los perfiles observados de temperatura, oxígeno disuelto (OD) y nutrientes. Los nutrientes y el oxígeno presentan un comportamiento característico de la época de estratificación, con una acumulación de los primeros y un agotamiento del OD, debido a una alta concentración de materia orgánica en el fondo del embalse.
- La inferida inyección de agua de la presa Colorines aledaña al embalse, modificó las concentraciones de nitrógeno oxidado, oxígeno y PRS en el embalse.
- El amonio en el hipolimnion no se vio afectado por la inyección de agua, debido a que los procesos internos del embalse para este nutriente son más importantes que el aporte externo.
- Se registraron un total de 50 especies pertenecientes a 7 divisiones.
- La dominancia de Cyanophyta y Chlorophyta, así como la densidad de organismos, nos indica que el embalse se comportó como eutrófico durante el muestreo, correspondiente a las fases finales de la estratificación del embalse, previo a su mezcla de octubre.
- Las especies más abundantes durante este estudio fueron *Limnothrix redekei*, *Cylindrospermopsis raciborskii* y *Mougeotia/Debarya* sp.
- La aparición de diatomeas características de época de circulación vertical (como *Fragilaria crotonensis*) durante la fase final de estratificación, parece asociarse -más que con procesos de mezcla no comprobados en la zona cercana a la cortina y con un subsiguiente transporte en celda-, al reequilibrio temporal-puntual de la relación N:P por inyección de agua cargada de nutrientes, fundamentalmente N, procedente de Colorines.
- Se registraron por primera vez para el embalse Valle de Bravo la tetrasporal *Paulchulzia tenera*, la Xantophyta *Pseudostaurastrum limneticum* y la Cyanophyta *Cyanobacterium* sp.

9. LITERATURA CITADA

- Aguilar, S. A. V. 2003. *Aguas continentales y diversidad biológica de México*. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. México. 221 pp.
- Alcocer, J.; Escobar, E.; Marín, L.E. 2000. *Epicontinental aquatic system of Mexico in the context of hydrology, climate, geography and geology*. In: Munawar, M.; Lawrence, S. G.; Munawar I. F.; Malley, D.F. *Aquatic Ecosystems of Mexico. Status and Scope*. Backhuys Publisher. Leiden. The Netherlands. 435 pp.
- Alcocer, J.; Chávez, M; Escobar, E. 1993. La Limnología en México. Historia y perspectiva futura de las Investigaciones limnológicas. *Ciencia* 44: 441-453.
- Alcocer, J; Escobar, E. 1996. Limnological regionalization of Mexico. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 2: 55-69.
- Andrade, C.V.1995. *Fitoplancton de la zona litoral de la laguna Verde, Bonsencheve, Estado de México*. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. UNAM. México. 72 pp.
- APHA, AWWA, WPCF. 1992. *Métodos Normalizados para el análisis de Aguas potables y residuales*. Ediciones Díaz de Santos, S.A. España. 221 pp.
- Arcos, R. R.; Díaz, R. G.; Domínguez, R. A. 2002. *Comportamiento espacial de los parámetros físicos y químicos dentro de los canales chinamperos de Xochimilco en el periodo 2001– 2002*. II Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Limnología. Facultad de Ciencias UNAM. México. 9 pp.
- Armengol, J. 1982. Ecología del zooplancton de los embalses. *Mundo Científico*. 2(11):168-178 pp.
- Armengol, J.; Caputo, L. 2003. *Viento, Estabilidad Térmica y Ondas Internas: bases para una gestión de los embalses a corto plazo*. Conferencia del Tercer Taller y Primer Concurso Internacional de Eutrofización de Lagos y Embalses. Santiago de Chile. Red Temática de Eutrofización de Lagos y Embalses. VII-B.
- Arredondo, J.L.; Aguilar, C. 1987. *Bosquejo histórico de las investigaciones limnológicas realizadas en lagos mexicanos, con especial énfasis en su ictiofauna*. In: Gómez, S.; Arenas, V. *Contribuciones en Hidrobiología*. UNAM. México. 91-133 pp.
- Bassols-Batalla, A. 1977. *Recursos Naturales de México*. Nuestro Tiempo. México. 345 pp.
- Benassini, O. 1974. *Los recursos hidráulicos de México y su aprovechamiento racional*. In: de Cerna, Z; Mosiño, P. A.; Benassini, O. (Comps.). *El escenario geográfico. Introducción ecológica I*. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México. 306 pp.
- Buscaglia, C. G; Arnica, D. L. 2000. Modelado 3D de flujos turbulentos inducidos por viento en cuerpos de agua. [En línea] http://cabmec1.cnea.gov.ar/projects/scfa/mecom99_lake/node10.html
- Casterlin, M.E.; Wallace, R.W.; Lindquist, D.G.; Yarbrough, G.C. 1984. Algal and Physicochemical indicators of eutrofication in a lake harboring endemic species: Lake Waccamaw, North Carolina. *The Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society* 100(3):83-103.

