



*Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología*  
Universidad Nacional Autónoma de México



***Biomasa y composición del fitoplancton de un embalse tropical de altura: Valle de Bravo, México, de febrero a noviembre de 2002***

## **T E S I S**

que para obtener el grado académico de

### **MAESTRA EN CIENCIAS ( L I M N O L O G Í A )**

Presenta:

**BIÓL. IRINA CRUZ Y CRUZ**

Director de Tesis:	Dra. Gloria Vilaclara Fatjó
Comité Tutorial:	Dr. Martín Merino Ibarra Dra. Rosa Luz Tavera Sierra
Jurado:	Dr. Eberto Novelo Maldonado Dra. Elizabeth Ortega Mayagoitia

México, D. F.

Julio de 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.

## **AGRADECIMIENTOS:**

- A mi directora de tesis, Dra. Gloria Vilaclara Fatjó, así como a los miembros de mi comité tutorial: Dr. Martín Merino Ibarra y Dra. Rosa Luz Tavera Sierra, y a los miembros de mi jurado: Dr. Eberto Novelo Maldonado y Dra. Elizabeth Ortega Mayagoitia.
- A mis compañeros en el proyecto de Valle de Bravo:
  - El candidato a Dr. Jorge Ramírez Zierold, quien me proporcionó los datos de parámetros físico-químicos y nutrimentos empleados para el análisis del ambiente.
  - El M. en C. Emiliano Monroy, quien me proporcionó los gráficos de algunos descriptores hidrológicos para el ciclo continuo 2001-2002.
  - El Hidrobiól. Sergio Castillo por su apoyo en campo y en el laboratorio, así como en el análisis de nutrimentos.
- A la Dra. Gertrude Cronberg por su aportación en la parte taxonómica, particularmente en lo concerniente a cianoprocariontas.
- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca para estudios de maestría proporcionada de septiembre de 2001 a junio de 2003, con el registro de becaria 165915.
- Al Proyecto CONACYT–SEMANART número 2002-C01-1125, por la beca de proyecto de investigación para tesis de maestría proporcionada de febrero a julio de 2004.

Esta tesis formó parte de los siguientes proyectos:

- *Estudio integral del embalse Valle de Bravo para su manejo sustentable: un marco científico aplicable a los cuerpos de agua epicontinentales del país.* Proyecto CONACYT–SEMANART número 2002-C01-1125.
- *Procesos físicos y biogeoquímicos en el embalse tropical en proceso de eutrofización y su relación con florecimientos algales.* Proyecto PAPIIT No. IN207702

**Para BALAM y RAÚL**  
**CON AMOR...**

## ÍNDICE:

<b>Resumen</b> .....	1
<b>Introducción</b> .....	3
<b>Antecedentes</b> .....	7
<b>Hipótesis</b> .....	9
<b>Objetivos</b> .....	10
<b>Marco Teórico</b> .....	11
El fitoplancton de aguas dulces epicontinentales templadas y tropicales.....	11
Sucesión fitoplanctónica, florecimientos, eutrofización.....	13
<b>Área de estudio</b> .....	19
Morfología y batimetría.....	20
Clima.....	20
Hidrología.....	22
<b>Metodología</b> .....	25
Muestreos.....	25
Análisis de laboratorio.....	27
Análisis de gabinete.....	30
<b>Resultados</b> .....	33
I. Ambiente.....	33
I.1. Temperatura.....	33
I.2. Oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno.....	35
I.3. Profundidad de Secchi.....	37
I.4. pH.....	37
I.5. Nutrimentos.....	37
II. Clorofila-a.....	45
II.1. Concentraciones de clorofila-a por estación.....	45
II.2. Patrón de comportamiento general.....	45
III. Fitoplancton.....	48
III.1. Composición florística.....	48

III.2. Grupos y especies de algas.....	48
III.2.1. Definición de los grupos de algas.....	48
III.2.2. Los grupos y su fluctuación en densidad y biomasa.....	52
III.2.3. Principales especies de algas.....	56
IV. Análisis estadístico del fitoplancton y algunos parámetros limnológicos ....	65
<b>Discusión</b> .....	71
I. Ambiente.....	71
I.1. Parámetros físico-químicos.....	71
I.2. Nutrientes.....	74
II. Clorofila-a.....	77
III. Fitoplancton.....	78
III.1. Densidad y biomasa de los grupos de algas.....	78
III.2. Principales especies de algas.....	80
III.2.1. Cyanoprokaryota.....	80
III.2.2. Bacillariophyceae.....	89
III.2.3. Chlorophyta.....	89
III.2.4. Otros grupos.....	90
III.3. Análisis estadísticos.....	91
<b>Conclusiones</b> .....	93
<b>Literatura Citada</b> .....	95
<b>Apéndice 1:</b> Clasificación taxonómica de las especies de algas encontradas.....	105
<b>Apéndice 2:</b> Biomasa en $\mu\text{g ml}^{-1}$ y porcentaje de aporte a la biomasa total de cada grupo ecológico.....	145
<b>Apéndice 3:</b> Especies fitoplanctónicas y sus porcentajes de abundancia.....	147

**RESUMEN:**

El embalse de Valle de Bravo (tropical, de altura, monomítico cálido) para abastecimiento de agua potable, tiene problemas de eutrofización. Se analizaron la biomasa (clorofila *a*, peso fresco) y la composición del fitoplancton, relacionando sus cambios con descriptores limnológicos del sistema, de febrero a noviembre de 2002. Los muestreos fueron quincenales y mensuales; los datos de nutrimentos los aportó un trabajo paralelo; la clorofila *a* se determinó por espectrofotometría en cinco estaciones; el recuento de fitoplancton se hizo para una estación de la cabeza con el método de Utermöhl; la identificación fue *in vivo* y en muestras fijadas. La estratificación duró de marzo-octubre; temperatura: 18-24 grados centígrados; profundidad de Secchi: 1.3 m en estratificación, 4.1 m en mezcla. Durante la estratificación: epilimnion con sobresaturación de oxígeno, hipolimnion anóxico durante 7 meses; nutrimentos escasos en epilimnion y abundantes en hipolimnion; nitrógeno limitante de la producción primaria al menos en dos ocasiones registradas. La clorofila *a* fue muy variable, habiendo mayores concentraciones en estratificación. La composición específica del fitoplancton fue: en mezcla, diatomeas (*F. crotonensis*), desmidiales (*St. muticum*), dinoflageladas (*C. hirundinella*) y Chlorococcales; en la estratificación hubo cambios de composición de Chlorococcales y Chroococcales (*Microcystis* spp.) al inicio, hacia Nostocales (*Anabaena* spp., *C. raciborskii*) y Oscillatoriales (*G. aff. amphibium*) en el clímax y la estratificación tardía. El comportamiento hidrológico del embalse fue el de un cuerpo de agua monomítico cálido, eutrófico, con limitación por nitrógeno durante la estratificación y presencia de cianoprocariontas potencialmente tóxicas.

## INTRODUCCIÓN

La eutrofización ha demostrado ser una de las más extendidas y serias perturbaciones antropogénicas sobre los cuerpos de agua epicontinentales, siendo actualmente un problema de orden mundial. Las actividades humanas han repercutido en los ecosistemas acuáticos de manera negativa en términos generales, puesto que la alteración directa o indirecta de su estructura biológica provoca cambios en la salud<sup>1</sup> ecosistémica (Xu *et al.*, 2001). La suma de tales perturbaciones amenaza el equilibrio ecológico global y con él la disponibilidad de recursos para las comunidades humanas. Por otra parte, para ayudar a contrarrestar los efectos negativos del impacto antropogénico se proponen la administración y usos adecuados de los ecosistemas, lo que implica un conocimiento tal que permita comprender e inferir su comportamiento (Shoemaker, 1977), lo que a su vez ayudaría a elucidar cómo éste puede ser modificado o inducido en algún sentido. En el nivel individual, dichos estudios comúnmente se restringen a algunos de los componentes del ecosistema acuático, siendo importante en los procesos de eutrofización la fracción del fitoplancton o productores primarios suspendidos en la columna (Margalef, 1983; Trifonova, 1989), particularmente debido a que los florecimientos de cianoprocariontas<sup>2</sup> son una consecuencia frecuente e indeseada de dichos procesos (Lampert y Sommer, 1997; Ferber, *et al.*, 2004), dado que el incremento en las concentraciones de nutrientes favorece su proliferación mientras que la presencia de otros grupos algales (crisofitas, criptofitas, clorofitas y diatomeas) disminuye (Skulberg, *et al.*,

---

<sup>1</sup> Entendiendo como un “ecosistema saludable” –de acuerdo con Costanza, 1992 (in Xu, *et al.*, 2001)– a aquel que presenta: (1) homeostasis [la capacidad de autorregulación del sistema]; (2) ausencia de enfermedad [el funcionamiento no desviado de las condiciones de equilibrio]; (3) diversidad o complejidad [relaciones numerosas entre los componentes de la comunidad]; (4) estabilidad o resiliencia [capacidad de mantener y/o retornar, después de una perturbación, a las condiciones de equilibrio]; (5) vigor o alcance para el crecimiento y (6) balance entre los componentes del sistema

<sup>2</sup> La denominación para este grupo es variable, encontrándose como **Cyanophyta** en la nomenclatura tradicional botánica, **Cyanobacteria** en la nomenclatura aceptada generalmente en microbiología y limnología, y como **Cyanoprocarionta**, término introducido por Komárek (véase e. g. Komárek *et al.* 2003). Para este trabajo se optó por emplear esta última denominación, por considerar que describe adecuadamente al grupo, sin entrar en conflicto con las denominaciones botánica y microbiológica.

1984, *In* Beyruth, 2000; Watson, McCauley y Downing, 1997, *In* Ferber, *et al.*, 2004). Algunas de las “algas problema” son las Nostocales *Anabaena* y *Aphanizomenon*, así como géneros de otros órdenes, como *Microcystis*, *Limnothrix* y *Planktothrix* (Lampert y Sommer, 1997).

Las natas superficiales que se forman durante los florecimientos de cianoprocariontas suelen tener aspecto desagradable, mal olor y algunas poblaciones pueden ser tóxicas o provocar reacciones alérgicas (Reynolds, 1984, *In* Ferber, *et al.*, 2004; Lampert y Sommer, 1997). Tales condiciones implican riesgos en el aprovechamiento de cualquier cuerpo de agua, particularmente como reservorio de agua potable, aunque también en su empleo como fuente de alimentos (pesca) y para actividades recreativas, lo que además implica repercusiones negativas en la economía local, dado que las toxinas producidas por algunas cianoprocariontas son un peligro de salud pública.

En México, el problema de la eutrofización de las aguas epicontinentales es de consideración: el análisis nacional de aguas superficiales de 1994 –realizado por la Red Nacional de Monitoreo, organismo dependiente de la Comisión Nacional del Agua (CNA)– informó que, de las aguas analizadas, el 18% se valoró como excesivamente contaminadas, el 68% contaminadas a muy contaminadas y el 7% no contaminadas (INEGI, 1996).