- Chávez, A.M.M.; Vilaclara, F.G. 1992. *Datos para la regionalización limnológica mexicana*. I Encuentro de limnólogos Iberoamericanos. Sevilla. 14-20 pp.
- Chávez, A.M.M. 1986. *Contribución al conocimiento de la estructura y composición de las comunidades planctónicas de Valle de Bravo, Estado de México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias UNAM. México. 227 pp.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 1998. *Determinación de la población de peces en la presa Valle de Bravo, Edo México, con fines de manejo del embalse*. Convenio de colaboración con ACUAGRANJAS, Clave GT-308-GAVM-98-I.
- Comas G. A. 1996. *Las Chlorococcales dulciacuícolas de Cuba*. Cramer. Stuttgart, Berlín 192 pp.
- Cronberg, G. 2005. *Photo guide to Cyanobacteria workshop on biology and taxonomy of Cyanobacteria*. UNAM. México. 32 pp.
- Cuna, P.E.; Vilaclara, F.G.; Caballero, M.M. 2002. *Diatomeas de los lagos del Nevado de Toluca, México*. II Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Limnología. Facultad de Ciencias UNAM. México. Pág. 70.
- Deguchi, J.; Nakasawa, A.; Gutiérrez, C. 1980. Studies on inter-specific relation of fishies in the dam Valle de Bravo, Mexico, on the environment. *Bull. Coll. Agr. And Vet. Med. Univ.* 37: 154-259
- Ferrusquía-Villafranca, I. 1993. *Geology de México: A synopsis*. In: Ramamoorthy, T.P.; Bye, R.; Lot, A.; Fa, J. (Eds.). *Biological Diversity of Mexico, origins and distribution*. Oxford University Press, N.Y. 3-107 pp
- Franco, J. 1981 *Contribución al conocimiento de la estructura y composición de las comunidades planctónicas de Valle de Bravo, Edo. de Méx.* Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. UNAM. México. 90 pp.
- García, C.J.L. y De la Lanza, E.G. 2002. *Las aguas epicontinentales de México*. in: De la Lanza, E.G. y García, C.J.L. *Lagos y Presas de México*. AGT, Editor. México. 680 pp.
- García, R.J.; Tavera, R. 1998. Fitoplancton del Lago de Zempoala. *Bol. Soc. Bot. México* 63: 85-100
- Gaytán, H. M.; Oliva, M. M. G.; Ramírez, G. P.; Hurtado, B. D.; Ibarra, M. M. R.; Vilaclara, F. G.; Cuna, P. E. 2002. *Variación del fitoplancton de superficie del embalse Valle de Bravo, durante el período julio-diciembre del año 2000*. II Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Limnología. Facultad de Ciencias UNAM. México. Pág. 68.
- González, E. J.; Ortaz, M. 1998. Efectos del enriquecimiento con N y P sobre la comunidad del fitoplancton en microcosmos de un embalse tropical (La Mariposa, Venezuela). *Rev. Biol. Trop.* V. 46 n. 1 San José mar.
- Harris, G. P. 1986. *Phytoplankton Ecology, structure, function and fluctuation*. Chapman and Hall. London. 384 pp.
- Hill, J. B. 1967. *Tratado de Botánica*. Omega. Barcelona. 747 pp.

- Huber-Pestalozzi, G. 1968. *Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. 3 Teil Cryptophyceae, Chloromonadophyceae, Dinophyceae.* Stuttgart E. Schweizerbart, sche Verlagsbuchhandlung. 322 pp.
- Hutchinson, G.E. 1975. *A treatise on limnology.* Vol. II Introduction to lake biology and the limnoplankton. John Wiley and Sons, Inc. New York. 1115 pp.
- IDECA, 1999. *Estudio limnológico de la presa de Valle de Bravo, México.* Informe presentado a GRAVAMEX.
- IMTA, (1994, 1997, 1998). Informes de los proyectos RD-9412, RD-9716 y RD-9813, presentados a GRAVAMEX.
- INEGI (instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1995. *Estadísticas del medio ambiente.* México.
- John, D. M.; Whitton, B. A.; Brook, A. J. 2002. *The freshwater algal flora of the British Isles.* University Press, Cambridge. 702 pp.
- Komárek, J. y Anagnostidis, K. 1989. Modern approach to the classification system of Cyanophytes 4. Nostocales. *Arch. Hydrobiol. Suppl. Algological Etudies 56:* 247-345
- Komárek, J. y Anagnostidis, K. 1999. *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 19/1: Cyanoprokariota. 1 Teil: Chroococcales.* Gustav Fischer. Jena. 546 pp.
- Komárek, J.; Komárková, J.; Kling, H. 2003. *Filamentous Cyanobacteria.* In: Wehr, J.D.; Sheath, R.G. (Eds.). *Freshwater algae of North America. Academic Press. USA.* 117-196 pp.
- Komárek, J. y Anagnostidis, K. 2005. *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 19/2 Cyanoprokaryota. 2. Teil/2nd Part: Oscillatoriales.* Elsevier GmbH, München 759 pp.
- Krammer, K & H. Lange-Bertalot. 1986. *Suesswasserflora von Mitteln/Europa. Bacillariophyceae, 1 Teil: Naviculaceae.* Gustav Fischer verlag, Stuttgart, 440 pp.
- Krammer, K & H. Lange-Bertalot. 1988. *Suesswasserflora von Mitteln/Europa. Bacillariophyceae, 2 Teil: Epithemiaceae, Surerillaceae,* Band 2/2: Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 437 pp.
- Krammer, K & H. Lange-Bertalot. 1991. *Suesswasserflora von Mitteln/Europa. Bacillariophyceae, 3 Teil: Centrales, Fragilariceae, Eunotiaceae.* Gustav Fischer verlag, Stuttgart, 576 pp.
- Krebs, C. J. 2000-1985. *Ecología. Estudio de la distribución y la abundancia.* Oxford University Press. 753 pp.
- Kristiansen, J. y Preisig, H. [Eds.]. 2001. *Encyclopedia of Chrysophyte genera.* J. Crameer, Berlin, Germany.
- Lampert, W. 1981. Toxicity of the blue-green *Microcystis aeruginosa*: Effective defense mechanism against grazing pressure by *Daphnia*. *Verh Internat Verein Limnol.* 21: 1436-1440
- Lampert W. y Sommer U. 1997. *Limnoecology. The ecology of lakes and streams.* Oxford University Press. Oxford. 382 pp.
- Larelle, D. F y L. J. Duivenvoorden, 2000. A two-part model linking multidimensional environmental gradients and seasonal succession of phytoplankton assemblages. *Hydrobiologia.* 438:13-24

- Lewis, W. M. 1996. Tropical lakes: how latitude makes a difference. In F. Schiemer y K. T. Boland (Eds.). *Perspectives in tropical Limnology*. Academic Publishing by, Amsterdam, The Netherlands. 43-64 pp.
- Lewis, W. M. 1983. A revised Classification of Lakes Base on Mixing. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 1779-17787
- Lopéz, S.A. 1973. El relieve Kárstico de Valle de Bravo, Estado de México. *An. Inst. Geograf. México. Vol. 4:* 88-93.
- López, L. E.; Serna, J. A. 1999. Variación estacional del zooplancton del Embalse Ignacio Allende, Guanajuato, México y su relación con el fitoplancton y factores ambientales. *Rev. Biol. Trop.* 41(4):643-657.
- Magaña, M. P.A.; Cervantes, G. M. C. 2002. *Propuesta de un monitoreo rutinario para evaluar el estado trófico en lagos y embalses por medio de la comunidad fitoplánctica*. II Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Limnología. Facultad de Ciencias UNAM. México. Pág. 90
- Margalef, R.1995. *Ecología*. Omega. Barcelona, España.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona. 1010 pp.
- Martínez, P. J. 1985. *Introducción a la Protozoología*. Trillas. México. 207 pp.
- Martínez, R. E., 1998. *Determinación de ficotoxinas en la presa de Valle de Bravo*. CNA-IMTA.
- McNabb, C.D. 1960. Enumeration of freshwaterphytoplankton concentrated on the membrane filter. *Limnology & Oceanography* 11 (2): 143-170.
- Mendoza, G. A.; Huerta, M. L.; Flores, G. C. 1985. Estudio florístico del fitoplancton del Lago de Zirahuen, Michoacán México. *Phytología.* 59(1):1-8.
- Mendoza, G. 1985. Estudio ficológico estacional de la Laguna de Victoria o de Santiago Tilapia, México. *Phytología.* 58(7):479-487.
- Monroy, E., M. Merino, G. Vilaclara, S. Castillo, M. Gallegos y J. Ramírez. 2002. *Dinámica de nutrientes en un embalse tropical en eutrofización, Valle de Bravo, México*. Libro de Resúmenes del XI Congreso de la Asociación española de Limnología y III Reunión de Limnólogos Ibéricos, Madrid, España. Pág. XX.
- Monroy, E. 2004. *Hidrología de un embalse tropical en eutrofización, Valle de Bravo, México*. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología UNAM. México. 89 pp
- Moreno, J. L.; Licea, S.; Santoyo, H. 1996. *Diatomeas del Golfo de California*. Universidad Autónoma de Baja California Sur SEP-FOMES PROMARCO. México. 273 pp
- Naselli-Flores, L & R. Barone, 2000. Phytoplankton dynamics and structure: a comparative análisis in natural and man-made water bodies of different trophic state. *Hydrobiologia.* 438:65-74.
- Odum, E. P. 1985. *Fundamentos de Ecología*. Editorial Interamericana. México. 422 pp.
- Odum, E.P.1972.*Ecología*. 3ra edición. Editorial Interamericana. México. 639pp.
- Oliva, M. G.; Lugo, V. A.; Peralta, L.; Sánchez, M. R. 2001. Phytoplankton dinamic in a deep tropical lake. *Hydrobiología.* 466:299-306.

- Olvera, V. V. 1990. *Estudio de la eutrofización del embalse Valle de Bravo, México*. M. Sc. Disertación, Facultad de Ciencias UNAM. México. 87 pp.
- Olvera, V. V.; I. Bravo y C. Sánchez, 1993. *Limnología, monitoreo de Vibrio cholerae y manejo de la cuenca de la presa de Valle de Bravo, México*. Informe a GRAVAMEX.
- Olvera, V. V.; Bravo, I.L.; Sánchez, C.J. 1998. Aquatic ecology and management assessment in Valle de Bravo reservoir and its watershed. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 1:277-290.
- Ortega, M. M. 1984. *Catálogo de las algas continentales recientes de México*. UNAM. México. 566 pp.
- Ortega, M. M.; Godínez, J. L. 1994. Perspectivas de la ficología en México. *Bol. Soc. Bot. México* 55:115-122.
- Ortega, M. M.; Godínez, J. L.; Garduño, G. S.; Oliva, M. G. M. 1994. *Ficología de México*. Algas Continentales. AGT Editor. México. 221pp.
- Parra, O. O.; González, M.; Dellarossa, V.; Rivera, P.; Orellana, M. 1982. *Manual Taxonómico del Fitoplancton de Aguas Continentales*. Concepción. Universidad de Concepción. Chile. 99 pp.
- Pérez, M. L. A. 2003. *Chlorophytas epicontinentales de la faja volcánica transmexicana*. Tesis de Biólogo. Facultad de Estudios Superiores Iztacala UNAM. México.
- Ramírez, G. P.; Nandini, S.; Sarma, S.; Robles, E.; Cuesta, I. y Hurtado, D. 2002. Seasonal variations of zooplankton abundance in the freshwater reservoir Valle de Bravo (Mexico). *Hydrobiologia*. 00:1-10.
- Ramírez, Z. J.; Merino, I. M; Vilaclara, F. G.; Castillo, S. S.; Gallegos, M. M. y Monroy, R. E. 2002. *Variación espacio-temporal de nutrientes en el embalse eutrofizado de Valle de Bravo, Estado de México*. II Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Limnología. Facultad de Ciencias UNAM. México. Pág. 20.
- Ramírez, Z. J.; Merino, I. M; Monroy, R. E.; Olson, M.; Castillo, F. S.; Gallegos, M. E. y Vilaclara, G. 2004. *External loads and nutrient recycling in a tropical eutrophied reservoir, Valle de Bravo, México*. Congreso en España.
- Redfield, A. C. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *American Science* 49: 205-221.
- Reynolds, C.S. 1986. *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press. New York. 384 pp.
- Reynolds, C. S., 1989. *Physical determinants of phytoplankton succession*. In Sommer, U. (Ed.). *Plankton ecology: succession in plankton communities*. Springer-Verlag. 9-51.
- Reynolds, C.S.1999. Non –determinism to Probability, or N:P in the community ecology of phytoplankton. *Arch. Hydrobiology*. 146: 1 23-35
- Robbins, W.W. 1966. *Botánica*. Limusa. México. 608 pp.
- Round, F.E.1984. *The ecology of algae*. Cambridge University Press. London. 653 pp.
- Round, F.E.; Crawford, R.M. & Mann, D.G. 1990. *The diatoms. Biology and morphology of the genera*. Cambridge University Press, London.747 pp.
- Salmaso, N., 2000. Factors affecting the seasonality and distribution of cyanobacteria and chlorophytes: a case study from the large lakes south of the Alps, with special reference to Lake Garda. *Hydrobiologia*. 438:43-63