En este contexto se inscribe el presente trabajo, que forma parte del proyecto *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*. (Merino *et al.* 2002a. Proyecto aprobado por CONACYT-SEMARNAT en 2003, número CO1-1125), el cual ha perseguido comprender la estructura y funcionamiento de la presa de Valle de Bravo, Edo. de Méx., con el propósito de plantear futuras estrategias de manejo. Considerando que la composición cualitativa y cuantitativa, así como la distribución temporal del fitoplancton, pueden ser indicadores aproximados de las condiciones del sistema en que se encuentran –e. g. concentración de nutrimentos, mezcla turbulenta y efectos en la red trófica, por ser la base de ésta en los cuerpos de agua

(Reynolds, 1984; Trifonova, 1988, *In* Thompson y Rhee, 1994; Naselli y Barone, 2000)–, es de importancia fundamental entender su composición y su dinámica.

El embalse de Valle de Bravo es un cuerpo de agua ubicado en la región central de México, con problemas de eutrofización y florecimientos de cianoprocariontas, cuya importancia radica en que es la represa de mayor tamaño del sistema Cutzamala, el cual abastece alrededor del 30% del agua potable que llega a la Cuenca de México (SARH, 1979).

El objetivo principal de esta investigación fue caracterizar al fitoplancton del embalse de Valle de Bravo con relación a algunos aspectos limnológicos (e. g. temperatura, transparencia, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno, pH y nutrimentos) de Febrero a Noviembre de 2002, abarcando la época de estratificación, período en el que se ha reportado abundancia de cianoprocariontas (Olvera *et al.*, 1993; Merino *et al.* 2002b).

## ANTECEDENTES

Las ya mencionadas condiciones de contaminación de una parte importante de las aguas epicontinentales en nuestro país es, en gran medida, consecuencia de la contaminación antropogénica por aguas de desecho domésticas e industriales y por la lixiviación de fertilizantes agrícolas, lo que promueve procesos de eutrofización en muchos cuerpos de agua, debidos principalmente al aumento de nutrimentos como el fósforo, el cual se reconoce generalmente como el factor con mayor peso que incide en la biomasa del fitoplancton en aguas continentales (Dillon *et al.*, 1978; Reynolds, 1984; Herat, 1997, *In* Salvia, *et al.*, 2001).

Uno de los cuerpos de agua con problemas de eutrofización es el de Valle de Bravo, parte del Sistema Cutzamala que abastece de agua potable a la Cuenca de México (SARH, 1979), habiendo sido clasificado como meso- a eutrófico desde 1990 (Olvera, 1990; IDECA, 1999; Martínez *et al.*, 2001). Adicionalmente a las descargas de aguas residuales saturadas de nutrimentos que recibe, entre 1991 y 1992 se sumergió hacia el fondo gran parte de la biomasa del lirio existente (*Eicchornia crassipes*, Olvera, *et al.*, 1993), lo que aumentó la carga orgánica, ocasionando que el hipolimnion se volviera anóxico a partir de entonces (Merino, *et al.*, 2002b).

En el embalse de Valle de Bravo se han realizado diversos estudios; entre los más relacionados con el presente trabajo se encuentran: Olvera (1990) efectuó un estudio en el que aplicó un modelo y una ecuación empírica para lagos cálidos, clasificando al embalse como *mesotrófico*; Olvera (1996) hizo un estudio limnológico y de manejo de la cuenca del embalse, clasificándolo como *eutrófico*; Ibarra (1997) analizó el plancton (fito- y zooplancton), correlacionándolo con variables fisico-químicas y proponiendo asociaciones de especies indicadoras, clasificándolo como *eutrófico*. Adicionalmente, con el apoyo de la CNA se han realizado estudios de evaluación de la calidad del agua (IMTA 1994, 1997, 1998; Olvera *et al.*, 1993; IDECA, 1999), de aspectos biológicos del sistema (Ramírez *et al.*, 2001), o de estudios toxicológicos del agua (Martínez *et al.*, 1998).

Uno de los problemas característicos de la eutrofia son los florecimientos masivos de cianoprocariontas, que causan diversidad de complicaciones tales como: problemas de calidad organoléptica del agua, reducción de la capacidad y eficiencia de filtración de los sistemas de tratamiento, restricción del uso recreativo del cuerpo de agua, generación de anoxia en las aguas hipolimnéticas, etc. (Speziale & Dyck, 1992; Gross & Martin, 1996; Paerl, 1996, *In Mastin et al.*, 2002). También se les ha vinculado con envenenamientos de fauna y humanos (Carmichael & Bent, 1981; Nizan *et al.*, 1986; Texeira *et al.*, 1993; Jochimsen *et al.*, 1998 *In Mastin, et al.*, 2002), ya que sus toxinas producen mortalidad directa y letalidad indirecta. En ambientes tropicales y subtropicales eutróficos particularmente, la sucesión fitoplanctónica tiende hacia la dominancia de cianoprocariontas con frecuentes florecimientos favorecidos por las condiciones climáticas (Azevedo *et al.*, 1994; Rocha *et al.*, 1997, *in* Beyruth, 2000).

A partir de la información recabada, el embalse de Valle de Bravo comparte tales características. De acuerdo con un estudio de Martínez *et al.* (1998), en julio de 1998 habría tenido lugar un florecimiento dominado por cianoprocariontas, de las cuales el género más abundante, *Anabaena*, habría presentado poblaciones productoras de anatoxina-a, una neurotoxina que habría alcanzado concentraciones cercanas a las valoradas como de intoxicación aguda. Adicionalmente al trabajo citado, la gente del lugar describe irritaciones en piel y mucosas al contacto con el agua de la presa, enfermedades gastrointestinales si llega a ingerirse, así como problemas de mal olor, aspecto desagradable y desaparición de organismos antes abundantes.

Para entender el origen de los florecimientos fitoplanctónicos y adquirir elementos que permitan hacer inferencias acerca de cuándo y cómo se darán, así como los efectos que sobre estos procesos podrían tener diferentes actividades de restauración o de utilización del embalse, es necesario conocer la distribución temporal de las especies de algas y observar cómo cambian simultáneamente las variables limnológicas importantes (Merino, *et al.* 2002a).

## HIPÓTESIS:

1. Al ser el embalse de Valle de Bravo un cuerpo de agua *monomítico cálido*, meso- a eutrófico, con una época de mezcla (noviembre a febrero) y otra de estratificación (marzo-octubre) en la que los nutrientes se agotan en la capa de mezcla y la relación N:P tiende a ser inferior a 16, se espera que la composición cualitativa y cuantitativa del fitoplancton varíe de acuerdo con:
  - a) La dinámica térmica del embalse, presentándose especies propias de mezcla (e. g. diatomeas pláncónicas) o estratificación (e. g. cianoprocariontas).
  - b) Las oscilaciones en el nivel trófico<sup>1</sup> (fluctuaciones en la dinámica biogeoquímica del sistema), identificándose las especies presentes como afines a la meso- o eutrofia, según la variación de los descriptores limnológicos para el período correspondiente.

---

<sup>1</sup> Esto, entendiendo a la eutrofización como un proceso antes que como un estado trófico (Andersen, *et al.*, 2006), cuya definición podría ser: "el enriquecimiento del agua por nutrientes, especialmente nitrógeno y/o fósforo y materia orgánica, causando un aumento del crecimiento de algas y formas superiores de vida vegetal para producir una desviación inaceptable en la estructura, función y estabilidad de organismos presentes en el agua y para la calidad del agua en cuestión, comparada con las condiciones de referencia" (Andersen, *et al.*, 2006), sin dejar de observar que, si bien para el embalse de Valle de Bravo no se ha establecido aún una 'condición de referencia', puede sostenerse que hay 'desviaciones inaceptables' en 'los valores de los elementos de calidad biológica', dado que muestra acentuados niveles de alteración antropogénica debidos principalmente a las descargas de aguas residuales (ver antecedentes).

### **OBJETIVO GENERAL:**

Caracterizar la biomasa y composición del fitoplancton en una estación cercana a la cortina del embalse tropical de altura Valle de Bravo, durante un ciclo de fin de mezcla - estratificación - inicio de mezcla (de febrero a noviembre de 2002) con relación a la dinámica térmica y biogeoquímica del sistema.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

En una estación representativa de la cabeza del embalse, se propuso:

- a) Estimar la biomasa del fitoplancton mediante el análisis de clorofila *a*, así como sus cambios a través del tiempo de duración del estudio, en las estaciones seleccionadas con dos profundidades en la zona fótica (1 y 4 m) y una en la afótica (20 m)
- b) Determinar la distribución cualitativa y cuantitativa (por biomasa en peso fresco y densidad) del fitoplancton a dos profundidades (4 y 20 m).
- c) Relacionar la distribución y biomasa del fitoplancton con los parámetros limnológicos básicos del sistema: temperatura, transparencia por disco de Secchi, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, pH y nutrientes (fósforo reactivo disuelto, nitratos, nitritos y amonio).
- d) Integrar la información física y biogeoquímica generada por el grupo de trabajo de Valle de Bravo, con el fin de reconocer posibles mecanismos relacionados con la dominancia de los diversos grupos fitoplanctónicos durante el lapso de estudio.

## MARCO TEÓRICO

### ***El fitoplancton de aguas dulces epicontinentales templadas y tropicales***

El plancton comprende a los organismos que viven suspendidos en las aguas y que se mueven o trasladan a merced de los movimientos de las masas de agua o de las corrientes; generalmente son organismos microscópicos. El **fitoplancton** es la fracción del plancton formada por organismos autótrofos con fotosíntesis generadora de oxígeno (fotosistemas I y II, Margalef, 1983). La estructura de la comunidad del fitoplancton es resultado de una respuesta adaptativa a las condiciones prevalecientes en su medio (Odum *et al.*, 1988). En el estudio de los embalses, el fitoplancton es de interés como uno de los agentes principales de intercambio químico, que dirige rutas de circulación de diversos elementos importantes; es un componente mayor de las partículas suspendidas y en consecuencia incide en la calidad del agua, por lo que se le considera un buen índice del estado trófico; también es sensible al tiempo de residencia del agua. En combinación con el perifiton y la vegetación macrófita, es la base de la producción acuática primaria o fotosintética que, junto con las fuentes alóctonas y detríticas de sustancias orgánicas, sostienen a toda la cadena trófica (Talling, 1989).

Entre los grupos más importantes pertenecientes al fitoplancton se encuentran las cianoprocariontas, las clorofitas, las euglenofitas, los dinoflagelados y las diatomeas. En aguas oceánicas, desde el punto de vista de producción y debido a que se distribuyen por toda la zona fótica, las diatomeas y dinoflagelados se consideran los productores más importantes, ya que originan la mayor cantidad de materia orgánica (Odum *et al.*, 1988), siendo por esta razón los pilares del ecosistema. Sin embargo, en los sistemas acuáticos continentales se presentan condiciones similares sólo en aguas de productividad media a baja (Margalef, 1983; Vilaclara, 1989), desarrollándose como fracción más importante en aguas eutróficas las cianoprocariontas y las clorofitas.

En lagos templados y tropicales, la composición específica del fitoplancton está determinada por los procesos de estratificación y mezcla y por la disponibilidad de nutrientes –estado trófico– (Reynolds, 1997; Reynolds, 1980, *In*

Larelle y Duivenvoorden, 2000; Teubner, 2003), los que, a su vez, se encuentran influidos por varias propiedades del cuerpo de agua (e. g. morfología, hidrología o localización climática) y en conjunto pueden favorecer distintas estrategias de vida y composición (Salmaso, 2000). Otros factores importantes que inciden en la composición del fitoplancton son: la profundidad de la capa de mezcla, la absorción de la luz en la columna de agua, las relaciones con los iones hidrógeno (pH), la disponibilidad de carbono inorgánico (reserva alcalina) y las interacciones con otros organismos (e. g. herbivoría). Los cuerpos acuáticos se encuentran sujetos a variaciones estacionales y fluctuaciones en la temperatura, en las distribuciones de calor y frío y en la extensión de la capa mezclada por el viento; estos elementos tienen fuerte impacto en la capacidad de las algas para aumentar su biomasa, cuando son acompañados por ingresos de nutrientes hacia la zona fótica (Reynolds, 1989), los que generalmente son críticos en la regulación de la biomasa alcanzada, contribuyendo a la selección y a la eliminación competitiva de poblaciones específicas (Reynolds, 1997).

Aún cuando las proporciones de nutrientes disponibles en los inicios de la conformación de la comunidad pueden considerarse una guía valiosa para la exclusión competitiva durante los procesos de agrupación, la composición específica del fitoplancton no se encuentra, propiamente, controlada por tales proporciones, puesto que: a) la relación entre algún par de nutrientes es una consecuencia fortuita de la concentración absoluta de cada uno, que no interviene en las capacidades intrínsecas de captación de las algas, y b) los cambios en las proporciones son, en todo caso, el resultado de la disminución por el consumo y no los conductores de la respuesta algal (Reynolds, 1997, 1998).

En lagos tropicales, las fluctuaciones en el comportamiento de los parámetros limnológicos están determinadas por las temporadas de lluvias y secas, frías o cálidas, más que por las estaciones anuales templadas. Esto, y el hecho de que la insolación sea más prolongada y las temperaturas mínimas sean relativamente más altas, explica parcialmente que, en general, las variaciones de biomasa fitoplanctónica anuales sean menos drásticas en este tipo de lagos que

en los de regiones templadas y que la productividad primaria sea mayor en lagos tropicales que en lagos templados (Lewis, 1990).

Aún no se ha comprendido bien por qué ciertos tipos de algas son más favorecidos que otros por los cambios antropogénicos ambientales (Reynolds, 1999, *In* Salmaso, 2000); la identificación de los grupos de fitoplancton definidos puede verificarse probando su coherencia con los factores ecológicos dominantes identificados en diferentes cuerpos de agua (Salmaso, 2000).

### ***Sucesión fitoplanctónica, florecimientos, eutrofización.***

La composición del fitoplancton depende de la presencia y abundancia relativa de especies individuales; los cambios temporales en su composición son provocados por diferencias en las tasas relativas de aumento o disminución de cada población. Estas tasas responden a un complejo de interacciones entre varios factores ambientales físicos, químicos y biológicos, que operan con gran variedad de intensidades y frecuencias (Reynolds, 1989). Los cambios en la composición, en donde unas especies van siendo reemplazadas por otras a lo largo del tiempo, son denominados *sucesión*; la sucesión planctónica probablemente se desarrolla en lapsos tan breves como 10 a 30 días (Reynolds, 1997). En la ecología del fitoplancton lacustre pueden distinguirse dos tipos de sucesión: *sucesión general* (e. g. a través de grados de trofismo) relacionada con la evolución del lago, y *sucesión estacional* causada por la predominancia periódica de diferentes poblaciones de algas durante el ciclo anual (Trifonova, 1988). Los patrones de sucesión algal varían regionalmente como respuesta a condiciones ambientales locales. En regiones subtropicales, la luz se encuentra disponible durante todo el año y la sucesión estacional está fuertemente influida por vientos y lluvias. Los vientos generan alta turbulencia que puede aumentar la profundidad de la capa de mezcla e incluso conducir a la pérdida de la estratificación, produciendo la mezcla total, que provoca la recirculación de nutrientes y la resuspensión de las algas (Pollingher, 1986).

Para ayudar a comprender cómo y por qué se van dando los cambios estacionales en la composición del fitoplancton de aguas continentales, un grupo

de investigadores, el *Plankton Ecology Group* (PEG), propuso el *Modelo PEG de sucesión estacional de eventos planctónicos en aguas dulces*. Este modelo asume (Sommer, *et al.*, 1986) que en los cuerpos de agua de zonas templadas los eventos en el plancton no son caóticos ni aleatorios, sino que tienen un desarrollo estacional que es consecuencia predecible a partir de eventos previos y que, con un adecuado banco de datos de información y experiencias, pueden detectarse patrones comunes de secuencias de eventos que pueden ayudar a explicar y clarificar algunos mecanismos generales.

A *grosso modo*, el modelo de sucesión estacional del plancton del PEG (modificado de Sommer, *et al.*, 1986) describe los siguientes eventos principales a lo largo de un ciclo anual:

- a) *El pico primaveral de biomasa fitoplanctónica*. Al término del invierno, la disponibilidad de nutrientes (producto de la mezcla invernal), el incremento de luz y el aumento de la temperatura favorecen el crecimiento del fitoplancton. Hay crecimientos importantes de algas de tallas pequeñas con tasas de reproducción altas, como las criptofitas y diatomeas centrales, con diámetros inferiores a los 10-12  $\mu\text{m}$ . Este pico favorece la proliferación de zooplancton herbívoro de tamaño mediano a grande (rotíferos, cladóceros y, en cuerpos de agua más profundos, copépodos), cuyas poblaciones crecen en forma exponencial.
- b) *La fase clara*. Debido al pastoreo intensivo de los zooplanctontes sobre el fitoplancton, la biomasa fitoplanctónica disminuye rápidamente a niveles muy bajos, sobreviniendo la *fase clara*, en la que prácticamente no hay algas. Esta fase llega a término porque los nutrientes son reciclados por el proceso de herbivoría y van acumulándose; las especies de herbívoros decaen por la escasez de alimento, mientras que su depredación por peces acelera este proceso.
- c) *El crecimiento estival de fitoplancton*. Como consecuencia de la reducida presión por herbivoría y de la substancial concentración de nutrientes en el medio, se produce nuevamente un aumento significativo de la biomasa de fitoplancton durante el verano. La composición de éste se vuelve compleja

debido al aumento en la diversidad de especies y a la diversificación funcional de las especies pequeñas de bajo crecimiento (disponibles como alimento para los filtradores pequeños y, sobre todo, ciliados) y de las grandes (consumidas sólo por consumidores especializados).

d) *Los cambios de dominancia de clorofitas ? diatomeas planctónicas ? dinoflagelados/cianoprocariontas ? cianoprocariontas fijadoras de nitrógeno.* Al

inicio del crecimiento estival, predominan las criptofitas comestibles y las clorofitas coloniales, cuyo tamaño y capas de mucílago las hacen menos comestibles; ambas consumen el fósforo reactivo soluble hasta niveles prácticamente indetectables; como consecuencia, el crecimiento algal en el epilimnion se ve limitado por los nutrientes, lo que impide un crecimiento explosivo de algas “comestibles”. La disminución de nutrientes favorece el reemplazo por grandes dinoflagelados que, en general, son especies adaptadas a una menor concentración de nutrientes (Margalef, 1983) y/o cianoprocariontas. El agotamiento del nitrógeno en el medio favorece la aparición de cianoprocariontas filamentosas fijadoras de  $N_2$ . Muchas de las especies pertenecientes a las cianoprocariontas y clorofitas son filamentosas y en ciertas épocas del año proliferan de tal manera que los cuerpos de agua adquieren una coloración verdosa en la superficie, conocida como florecimiento (Odum, *et al.*, 1988).

e) *El declive de la biomasa algal en invierno.* La disminución de la energía luminosa entrando el invierno, provoca una producción primaria neta baja o negativa y una pérdida creciente de algas, lo que ocasiona una disminución de la biomasa algal hasta un mínimo invernal (lo que no aplicaría para zonas tropicales).

Este modelo ha sido propuesto fundamentalmente para lagos templados, profundos y someros, que combinan épocas de mezcla y estratificación, de distintos niveles tróficos (oligo-, meso- y eutróficos); ha sido comparado también con cuerpos de agua subtropicales. Sin embargo, no alcanza a explicar con

suficiencia lo que sucede en algunas regiones (e. g., cuerpos de agua tropicales) o lo que ocurre en los sistemas acuáticos eutróficos. La ausencia de un modelo ampliamente reconocido que ajuste adecuadamente la sucesión estacional en los cuerpos de agua de diferente estado trófico refleja la respuesta diferente de los ciclos de vida de los organismos a la adaptación de diferentes condiciones morfométricas, hidrológicas y climáticas (Salmaso, 2000).

En algunos lagos mexicanos, como Atexcac (con una profundidad máxima similar a la de Valle de Bravo, pero oligotrófico y con una mayor mineralización, Macek *et al.*, 1994), la sucesión se da desde un pico de diatomeas planctónicas en la mezcla hasta un florecimiento de cianoprocariontas en el inicio de la estratificación, que son substituidas por clorofitas a medida que ésta avanza. Alchichica (oligo-mesotrófico, Oliva *et al.*, 2001) también presenta un pico de diatomeas en mezcla, seguido de un aumento en las Chlorococcales y de un pico de la cianoprocarionta *Nodularia cf. spumigena*. En cuerpos de agua eutróficos, las Chlorococcales se vuelven muy importantes y tienden a ser substituidas por cianoprocariontas a medida que aumenta el trofismo (Margalef 1983), disminuyendo correlativamente los demás grupos fitoplanctónicos.

La eutrofización o enriquecimiento del agua con aportes excesivos de nitrógeno y fósforo –independientemente de sus proporciones relativas– se asocia con el desarrollo y sostenimiento de florecimientos fitoplanctónicos en sistemas marinos y epicontinentales (Paerl y Ustach, 1982). El término eutrofización se refiere a la reacción biológica de los sistemas acuáticos al enriquecimiento por nutrimentos –principalmente el fósforo, que estimula el crecimiento del fitoplancton (Edmondson, 1969; Lund, 1969; Vollenweider and Kerekes, 1980, y otros, *In* Trifonova, 1988)–, cuya consecuencia eventual es el desarrollo de la producción primaria hasta proporciones desagradables desde el punto de vista antropocéntrico; los cambios en la cantidad y calidad de la comunidad de fitoplancton dependen de la extensión del enriquecimiento (Lampert y Sommer, 1997) y tienen lugar, además de en la biomasa y composición de las especies dominantes, en el tipo de sucesión estacional habitual (Trifonova, 1988).