- Sánchez, R. M. R.; Acosta, J. A. A.; Cortés, G.H.; Castillo, R. J.M.; Lugo, V.A. 2002 *Caracterización limnológica del lago urbano del parque Tezozómoc, D.F.* II Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Limnología. UNAM. México. Pág.82.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1981. *Plan Nacional Hidráulico. Disponibilidad de Agua y Suelo.* Comisión Nacional del Plan Hidráulico. SARH. México.
- Scagel, R.F. 1987. *El Reino Vegetal.* Omega. Barcelona, España. 659 pp.
- Scagel, R.F. 1991. *Plantas no vasculares.* Omega. Barcelona. 548 pp.
- SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 1996. *Programa Hidráulico 1995-2000.* [En línea] <http://www.semarnap.gob.mx>
 - Sieburth J. McN., V. Smetacek and J. Lenz. 1978. Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnol. Oceanogr.* 23:1256-1263.
- Smith, V. H. & Bennett, S.J. 1999. Nitrogen: phosphorus supply ratios and phytoplankton community structure in lakes. *Arch. Hydrobiology* 146. 1 37-53.
- Sommer, U. 1999. A comment on the proper use of nutrient ratios in microalgal ecology. *Arch. Hydrobiology* 146 1 55-64.
- Tamayo, J. L. 1974. *Geografía moderna de México.* Editorial Trillas. México. 398 pp.
- Tell, G. y Conforti, V. 1986. *Biblioteca phycologica. Euglenophyta pigmentadas de la Argentina.* J. Cramer. Berlin-Stuttgart. 301 pp.
- Tinoco, J. R.; Atanacio, D. L. 1988. *Inventario Nacional de Cuerpos de Agua.* Informe de la Secretaría de Pesca (DGA). Pachuca, México.
- Turk, A.; Turk, J.; Wittes, J. T.; Wittes, R. E. 1988. *Tratado de Ecología.* Segunda edición Interamericana. México, D.F.
- Valeriano, R.M.E.; Ramírez, G.P.; Gaytán, H.M.L.; Oliva, M.M.G.; Ibarra M.M.R; Hurtado, B.M.D; Vilaclara, F.G. 2003. *Variación de las comunidades fitoplanctónicas del embalse de Valle de Bravo, Estado de México, durante enero a mayo del 2002.* XXII Coloquio de Investigación. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México.
- Valadez, F.; Oliva, G; Vilaclara, G.; Caballero, M.; Rodríguez, D. C. 2005. On the presence of *Stephanodiscus niagarae* Ehrenberg in central México. *Journal of Paleolimnology* (2005) 34: 147-157
- Vallentyne, J.R. 1979. *Introducción a la Limnología.* Omega. Barcelona. 195 pp. Checar capitulo
- Velásquez, L.; Ordaz, A. 1992. Provincias Hidrogeológicas de México. *Ingeniería Hidráulica en México* 7 (11): 36-55.

- Wehr, J.D. y Sheath, R.G. 2003. *Freshwater algae of North America*. Academic Press. USA. 422 pp.
- Wetzel, R. 1981. *Limnología*. Omega. Barcelona. España. 679 pp.
- Wetzel, R. 1983. *Limnology*. Second Edition. Saunders Collage Publishing. USA. 767 pp.
- Wetzel, R.G.; Likens, G.E. 1991. *Limnological Analyses*. Second Edition. Springer-Verlag. New York.
391 pp.
- Wetzel, R. 2001. *Limnology. Lake and river Ecosystems*. Academic Press, San Diego. 1006 pp.
- Xu, F-L.; Shu Tao, R: W: Dawson, Pen-Gang Li and Jun Cao, 2001. Lake Ecosystem health assessment: Indicators and Methods. *Wat. Res. Vol. 35*, No. 13, pp. 3157-31-67.

10. ANEXO 1

A continuación se cita la ubicación taxonómica y la descripción de los taxa registrados en este trabajo, tomando en cuenta los criterios de los siguientes autores: Komárek y Anagnostidis (1999), Cronberg (2005) y Wher and Sheath (2003) para Chroococcales, Prescott (1982) y Komárek (1989) Cronberg (2005), John *et al.* (2002) para Nostocales, Komárek y Anagnostidis (1989 y 2005) y Cronberg (2005) para Oscillatoriales. En la descripción de cada taxa, sólo se tomaron en cuenta a aquellos con una abundancia del 5% o más; adicionalmente, se han descrito algunas especies con más baja abundancia, pero importantes por algún otro aspecto.

División: **CYANOPHYTA o CIANOPROCARIOTA o CIANOBACTERIA**

Clase: CYANOPHYCEAE

Subclase: COCCOGONOPHYCIDAE

Orden: CHROOCOCCALES

Familia: Synechococcaceae

Subfamilia: Aphanothecoideae (Komárek et Anagnostidis 1995)

Género: *Cyanobacterium*

Especie: *Cyanobacterium* sp.

Células solitarias o en grupos de dos después de la división, ampliamente ovales, sin envoltura gelatinosa. Contenido celular homogéneo, sin diferenciación entre el centro y la periferia cuando se observa con microscopía óptica, aunque algunas veces se alcanza a observar una estriación longitudinal en el contenido celular. División celular en un solo plano, perpendicular al eje longitudinal en sucesivas generaciones (tipo *Synechococcus*), que da como resultado dos células isomorfas que crecen al tamaño original antes de la siguiente división (3.4-4.1 x 5.0-5.3 n=4) El contenido celular generalmente homogéneo hace que la especie de Valle se asemeje a *C. cedrorum*, pero ésta está descrita como aerófila (Komárek y Anagnostidis, 1999), ecología que no corresponde a nuestro ejemplar.

Subfamilia: SYNECHOCOCCOIDEAE

Género "*incertae saedis* ("¿*Dactylococcopsis*?")