La importancia ecológica del estudio del fitoplancton para monitorear la eutrofización de cuerpos de agua lénticos reside principalmente en el hecho de que los índices de su productividad son simultáneamente aquellos del estado trófico del cuerpo de agua (Trifonova, 1989). La correlación directa entre el aumento de la productividad fitoplanctónica y el contenido de fósforo total permite predicciones de los procesos de eutrofización en los estadios tempranos (Trifonova, 1989); el estado trófico de un cuerpo de agua puede ser caracterizado en términos de las concentraciones de nutrimentos, productividad y, a menudo, de la estructura de las comunidades biológicas (Thompson y Rhee, 1994).

Algunas algas fitoplanctónicas están más estrictamente vinculadas a un particular estado trófico (e. g. los dinoflagelados, en el epilimnion de cuerpos de agua mesotróficos) mientras que otras, incluyendo a las cianoprocariontas, se encuentran abarcando un amplio intervalo de condiciones tróficas (Naselli y Barone, 2000). Sin embargo, no sólo la cantidad sino también la calidad o especiación química de los nutrimentos puede influir en la composición del fitoplancton. Diversas especies de algas pueden emplear con diferente capacidad las fuentes de nutrimentos orgánicos e inorgánicos, mientras que las distintas formas de nitrógeno pueden estimular selectivamente el desarrollo de las especies algales dominantes (Berman y Chava, 1999, *In* Naselli y Barone, 2000).

En este tenor, Xu (1997b, *In* Xu *et al.*, 2001) concluyó que las respuestas estructurales en ecosistemas de aguas continentales al aumento en las concentraciones de nutrimentos fueron notables en términos de un aumento en el tamaño de células del fitoplancton y en la biomasa de fitoplancton y microzooplancton, así como una disminución en el tamaño del cuerpo del zooplancton<sup>2</sup>, biomasa y diversidad de especies de zooplancton y macrozooplancton, y en las relaciones zooplancton/fitoplancton y macrozooplancton/microzooplancton. En forma similar, un ecosistema “saludable” (menos productivo) puede ser caracterizado por el pequeño tamaño de las células

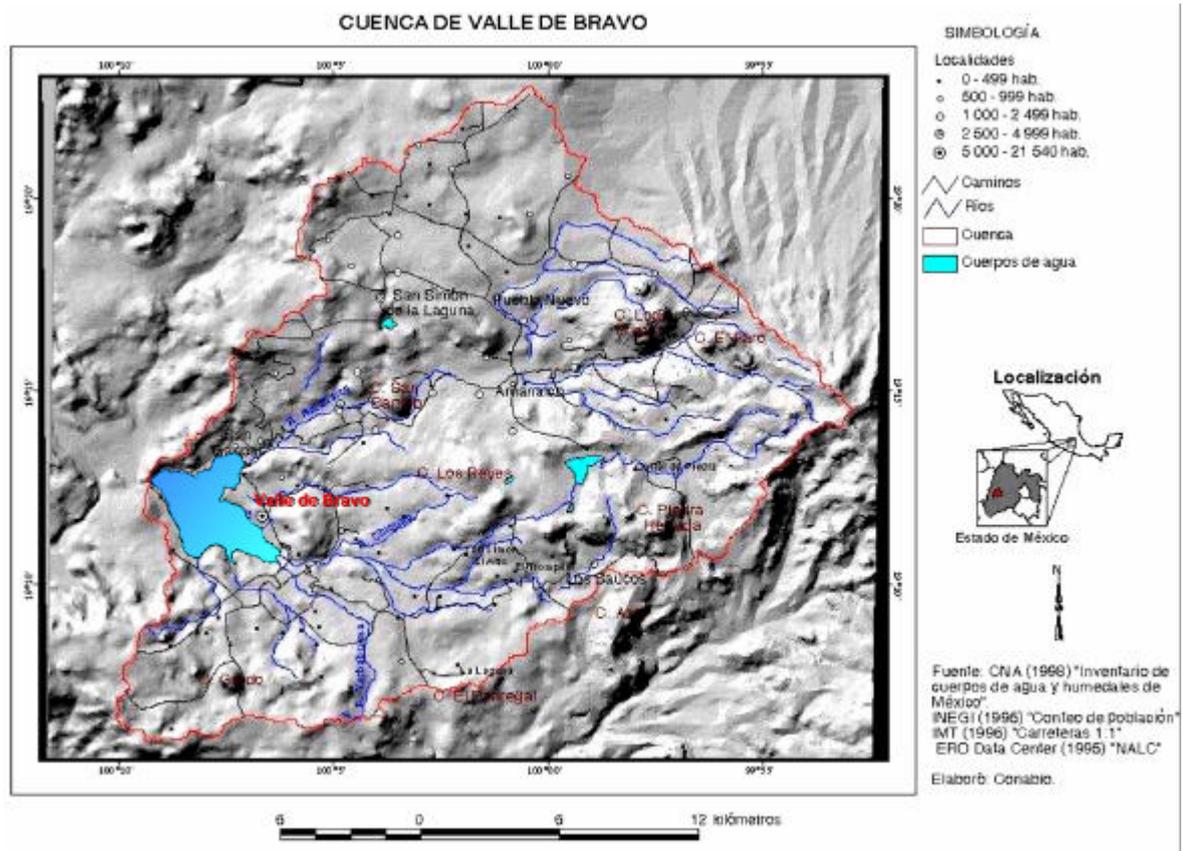
---

<sup>2</sup> Aún cuando pareciera contradictoria la tendencia al aumento en el tamaño de las células fitoplanctónicas y a la disminución del mismo en el zooplancton (dominado por ciliados en la eutrofia), se explica en función de que en los medios eutróficos aumenta correlativamente la cantidad de materia orgánica, tanto particulada como disuelta, que favorece la proliferación de bacterias, a su vez alimento de los ciliados.

del fitoplancton, tamaño de cuerpo grande en el zooplancton, altos niveles de biomasa en zooplancton y macrozooplancton, bajos niveles de biomasa de fitoplancton y microzooplancton, alta relación zooplancton/fitoplancton, alta relación macrozooplancton/microzooplancton, alto grado de diversidad de especies, altos niveles de asimilación algal de carbono, alta eficiencia de uso de recursos, baja producción comunitaria (Xu *et al.*, 2001).

## ÁREA DE ESTUDIO

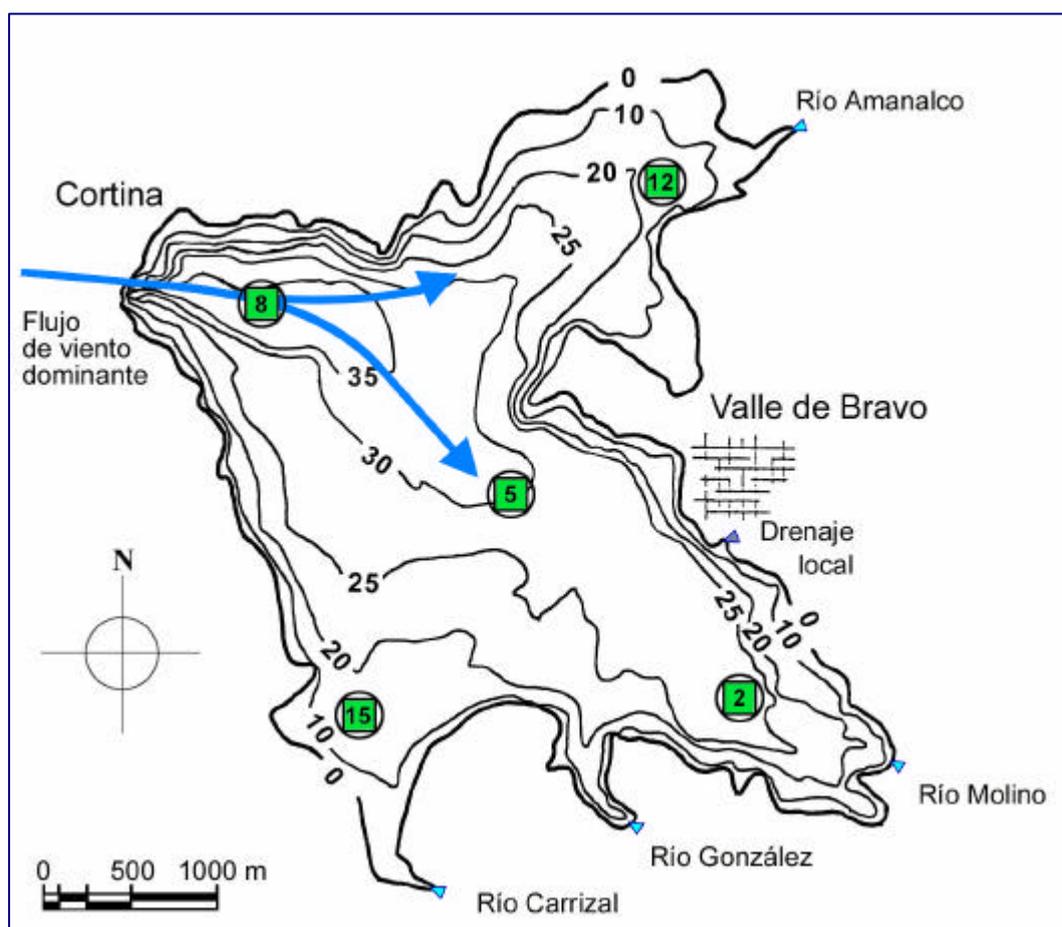
El embalse de Valle de Bravo se localiza a  $19^{\circ}21'30''$  de latitud Norte y  $100^{\circ}11'00''$  de longitud Oeste, a una altitud de 1,830 m s.n.m., en el Municipio de Valle de Bravo, Estado de México (Fig. 1). Fue construido en 1944 en la zona de confluencia del río Amanalco y los arroyos Santa Mónica, González, El Molino y Carrizal, como parte del Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán, que fue reemplazado en 1982 –utilizando la misma infraestructura– por el Sistema Cutzamala de abastecimiento de agua potable. Actualmente, este sistema suministra el 30% del líquido a la Cuenca de México, siendo Valle de Bravo la presa más importante del mismo por su capacidad de almacenamiento y extracción (SARH, 1979).



**Figura 1.** Cuenca de Valle de Bravo. Tomado (y modificado) de: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/cambios.veg/doctos/localizacion\\_valle.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/cambios.veg/doctos/localizacion_valle.html).

### Morfología y batimetría

De acuerdo con un estudio topo-batimétrico del vaso de la presa (GRAVAMEX, 1993, modificado por Monroy, 2004; *Fig. 2*), el embalse cubre una superficie aproximada de 18.55 km<sup>2</sup> (1,855 Ha), con una longitud y anchura máximas de 7.3 km y de 6.3 km respectivamente; la profundidad máxima es de 38.6 m (variable debido a las extracciones periódicas de agua:  $\pm 6$  m, Ramírez-Zierold, com. pers.; durante el estudio fue de 37 m); la profundidad media es de 21.1 m.



**Figura 2.** Batimetría del embalse de Valle de Bravo. Pueden apreciarse la dirección y el sentido del flujo del viento y las estaciones de muestreo numeradas: 2, 5 y 8 en el transecto principal; 8 y 12 en el transecto secundario y 15 en la zona somera (Modificado de Monroy *et al.*, 2004).

### Clima.

En la cuenca del embalse se distinguen dos tipos de clima, de acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen con las modificaciones de García

(1981): semicálido subhúmedo en la región de la estación climatológica Valle de Bravo, que comprende las zonas bajas de la cuenca (< 2,000 m s.n.m.) y templado subhúmedo con lluvias en verano, en la región de la estación climatológica San Juan Hacienda de Guadalupe, que comprende las zonas altas de la cuenca (> 2,000 m s.n.m.). A los 1,830 m s.n.m. en que se encuentra el embalse, se observan diferencias: la zona Sur-Suroeste –en donde se ubican las poblaciones Valle de Bravo y Avándaro– es húmeda y tiene abundante vegetación arbolada; la parte Norte-Noreste –en donde se ubican la cortina de la presa y la desembocadura del río Amanalco– se observa más seca y poco arbolada aun estando menos poblada que la zona anterior.

La precipitación pluvial en la cuenca oscila entre 1,000 y 1,300 mm anuales. En las dos estaciones climatológicas que aportan datos (IDECA, 1999), los meses de mayor precipitación comprenden el periodo junio-septiembre (época de lluvias); la precipitación máxima se presenta en el mes de julio, lo que es característico de lluvias en verano en estas latitudes (alisios). Existe un gradiente de precipitación con relación a la altitud, con mayor precipitación a menor altitud. La diferencia entre la precipitación media anual máxima (Valle de Bravo) y la mínima (San Juan) es de 310 mm. De acuerdo con el balance hidráulico que sobre el embalse realizara IDECA en 1999, la evaporación anual promedio es de 933 mm, con la máxima evaporación en abril (233 mm) y la mínima en julio (105 mm).

La temperatura media anual más alta, superior a los 18°C, corresponde a la estación Valle de Bravo –en donde se registró una temperatura máxima de 33°C en el verano–; la temperatura media anual más baja, entre los 12 y los 18°C, corresponde a la estación San Juan –en la que también se registró una temperatura mínima de -3°C en el invierno–. La diferencia de la temperatura media anual entre ambas estaciones es de 4.6°C, lo que concuerda con el dato de que por cada 100 m de altitud la temperatura disminuye 0.6°C aproximadamente. Puede observarse una relación temperatura-altitud que permite distinguir los dos tipos climáticos mencionados. Las oscilaciones térmicas son de 5 y 7°C respectivamente (IDECA, 1999).

Como resultado del tipo de clima dominante, el embalse de Valle de Bravo es un cuerpo de agua dulce monomítico cálido –esto es, con un prolongado periodo de estratificación que se extiende de marzo a octubre y temperaturas de mezcla nunca inferiores a 4°C; su temperatura mínima es de 18°C–, cuyo hipolimnion se torna anóxico rápidamente al comenzar la estratificación. La mezcla vertical se presenta durante la temporada de invierno (IDECA, 1999; Monroy, 2004; Merino *et al.*, 2002b).

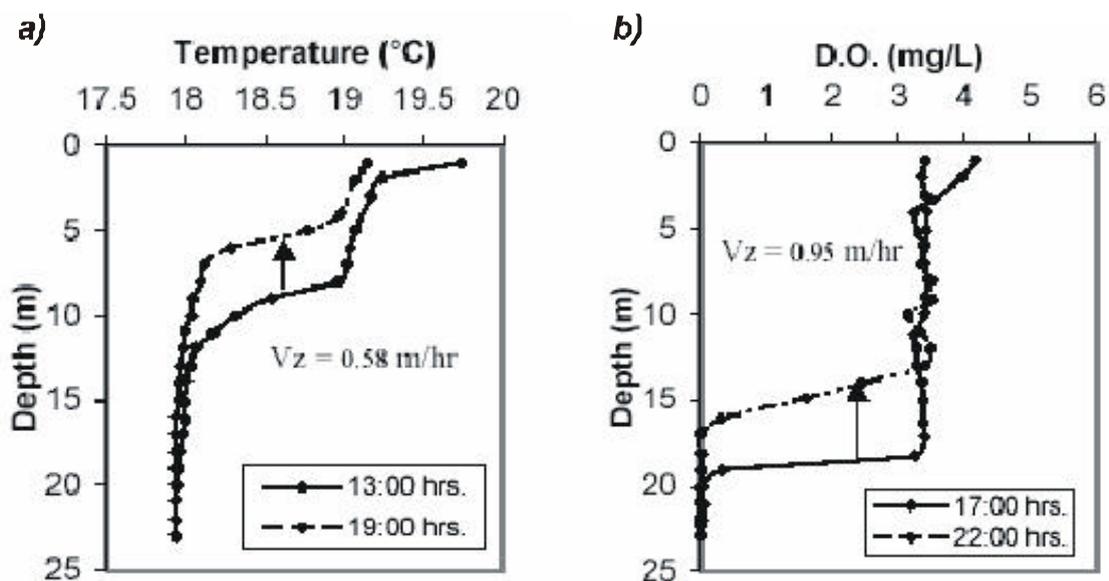
Los vientos diurnos dominantes promedio tienen una dirección Noroeste-Sureste (NO → SE), siguiendo el eje mayor del embalse, con un *fetch* de aproximadamente 7 km –distancia entre la cabeza y la cola, en donde desemboca el río Molinos–, y presentan una intensidad alta e intermitente a lo largo del año. Se observa una variación drástica en intensidad y en el sentido dominante en que el viento sopla diariamente, siendo más suave por la noche y con sentido inverso SE → NO, manteniéndose una dirección constante a lo largo del eje principal del embalse.

El efecto diurno del viento podría estar generando una circulación neta en forma de celdas comunicadas verticalmente en ambos extremos del eje más largo del embalse; en estratificación se presentaría un hundimiento de la termoclina en el extremo SE, y un levantamiento de la termoclina hacia el NO o cabeza del embalse, lo que podría implicar la surgencia de agua del hipolimnion (Merino *et al.*, 2002b) o el ingreso de la parte superficial del hipolimnion a la zona fótica durante parte del ciclo diurno (Monroy *et al.*, 2002; Ramírez, com. pers. *Fig. 3*). Recientemente, Merino *et al.* (en prensa) han concluido que existe clara evidencia de que se presenta intercambio vertical de agua asociado a estas oscilaciones, aunque aún es necesario dilucidar el mecanismo exacto responsable de ello.

### *Hidrología*

La presa de Valle de Bravo se forma por la captación del agua en una cuenca de 546.9 km<sup>2</sup> (Fig. 3), resultante del aporte de los cinco ríos tributarios importantes: Amanalco, El Molino, González, Santa Mónica y Carrizal, que conforman el embalse de la presa, con capacidad de almacenamiento de 391

millones de  $\text{m}^3$ . El volumen de almacenamiento promedio en el periodo 1989-1998 fue de 311.6 millones de  $\text{m}^3$ . El promedio mensual máximo fue de 394.2 millones de  $\text{m}^3$  y el mínimo fue de 206.4 millones de  $\text{m}^3$ , lo que indica una diferencia de 187.8 millones de  $\text{m}^3$  equivalentes al 48% del volumen total del embalse. Este gasto diferencial obedece a los cambios anuales en los regímenes de lluvias y secas en la cuenca, así como a las necesidades de demanda de agua de la Cuenca de México (IDECA, 1999). La subcuenca del embalse pertenece a la cuenca del Balsas (INEGI, 2000).



**Figura 3.** Ejemplos de variaciones temporales de los perfiles de temperatura y oxígeno durante los periodos diurnos de viento en la estación de la cabeza del embalse. a) 25 de febrero de 2002, b) 29 de octubre de 2001. En ambos se estimó la velocidad vertical asociada  $v_z$  (tomado de Merino *et al.*, 2002).

## METODOLOGÍA

### Muestreos:

Los muestreos se realizaron de febrero a noviembre de 2002, abarcando el fin de la época de mezcla, el inicio y el máximo de la estratificación y el inicio de la época de mezcla para ese año. La periodicidad de la toma de muestras fue quincenal<sup>1</sup> de febrero a abril y mensual de mayo a noviembre<sup>2</sup> (*Tabla 1*).

**1) Para la determinación de Clorofila a (Cl-a).** Se optó por realizar las determinaciones de Cl-a como un estimador de la biomasa fitoplanctónica, por ser un método selectivo y directo relativamente simple (Nusch, 1980), que si bien no permite establecer relaciones cuantificables directas, es un indicador ecológico que muestra coherencia con factores del ecosistema (Margalef, 1983). Aunque el contenido de clorofila depende de las especies, volumen y estado fisiológico (edad, aporte de nutrientes, iluminación, temperatura, etc., Nusch, 1980; Wetzel y Likens, 1991), el coeficiente de correlación entre este indicador y el recuento de células es alto (Nusch, 1980). Suele valorarse a este método como una aproximación adecuada a la biomasa algal (Wetzel y Likens, 1991) que, junto con la densidad y/o biomasa en peso húmedo, es un refuerzo importante en la interpretación de los datos.

Se hicieron muestreos en cinco estaciones (en la numeración de las 17 estaciones consideradas para determinar nutrientes para el proyecto general, fueron: 2 y 12 en las dos colas del embalse, 5 en la zona central, 8 en la cabeza y 15 en la zona somera sur, *Fig. 3*), en tres o cuatro distintas profundidades:

- i) Subsuperficial, a 1 m de la superficie en plena zona fótica (en la capa de mezcla o epilimnion cuando hay estratificación)
- ii) En la capa de mezcla a 4 m de profundidad, dentro de la zona trofogénica (epilimnion cuando hay estratificación)

---

<sup>1</sup> Esta periodicidad buscaba apreciar con certidumbre el inicio de la estratificación

<sup>2</sup> Una vez identificado el inicio de la estratificación y por cuestiones técnicas, los muestreos se espaciaron a un mes.

- iii) En la zona trofólitica o afótica, en 8 m (metalimnion cuando hay estratificación), y
- iv) También en la zona trofólitica o afótica, en 20 m (hipolimnion cuando hay estratificación).

El agua se colectó con una botella transparente tipo Niskin de 2 L y se vació directamente en botellas de 1 L. Estas muestras fueron filtradas *in situ* y los filtros almacenados con el solvente de extracción (acetona al 90% y metanol en algunas réplicas) en baño de hielo y oscuridad para su posterior análisis.

**2) Para el recuento de células.** Para este indicador, con base en los resultados de Cl-a que sugirieron una capa de mezcla más o menos homogénea durante la estratificación, se redujeron: a) el número de estaciones de muestreo, seleccionando una de las cinco planteadas originalmente: la No. 8, correspondiente a la cabeza<sup>3</sup>, y b) los niveles de muestreo, suprimiendo la muestra de 1 m y quedando las de 4<sup>4</sup> y 20 m de profundidad. Se tomaron muestras de agua de 600 ml, fijándolas inmediatamente con acetato de lugol. De manera complementaria, para el análisis cualitativo se realizaron muestreos en la misma estación mediante arrastre subsuperficial con redes para fitoplancton con malla de 40 ó 20 µm de diámetro de poro. La mitad de esta muestra fue mantenida en refrigeración para su estudio *in vivo* y otra parte fue fijada con formalina al 2% y conservada en refrigeración.