Células solitarias, curvadas en "S" y fusiformes (con extremos puntiagudos); sin mucílago. División celular por fisión binaria en una sola dirección, perpendicular al

eje longitudinal de la célula (transversal) en sucesivas generaciones (característica que la ubica en esta familia y subfamilia). Células con contenido aparentemente homogéneo, donde no se aprecia ningún tipo de estructuras (ni organelos); además, la observación con microscopía de fluorescencia con filtro para resaltar cianobacterias (filtro CY3, microscopio óptico Leica), señaló la emisión de fluorescencia roja, típica de cianobacterias. Poseen una pared celular lisa y delgada. Tamaño de las células 9.0-21.7 μm x 0.6-1.5 μm (n=15, lámina 1. F-G).

Dentro de las Cyanophyta sólo el género *Myxobaktron*, descrito en Komárek y Anagnostidis (1999), se asemeja a estas células en la forma y modo de reproducción, con la diferencia de que las especies de *Myxobaktron* son de mayor tamaño y siempre rectas, nunca relativamente pequeñas y fuertemente sigmoideas como los ejemplares observados en Valle. En el mismo trabajo, Komárek y Anagnostidis hablan del género *Dactylococcopsis* y mencionan que erróneamente se ha interpretado como perteneciente a las Chroococcales, aunque realmente se trata de una especie eucarionte que pertenece a las Chlorococcales; sin embargo, las características que presentan los individuos de nuestra población no corresponden a las de una alga verde chlorococcal (no autoesporula, carece de la fluorescencia típica de éstas⁷); por tales razones, esta especie se colocó como *incertae sedis* en la misma Familia a la que pertenece *Myxobaktron*.

Familia: MERISMOPEDIAEAE

Subfamilia: MERISMOPEDIOIDEAE

Género: *MERISMOPEDIA*

Especie: *Merismopedia trolleri*

Colonias planctónicas, planas, frecuentemente rectangulares, a veces cuadradas, de (4) 8-16-32-64 (72-74-100?) células densamente arregladas. Mucílago hialino, formando un margen de aproximadamente 1 μm alrededor de las células. Las células tienen forma esférica u oval, hemisféricas después de la división, presentan varios aerotopos, aparentemente de tres a cuatro homogéneamente distribuidos en la célula. Reproducción por fisión binaria en dos planos perpendiculares uno del otro, en generaciones sucesivas.

⁷ A futuro, sería conveniente cultivar esta especie en el laboratorio y hacerle estudios ulteriores, como de microscopía electrónica de transmisión, etc.

Subfamilia: GHOMPHOSPHAERIOIDEAE

Genero: SNOWELLA

Especie: *Snowella septentrionalis* (Komárek et Hindák 1988)

Colonia microscópica planctónica, libre flotadora, solitaria, esférica, de ~ 34 µm de diámetro, rodeada por un mucílago fino, difluente, usualmente visible. En la colonia las células están ampliamente distribuidas cuando jóvenes y densamente cuando maduras, localizadas en las puntas de delgados tallos mucilaginosos (o ramificaciones) que parten desde el centro hacia la periferia de la colonia en forma radial y dicotómica. Células esféricas, después de la división hemisféricas, *in vivo* presentan un evidente aerotopo en la parte central de la célula, 1.8 – 4.3 µm de diámetro (n=15); tienden a presentarse en pares o incluso en tétradas (lámina 1. K).

Dentro de *S septentrionalis* se contó otra especie de *Snowella* (*Snowella* sp.), la cual presentó las siguientes características: una colonia de menor tamaño, esférica a elipsoidal, con células dispuestas separadamente cuando jóvenes y poco amontonadas cuando maduras, ya que -a diferencia de *S septentrionalis*- en ésta se observaban perfectamente bien las células y las ramificaciones (más delgadas), aun cuando se trataba de una colonia con un gran número de células. *Snowella* sp. fue muy poco abundante durante octubre del 2002.

Según Komárek y Anagnostidis (1999), *S septentrionalis* es planctónica y metafítica en lagos de zonas templadas como Canadá (también Wehr and Sheath, 2003 la mencionan para esta región) y Suecia.

Genero: WORONICHINIA

Especie: *Woronichinia naegeliana* (Unger) Elenkin 1933

Colonias microscópicas, esféricas cuando jóvenes, elipsoidales, lobadas, algunas veces compuestas por subcolonias cuando maduras, con células densa- y, radialmente arregladas en una monocapa periférica, ubicadas en el extremo exterior de ramificaciones tubulares gelatinosas, que son de la misma anchura que las células; el sistema de ramificaciones, tallos o pedúnculos tienen un arreglo radial, parten del centro de la colonia, que se observa difluente en colonias viejas; el mucílago que rodea la colonia es hialino, a veces está claramente delimitado y se observa ampliado más allá de la capa de la célula. Las células son ovoides o elipsoidales, con numerosos aerotopos; células de 3.6-5.4 x 1.8-3.6µm (n=20); la

reproducción se da por desintegración de la colonia y, especialmente, por liberación de células solitarias (las cuales son disparadas desde el tubo mucilaginoso hacia el exterior de la colonia).

Komárek y Anagnostidis (1999) señalan que las colonias pertenecientes a esta especie deben ser mayores de 180 μm de diámetro; sin embargo, en nuestra población apareció siempre como células solitarias, muy rara vez asociadas con sus colonias. Por tal motivo, se llegó a la determinación de la especie por la observación de colonias vacías, donde se apreciaron sus características ramificaciones tubulares, y porque las células resultaron idénticas a las encontradas en la colonias (observadas en otras muestras *in vivo* del mismo lugar, Vilaclara, com. pers.).

Las características ya descritas concuerdan con la especie *Woronichinia naegeliana* mencionada por Komárek y Anagnostidis (1999) y John *et al.* (2002), con la excepción de que las células son un poco más pequeñas en Valle de Bravo. También mencionan que *Woronichinia naegeliana* se presenta en lagos o estanques de moderadamente eutróficos a eutróficos, algunas veces formando florecimientos acuáticos, y que es cosmopolita. La única reserva a esta asignación es que Komárek y Anagnostidis (1999) dudan de que las observaciones en zonas tropicales sean verdaderamente esta especie, por más que en nuestro caso –y con base en observaciones hechas en material vivo que no pertenece a este trabajo (Vilaclara, com. per.)- claramente coincide con la especie y la descrita por Cronberg (2005), donde señala que esta especie es común en regiones templadas, pero que también puede encontrarse en los trópicos.