Se realizaron 11 muestreos en total para el periodo de estudio (*Tabla 1*).

**Tabla 1:** Fechas de muestreo en el embalse de Valle de Bravo durante 2002.

Muestreo:	Mes:	Día:	Muestreo:	Mes:	Día:
I	Febrero	14	VII	Junio <sup>5</sup>	11
II	Marzo	11	VIII	Julio	26
III	Marzo	26	IX	Agosto	30
IV	Abril	08	X	Octubre	03
V	Abril	22	XI	Noviembre	08
VI	Mayo	28			

<sup>3</sup> Esta estación, característica de la zona profunda del embalse, fue elegida procurando minimizar la variabilidad ocasionada por los fuertes cambios diurnos relativos al efecto del viento, al ser ésta muestreada consistentemente después de haberse iniciado el viento

<sup>4</sup> Dado que las concentraciones de Cl-a a 1 y 4 m de profundidad fueron muy similares, se escogió la profundidad intermedia de 4 m como característica para el epilimnion durante la estratificación.

<sup>5</sup> El muestreo de junio se realizó para fitoplancton y clorofilas; sin embargo, los lotes de muestras se extraviaron, por lo que este mes quedó como un hueco en los resultados.

**Análisis de laboratorio:**

**1) Clorofila.** La determinación de Cl-a se efectuó en el menor tiempo posible después de la colecta, empleando el método espectrofotométrico descrito por Wetzel y Likens (1991), de acuerdo con la técnica tricromática de Lorenzen (1967 *in* Wetzel y Likens, 1991), en un espectrofotómetro *Elyptica 2000*.

*Procedimiento:* Se filtraron 200-500 ml de muestra (dependiendo del color verde del filtro y de la velocidad de filtración) en filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F de 0.6 – 0.8  $\mu\text{m}$   $\varnothing$  de poro, de 4 cm de diámetro, con sistema de filtración Millipore; los filtros se almacenaron con acetona al 90%, en frío, en oscuridad, procesándose en las siguientes 48 hr – 2 semanas. La extracción de clorofilas se efectuó macerando mecánicamente el filtro, extrayendo durante 24 h a 4 °C en oscuridad; se centrifugó a 10000 r.p.m. y el sobrenadante se leyó en el espectrofotómetro *Elyptica 2000* en las longitudes de onda especificadas en la literatura (Jeffrey y Humprey, 1975 *in* Wetzel y Likens, 1991).

Adicionalmente, se hicieron pruebas con un mismo solvente, acetona al 90%, en: a) réplicas de muestras de la misma profundidad y b) muestras de profundidades cercanas (e. g. 0, 1 y 2 m, 4 y 8 m), para efectuar comparaciones, evaluando los resultados con porcentajes de precisión analítica o repetibilidad [% P = (repetición más baja/repetición más alta) x 100]; se consideraron satisfactorias las pruebas realizadas con un % P  $\approx$  al 90 %. Los porcentajes de precisión analítica estimados resultaron de 92 % en el valor más bajo, hasta el 100%, indicando una buena repetibilidad.

También se hicieron pruebas utilizando como solvente de extracción metanol al 100%, considerado un extractor de clorofilas eficiente para los grupos de clorofitas y cianoprocariontas (Nusch, 1980; Margalef, 1983), para comparar los resultados con los de clorofila extraída con acetona. En general, los resultados de la extracción con metanol fueron entre un 10% y un 15% superiores a los obtenidos con acetona; sin embargo, se optó por considerar únicamente el método de extracción por acetona al 90% por haberse realizado con él la totalidad de las determinaciones de los primeros muestreos y porque, al ser de uso más extendido, permite la comparación de los resultados, particularmente

con los valores de las muestras integradas de 1 a 8 m y de 12 m al fondo, que se estiman en el proyecto general de investigación.

La fórmula empleada para la estimación de la Cl-a fue:

$$\text{Cl-a } \mu\text{g L}^{-1} = \frac{[(11.85 \cdot \text{Abs}_{664}) - (1.54 \cdot \text{Abs}_{647}) - (0.8 \cdot \text{Abs}_{630})] \cdot \text{Vol}_{\text{Acetona}} \cdot 1000}{\text{Vol}_{\text{Muestra Filtrada}}}$$

En donde:  $\text{Abs}_{664}$  = El valor de absorción para la acetona extractora leído a 664 nm;  $\text{Abs}_{647}$  = El valor de absorción leído a 647 nm;  $\text{Abs}_{630}$  = El valor de absorción leído a 630 nm;  $\text{Vol}_{\text{Acetona}}$  = El volumen de acetona empleado para la extracción;  $\text{Vol}_{\text{Muestra Filtrada}}$  = El volumen total de la muestra filtrada.

**2) Fitoplancton.** Para la identificación de las especies se observaron los organismos *in vivo* y fijados con formol al 2%; se midieron y fotografiaron. Para este aspecto se emplearon un microscopio *Olympus BX-50* con sistema *Nomarski* de contraste interdiferencial, una cámara digital *Sony CCD-IRIS* con software *ProImage 5.0* y una cámara digital *Olympus DP11*. La identificación general de las especies se verificó mediante el empleo de claves y artículos especializados (véase *Apéndice*), con la asesoría de especialistas en taxonomía de fitoplancton de agua dulce.

La cuantificación del fitoplancton se realizó por el método de Utermöhl (Vollenveider, 1969; Wetzel y Likens, 1991), sedimentando volúmenes de entre 3 y 25 ml –escogidos según la concentración inicial de organismos, con el fin de obtener un número máximo, considerando que se encontraran lo suficientemente separados para poder contarlos–. El recuento se efectuó con un microscopio invertido *Olympus IX70* con contraste de fases, por enumeración simple de células, a 100 aumentos (contando el total de organismos grandes y relativamente poco abundantes barriendo la mitad del fondo de la cámara de sedimentación, y revisando la otra mitad) y a 400 aumentos (contando todos los organismos que aparecen en el campo óptico, hasta un mínimo de 400 células de la especie más abundante).

Para estimar el biovolumen y transformarlo a biomasa en peso húmedo, se tomaron las medidas celulares<sup>6</sup> para un mínimo de 20 individuos por *taxa* abundante<sup>7</sup> y se obtuvo un promedio de biovolumen celular por muestreo.

La fórmula empleada para el cálculo de biovolumen en  $\mu\text{m}^3 \text{ ml}^{-1}$  fue:

$$\mu\text{m}^3 \text{ ml}^{-1} = \text{No. de células ml}^{-1} * \text{Biovolumen celular estimado}$$

El biovolumen celular es el volumen ( $\mu\text{m}^3$ , ml) correspondiente a la materia viva de una célula, y se estima empleando las fórmulas para calcular el volumen de las figuras geométricas que mejor se ajusten a la forma de la célula de cada organismo (e. g. esferas, elipsoides, elipsoides de revolución, conos, cilindros, etc.); en la *Tabla 2* puede observarse qué figuras geométricas se usaron con cada género algal. La estima del biovolumen se consideró necesaria porque existen organismos que en valores de densidad presentan números importantes, pero su tamaño individual es mínimo en comparación con otros que, aun presentando densidades inferiores a  $400 \text{ cél ml}^{-1}$ , podrían tener importancia similar o superior en la comunidad por la magnitud de su contribución en biomasa.

La biomasa en peso húmedo, a su vez, es la materia viva, en unidades de masa (gramos, g), correspondiente al volumen de un organismo fresco (sin deshidratar, con su correspondiente proporción de agua  $\approx 80 - 95 \%$  del peso total), asumiendo que  $1 \text{ ml de biovolumen celular} = 1 \text{ g}$

---

<sup>6</sup> Para la estimación del biovolumen celular, se consideró exclusivamente el tamaño y la forma de las células individuales, sin incluir el mucílago (e.g. se descartó el biovolumen del mucílago cenobial de *Microcystis* u *Oocystis*, o el de los tallos mucilaginosos de *Woronichinia* o *Dictyosphaerium*) ni las proyecciones de la pared celular que no incluyeran citoplasma, tales como espinas o setas (e.g. no se consideraron las espinas de *Urosolenia* ni las setas de *Micractinium* o *Lagerheimia*; sí se consideraron los “cuernos” de *Ceratium* o las protrusiones de *Staurastrum*).

<sup>7</sup> En el 58% de los casos –de 95 *taxa* diferenciados, que incluye a las especies con valores porcentuales  $\geq 2\%$  en  $\text{cél ml}^{-1}$  o en  $\mu\text{m}^3 \text{ ml}^{-1}$  y a algunas de menor proporción– se tomaron las medidas respectivas para estimar el biovolumen celular en un mínimo de 20 células de cada especie; para el 42 % restante, que incluye a las especies más escasas, se consideró las mediciones con que se contaba, que variaban desde 3 hasta 15 células que, aún sin ser estadísticamente confiables, sirvieron para realizar una estima del biovolumen total que considerara todas las especies diferenciadas y no únicamente las más abundantes.

**Tabla 2:** Figuras geométricas cuyas fórmulas correspondientes fueron aplicadas para estimar el biovolumen celular de las algas fitoplanctónicas de los 50 géneros listados en la columna derecha, encontrados en el embalse de Valle de Bravo durante el periodo febrero-noviembre de 2002.

FIGURA GEOMÉTRICA	GÉNEROS
Esfera	<i>Microcystis, Snowella, Trachelomonas, Coelastrum, Dictyosphaerium, Micractinium, Pseudosphaerocystis, Eutetramorus, Tetrasporal, Eudorina,</i>
Huso	Aff. <i>Dactylococcopsis, Ankyra, Elakatothrix, Monoraphidium, Schroederia, Closterium</i>
Elipsoide	<i>Woronichinia, Merismopedia, Anabaena, Dictyosphaerium, Nephrocytium, Oocystis, Lagerheimia, Scenedesmus, Botryococcus, Cosmarium, Euglena, Trachelomonas, Glenodinium, Peridinium, Cryptomonas, Rhodomonas, Mallomonas, Chlamydomonas,</i>
Cilindro	<i>Aphanizomenon, Cylindrospermopsis, Limnothrix, Lyngbya, Pseudanabaena, Aulacoseira, Cyclotella, Urosolenia, Stephanodiscus, Mougeotia o Debarya</i>
Paralelepípedo	<i>Tetraedron, Fragilaria, Ulnaria, Nitzchia</i>
Cono trunco	<i>Staurastrum</i>
Mixto	<i>Ceratium, Pediatrism, Tetraedron, Staurastrum</i>

### Análisis de gabinete:

Los resultados del conteo son reportados como densidad en células por mililitro (Cél ml<sup>-1</sup>) incluyendo a las cianoprocariontas filamentosas y a las algas coloniales<sup>8</sup>. La fórmula empleada para el cálculo de Cél ml<sup>-1</sup> fue:

$$\text{Cél ml}^{-1} = \frac{\text{No. de organismos contados} \times \text{Área Total de la Cámara}}{\text{No. de campos contados} \times \text{Área del Campo Óptico} \times \text{Volumen Sedimentado (ml)}}$$

También se reportan los resultados como biomasa en peso húmedo, que fue estimada a partir del biovolumen celular (µm<sup>3</sup> ml<sup>-1</sup>), estimado a su vez empleando fórmulas para calcular el volumen de figuras geométricas como µg ml<sup>-1</sup> (Wetzel y Likens, 1991; Stramski, *et al.*, 2001; *Manual for Marine*

<sup>8</sup> El número de cianoprocariontas filamentosas en cél ml<sup>-1</sup> se calculó a partir de los µm de filamento ml<sup>-1</sup> medidos, entre un promedio de longitudes de células individuales; éste a su vez se obtuvo de mediciones de la longitud y número de células presentes en un mínimo de 10 filamentos en cada muestra. Por otro lado, las algas coloniales fueron contabilizadas como células individuales (tal es el caso de las cianoprocariontas Chroococcales *Microcystis*, *Woronichinia*, etc. y de las clorofitas Chlorococcales *Coelastrum*, *Dictyosphaerium*, etc.), con el recuento de las células presentes en cada colonia.

*Monitoring* –disponible en: [http://www.helcom.fi/combine\\_manual/c.html](http://www.helcom.fi/combine_manual/c.html)–) y posteriormente convertido en biomasa en peso húmedo.

Se efectuaron diversos análisis estadísticos con el fin de: i) observar tendencias de variación de las variables biológicas y ambientales (correlación no paramétrica de r-Spearman), ii) determinar agrupaciones de variables físico-químicas y biológicas (*cluster* mediante el método de Ward y r-Pearson 1), y iii) análisis multivariado que resume las tendencias de variación de las variables consideradas. Los análisis se realizaron usando el programa *Statistica* versión 6 (StatSoft Inc., 1999).

## RESULTADOS:

### I. Ambiente

En esta sección se describe el comportamiento general de los principales parámetros físico-químicos<sup>9</sup> (temperatura, oxígeno disuelto, pH y nutrimentos) que caracterizaron el ambiente durante el periodo enero-diciembre de 2002, en el embalse de Valle de Bravo.

#### I.1. Temperatura

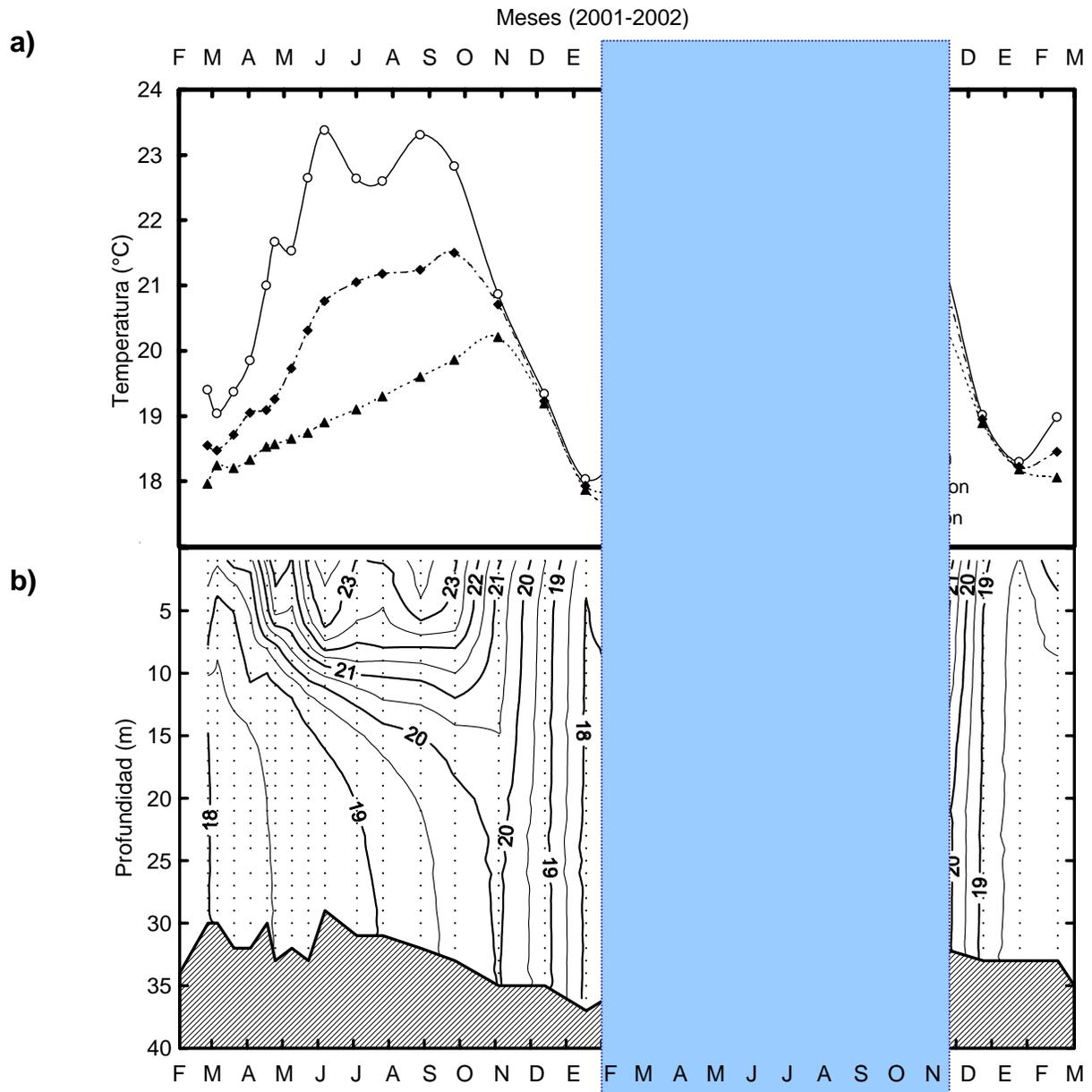
Durante el ciclo anual 2002 se observó un lapso de estratificación de aproximadamente ocho meses, desde principios de marzo hasta finales de octubre de 2002, con una termoclina que afectó la distribución de otros parámetros en el sistema (*Fig. 4*). La temperatura osciló entre los 17.6 °C y los 23.6 °C (10 de junio del 2002 en superficie), con una temperatura media anual de  $20.0 \pm 1.6$  °C.

El espesor del epilimnion osciló entre los 7 m (el 26 de marzo y el 22 de abril, cuando su límite inferior fue más somero) y los 10 m (el 11 de marzo, cuando su límite inferior fue más profundo); el espesor del metalimnion se extendió entre los 4 m (el 11 de marzo, cuando su espesor fue menor, abarcando de los 10 m a los 14 m de profundidad) y 8 m (el 30 de agosto, cuando su espesor fue mayor, abarcando de los 7 a los 15 m de profundidad), presentándose la mayor parte de las veces entre los 8 y los 12 m de profundidad con un espesor de 4 m. Dadas las características de distribución vertical de las capas limnéticas, se consideraron las muestras para nutrimentos de 1, 2 y 4 m de profundidad como específicas del epilimnion, las de 8 y 12 m del metalimnion, y más allá de 12 m y hasta el fondo, del hipolimnion<sup>10</sup>.

---

<sup>9</sup> Para esta sección, los datos fueron proporcionados por otros participantes en el proyecto general de Valle de Bravo, de la siguiente manera: temperatura, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno y pH por Martín Merino, Sergio Castillo y Jorge Ramírez; nutrimentos, por Sergio Castillo y Jorge Ramírez. El análisis de una parte de los datos tuvo como base la tesis de Emiliano Monroy (2004), quien trabajó descriptores hidrológicos en el embalse de Valle de Bravo para el año 2001.

<sup>10</sup> Este criterio se siguió de acuerdo con el grupo de trabajo de Valle de Bravo, a cargo del Dr. Martín Merino.



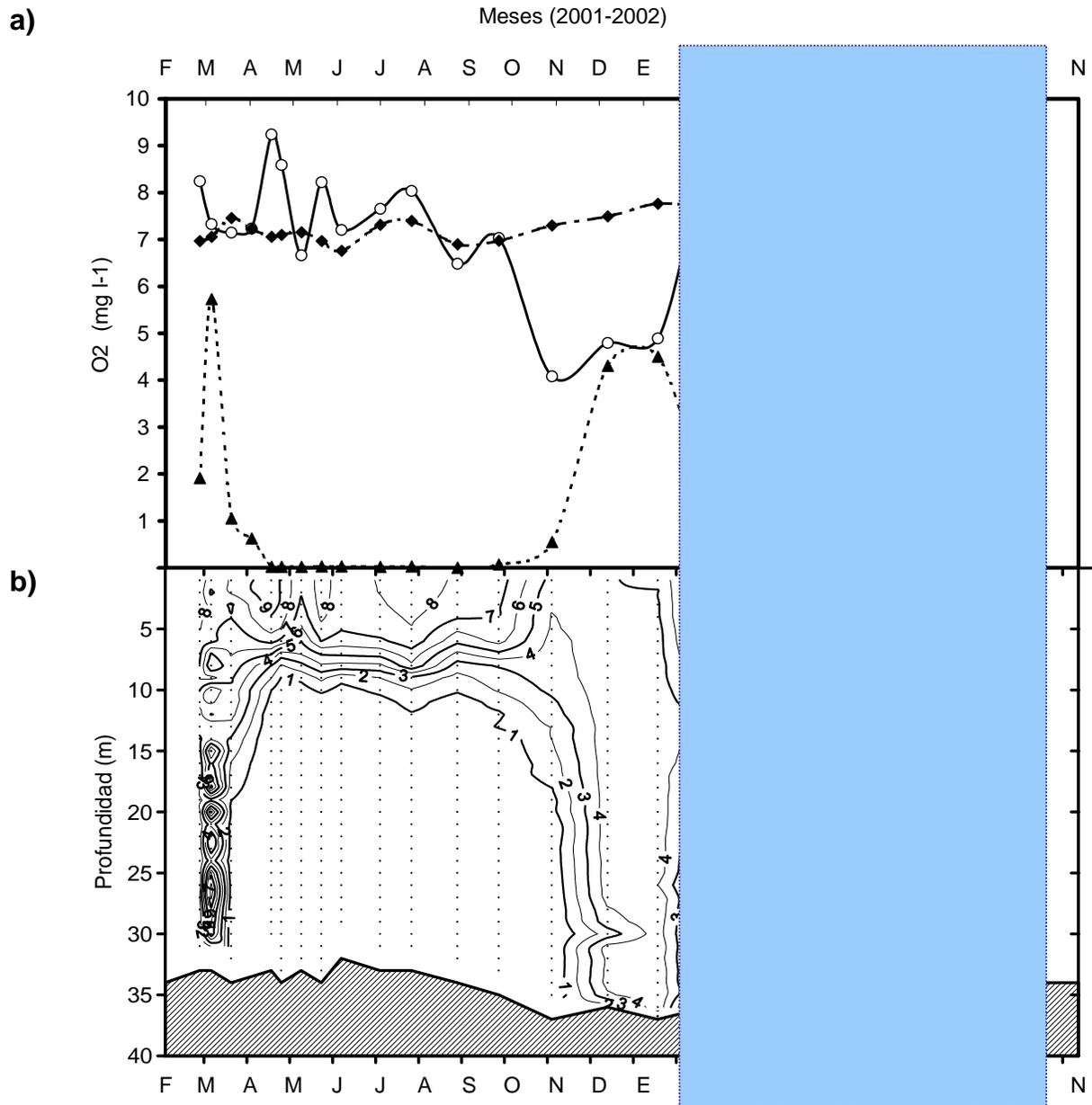
**Figura 4. a)** Variación anual de la temperatura para epilimnion, metalimnion e hipolimnion en el embalse de Valle de Bravo, 2001-2002 (promediadas para todas las estaciones y niveles) y **b)** diagrama profundidad vs. tiempo de isotermas (0.5 °C) en el embalse de Valle de Bravo, 2001-2002. Se muestran los puntos exactos de muestreo. En el recuadro se enmarca el periodo considerado para los muestreos de fitoplancton de este trabajo: febrero-noviembre de 2002. (Modificado de Monroy, 2004).