Subclase: HORMOGONOPHYCIDAE

Orden: NOSTOCALES

Familia: NOSTOCACEAE

Género: *CYLINDROSPERMOPSIS*

Especie: *Cylindrospermopsis raciborskii* Horecká and Komárek, 1979.

Filamentos planctónicos, solitarios, envueltos en una fina vaina hialina, rectos y algunas veces ligeramente curvados. Células cilíndricas, ligeramente constreñidas en la paredes divisorias, de 1.3-8.7 (22?) x 1.8-3.6 μm (n=30). Posee heterocitos en forma triangular en uno o ambos de los extremos de cada filamento. Acinetos

distribuidos en el último tercio del filamento y antes de los heterocitos o de la célula vegetativa terminal. Se observaron también acinetos sueltos y, en algunos casos, acompañados de heterocitos (lámina 1. A-C).

Cylindrospermopsis raciborskii es una especie que se encuentra en regiones tropicales o pantropicales, es común en cuerpos de agua eutróficos y se considera una cyanophyta tóxica, ya que produce la toxina cilindrospermopcina. En cuerpos de agua donde la relación de N/P es alta puede fácilmente confundirse con *Raphidiopsis mediterranea* (Cronberg, 2005) o con *Oscillatoria* por presentar los extremos finales del tricoma un poco más estrechos (John *et al.*, 2002).

Dentro del conteo de *Cylindrospermopsis raciborskii* también se contó *Aphanizomenon flos-aquae* debido a que los filamentos de *C. raciborskii* que no presentaron ni heterocitos ni acinetos son muy parecidos a los filamentos de *Aphanizomenon flos-aquae* que sólo eran claramente distinguibles cuando presentaban su heterocito y acineto muy característico de esta especie. John *et al.* (2002) mencionan que la morfología de *Aphanizomenon flos-aquae* es bastante parecida a la de *Cylindrospermopsis raciborskii*; este último es muy conocido en regiones tropicales, y en los últimos años se ha extendido en países de regiones templadas.

Orden: OSCILLATORIALES

Familia: PSEUDOANABAENACEAE

Género: *LIMNOTHRIX*

Especie: *Limnothrix redekei* (van Goor and Skuja) Anagnostidis and Komárek, 1988.

Tricomatos rectos, células generalmente de 1.8µm de ancho por 1.8-7.2µm de largo (n=30), de 3-7 veces más largas que anchas. Filamentos ligeramente constreñidos en la división entre las células, donde también se encuentran dos vacuolas de gas visibles a cada lado de la pared divisoria. La célula terminal es redondeada y carece de caliptra. Reproducción por desintegración del tricoma en hormogonios inmóviles, sin células necróticas (lámina 1. D-E).

Geitler (1932) menciona que esta especie es planctónica y se presenta junto con *Oscillatoria agardhii* y con *Aphanizomenon flos-aquae*, ésta última reportada en Valle de Bravo durante el muestreo.

Esta especie es común en lagos mesotróficos a eutróficos, y recientemente se le ha considerado como toxica por presentar microcistinas (Cronberg, 2005).

División: **CHLOROPHYTA**

Clase: CHLOROPHYCEAE

Subclase: ZYGOPHYCEAE

Orden: ZYGNEMATALES

Familia: ZYGNEMATACEAE

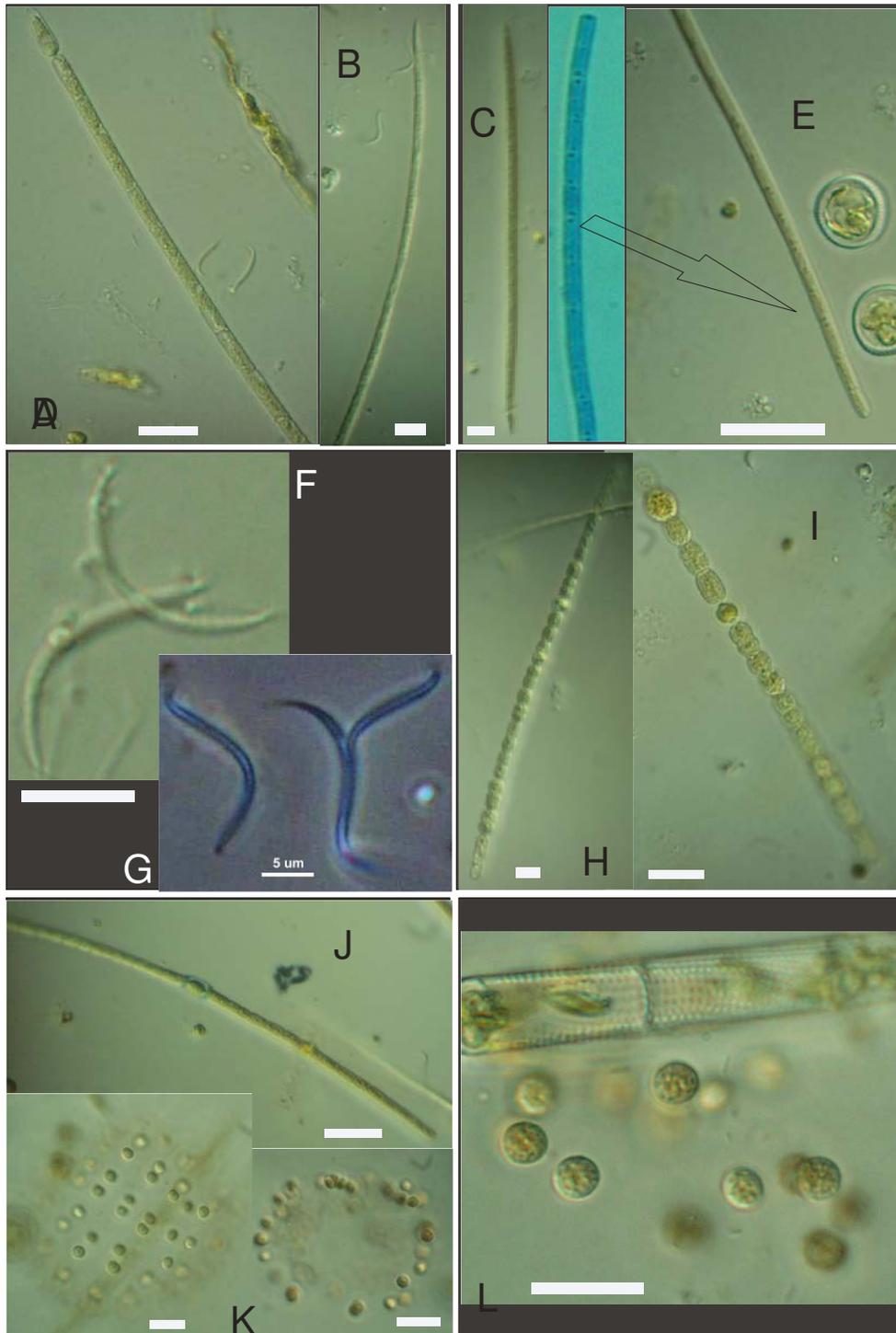
Género: *MOUGEOTIA*

Especie: *Mougeotia sp.*

Filamentos planctónicos, libres flotantes, delgados, cilíndricos, con paredes delgadas y lisas, con células cilíndricas unidas por septos lenticulares, más largas que anchas, Poseen un cloroplasto axial, a manera de una cinta, con varios pirenoides (generalmente de 3-4, aunque puede presentar hasta 6) ordenados en forma linear a lo largo del cloroplasto. Células de 40-90 µm de largo y de 3.3-5.5 (9) µm de ancho (n=20).

No se pudo determinar la especie –e incluso el género podría quedar en discusión, pues *Debarya* presenta los mismos morfotipos en fase vegetativa-, ya que aunque fue abundante, no se observaron estructuras de reproducción, lo cual se requiere para separar ambos géneros y para la identificación de las especies en cada uno de ellos (John *et al.*, 2002); así mismo, debido a que sus tallas variaron mucho encontrando células muy largas y delgadas o cortas y anchas, podría tratarse de 2 especies y no de una sola, habría que realizar un estudio más profundo para la determinación correcta de esta especie; aunque en el texto se mencione como *Mougeotia/Debarya* se decidió dejarla como *Mougeotia sp.* en la ubicación taxonómica, ya que es como se ha reportado por diferentes autores (lámina 3. H).

Aunque esta especie presentó abundancias menores al 5% durante este muestreo, se tomó en cuenta para la descripción, debido a que, junto con *Merismopedia trolleri*, *Cylindrospermopsis raciborskii* y *Limnothrix redekei* fueron las especies más abundantes durante este muestreo.



Lamina1. A) *Cylindrospermopsis raciborskii* con heterocito terminal, filamento (B) y en cada extremo del filamento un heterocito (C). D-E) *Limnothrix redekeii* se aprecian sus vacuolas de gas entre las paredes divisorias. F-G) *Dactylocoopsis* con forma sigmoideal y lunada. H-I) filamento de *Anabaena Charnichaeli* se observa su heterocito, acineto y las células terminales. J) *Aphanizomenon Flos-aquae* con heterocito y acineto en formación. K) colonias de *Snowella septentrionalis* donde se aprecia en sus células un aerotopo central. L) Colonia pequeña de *Microcystis aeruginosa* acompañada de *Aulacoseira granulata*. La barra equivale a 10 μ m.

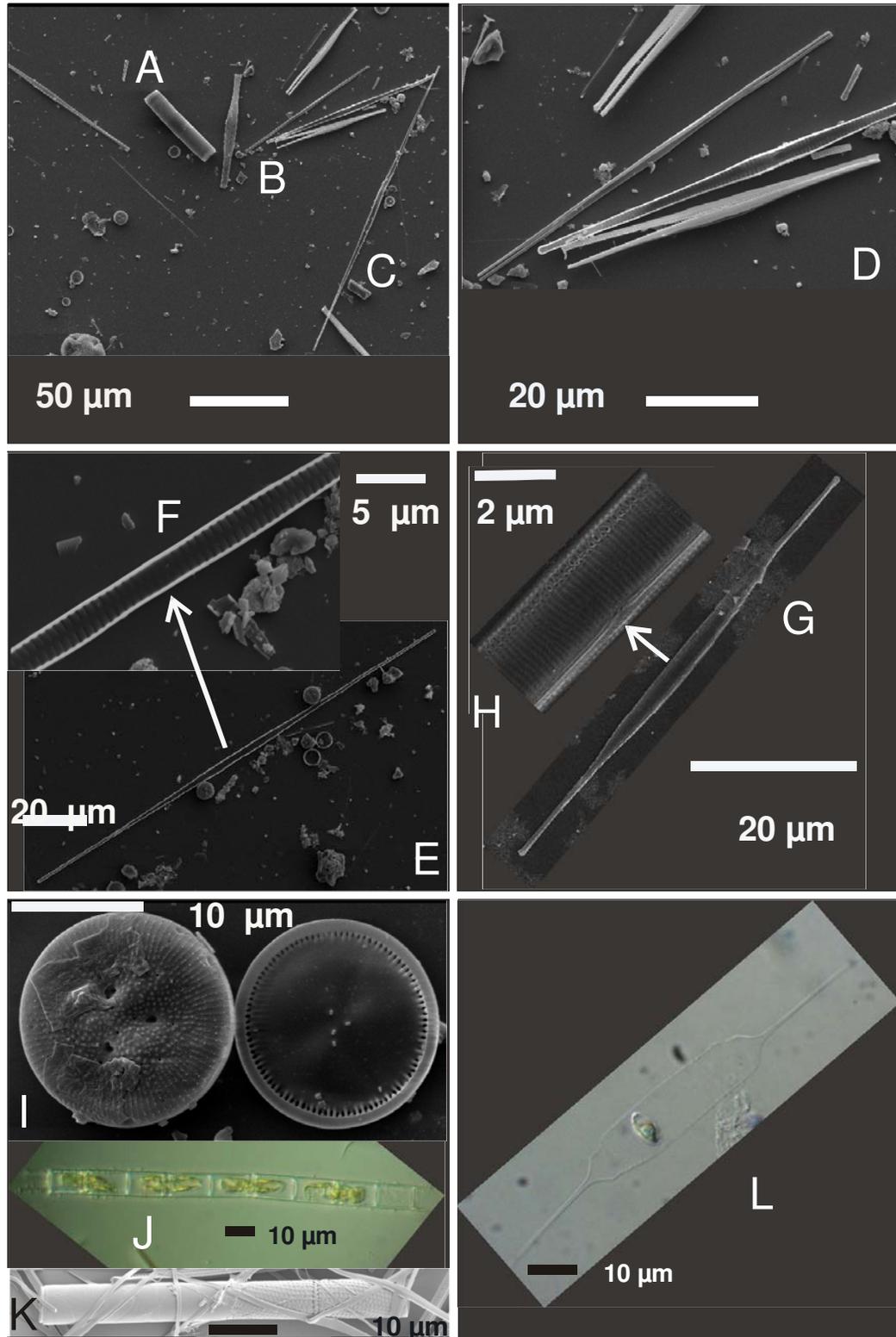
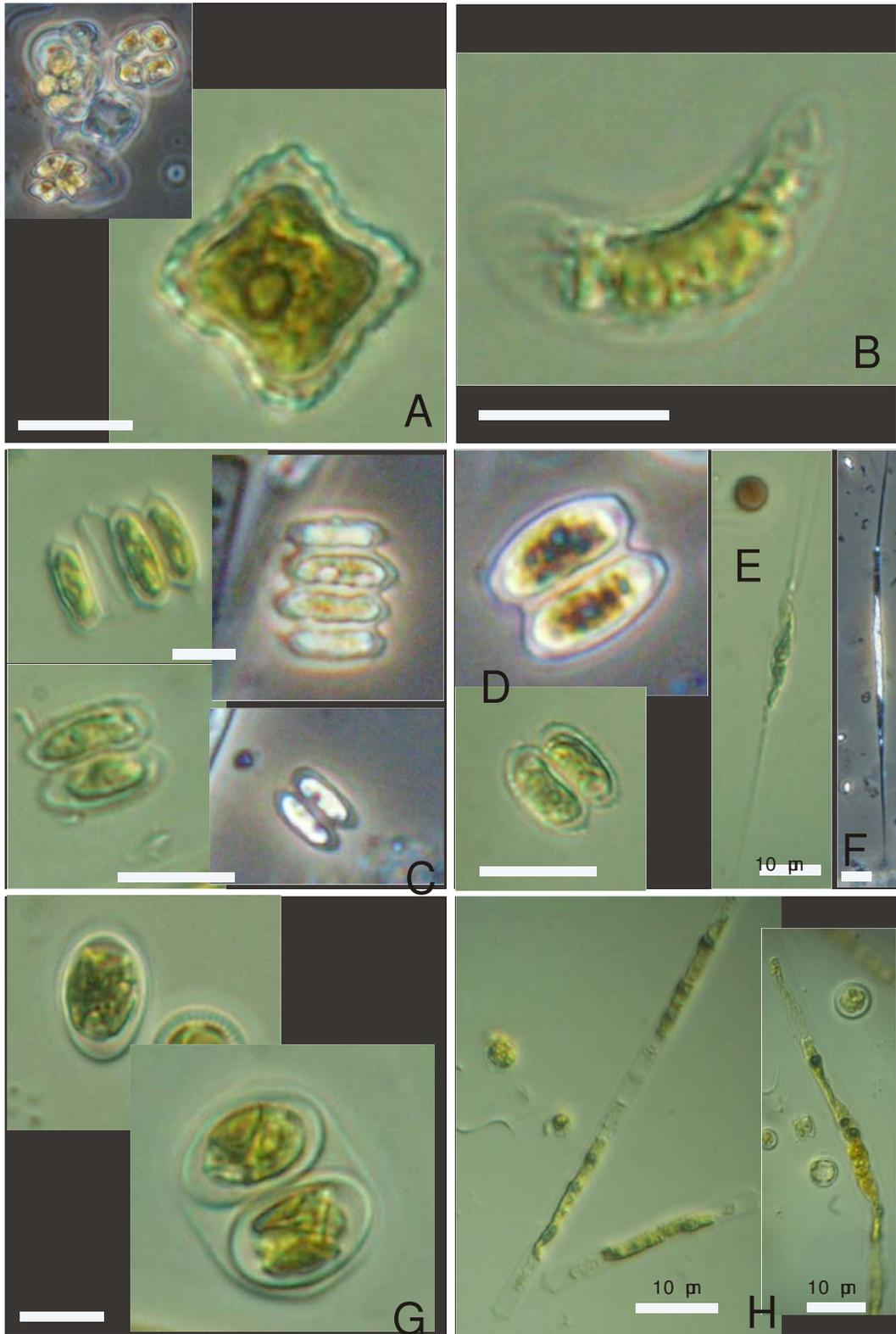


Lámina 2. A) *Aulacoseira granulata*, B) *Fragilaria crotonensis* y C) *Sinedra ulna* (fotografía con microscopio electrónico de barrido, MEB). D) vista valvar interna y externa de *Fragilaria crotonensis* (MEB). E-G) vista interna de la valva completa y el área central de *Sinedra ulna* y *Fragilaria crotonensis* (MEB). I) vista valvar externa e interna de *Cyclotella ocellata* (MEB). J-k) *Aulacoseira granulata*, cadena de células rectangulares (fotografía con microscopio invertido de luz transmitida, MI y MEB). L) *Urosolenia erinensis* (MI).



Lamina 2. A) *Tetraedr autoeön minimum*

porulando y célula adulta.

B) *Monoraphidium dybowskii*. C-D) varias especies de *Scenedesmus*, se observa la variedad de formas y ornamentaciones que presenta este género. E) *Schroederia setigera*. F) *Closterium aciculare*. G) *Oocystis marsonii* mostrando una célula adulta y dos células rodeadas aún por la pared materna. H) *Mougeotia* sp. La barra cuando no lo indica equivale a 5µm.(fotografías con microscopio invertido de luz transmitida, MI)