En la *Fig. 4* puede observarse la evolución temporal de la temperatura media epi- e hipolimnética, así como un diagrama de temperatura con respecto a profundidad vs. tiempo para el periodo señalado. La diferencia de temperatura entre las dos capas presentó un valor máximo el 10 de junio del 2002 ( $\Delta T = 4.6$  °C), debido a una alta irradianza y a una estratificación estable. En el hipolimnion se observa un aumento gradual en la temperatura durante la estratificación, que declina súbitamente en noviembre, al iniciar la mezcla

## **I.2. Oxígeno disuelto (OD) y porcentaje de saturación de oxígeno (%SatO)**

El valor promedio de oxígeno disuelto (OD) en el embalse fue de  $4.0 \text{ mg L}^{-1}$ . Se registró un valor máximo de  $10.2 \text{ mg L}^{-1}$  en el epilimnion (a 2 m de profundidad) el 26 de marzo del 2002, mientras que el valor mínimo de  $0.0 \text{ mg L}^{-1}$  se presentó en el hipolimnion a partir del 11 de marzo del 2002 a los 20 m de profundidad, registrándose la anoxia a profundidades menores cada vez, perdurando hasta octubre; *i. e.*, los perfiles de OD son predominantemente *clinógrados*. Los perfiles de oxígeno coinciden con los de temperatura, correspondiéndose la termoclina y la oxiclina. En la *Fig. 5a* se muestra la variación media anual del OD para epi- e hipolimnion, manteniéndose este último anóxico durante siete meses aproximadamente.

Al observar la variación anual del 100% de saturación de oxígeno (SatO) entre los meses de febrero y octubre de 2002, pueden distinguirse dos regiones: una en el epilimnion, en donde la concentración de oxígeno molecular es mayor al 100% de SatO, *i. e.*, se encuentra sobresaturado; otra en el hipolimnion, en donde el oxígeno decae casi completamente al avanzar la estratificación, presentándose una ausencia casi total a partir de los 10 m de profundidad durante la mitad del año. Esta deficiencia se observa en la *Fig. 5b*, en donde la región por debajo de  $1 \text{ mg L}^{-1}$  de OD muestra la estratificación (recuadro azul).



**Figura 5. a)** Variación anual de los promedios de concentración de oxígeno disuelto (OD, en  $\text{mg L}^{-1}$ ) para epi- e hipolimnion, en el embalse de Valle de Bravo durante 2001-2002, mostrando el 100% de saturación relativa de oxígeno. **b)** Diagrama profundidad vs. tiempo de OD (isolíneas cada  $1 \text{ mg L}^{-1}$ ) para las mismas fechas. Se muestran los puntos exactos de muestreo. En el recuadro se enmarca el periodo considerado para este trabajo: febrero-noviembre de 2002. (Modificado de Monroy, 2004).

### I.3. Profundidad de Secchi

En la *Fig. 6*. se aprecia que la profundidad de Secchi medida durante 2002 en el embalse de Valle de Bravo fue mayor durante los meses en que se presenta la mezcla (enero-febrero, diciembre) y en la fase previa al establecimiento de la estratificación (primera mitad de marzo); manteniéndose menor y con poca variación durante todo el periodo de estratificación. La mayor profundidad de Secchi registrada fue de 4.1 m (el 14 de febrero) y la menor de 1.3 m (el 10 de junio), seguida de 1.4 m el 27 de mayo y el 30 de agosto.

### I.4. pH

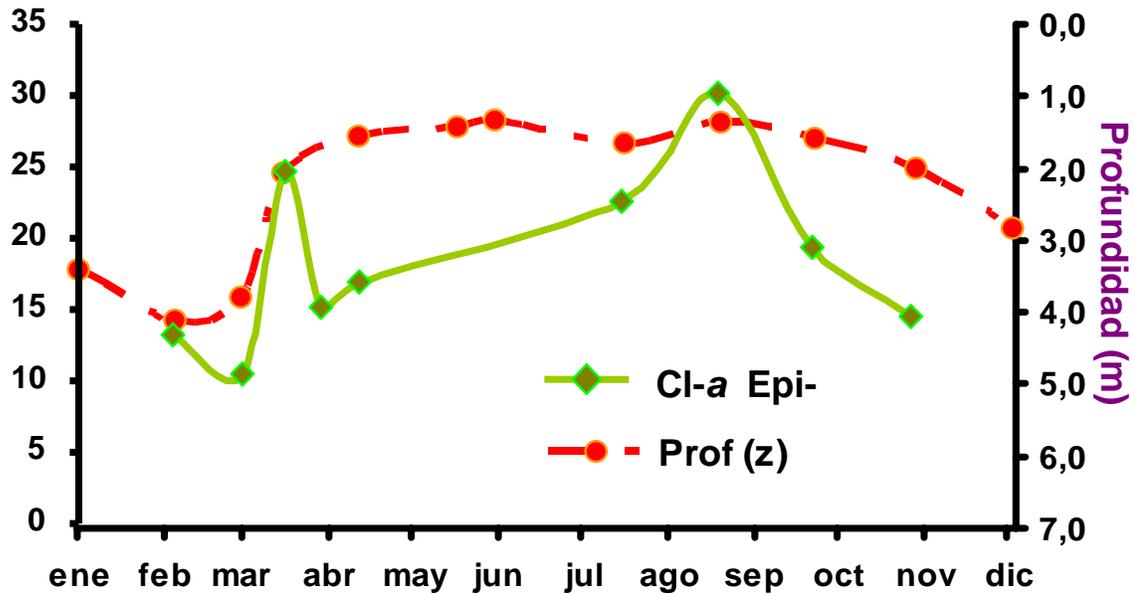
El valor medio del pH osciló entre 7 y 9 unidades. En la capa superior de mezcla, donde predomina la fotosíntesis, se observaron valores de pH alcalinos (desde 7.6 el 11 de enero a 9.3 el 22 de abril), mientras que en la región media de la columna de agua (metalimnion cuando hay estratificación) los valores fueron de 7.6 el 11 de enero a 8.6 el 14 de febrero; en la parte profunda de la columna de agua, donde prima la respiración, el pH fue de alcalino (7.8 el 14 de febrero) a ligeramente ácido (6.8 el 26 de julio), aunque la mayor parte de las veces se encontró cerca de la neutralidad ( $\text{pH} \approx 7$ ). La *Fig. 7* presenta la variación anual del pH en el embalse, para epi- e hipolimnion, durante los años 2001-2002.

### I.5. Nutrientos

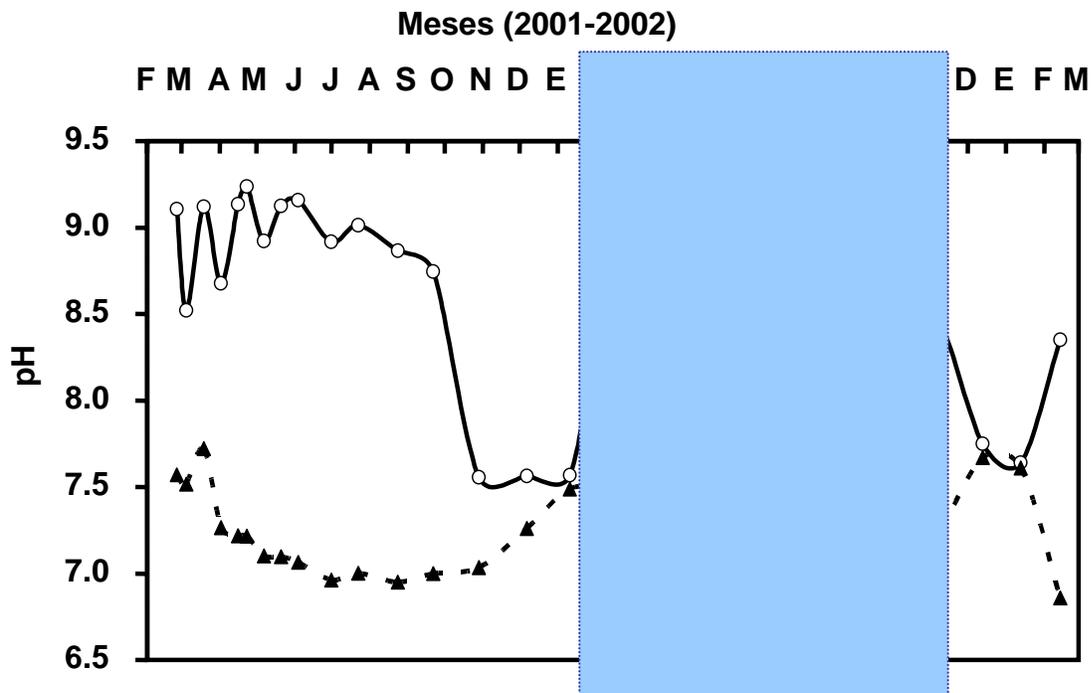
#### I.5.1. Fósforo

La fracción de fósforo determinada fue el fósforo reactivo disuelto (FRD, *Fig. 8*). Los promedios por estratos muestran los valores más bajos en epi- y metalimnion (media anual  $0.9$  y  $0.7 \mu\text{mol L}^{-1}$ , respectivamente) y los más altos en el hipolimnion (media anual  $1.5 \mu\text{mol L}^{-1}$ ), lo que indica que existió una acumulación de FRD en las capas profundas del embalse durante la estratificación, con un valor máximo de  $3.8 \mu\text{mol L}^{-1}$  el 30 de agosto de 2002, coincidente con el segundo valor más alto en el epilimnion de  $2.3 \mu\text{mol L}^{-1}$ . El metalimnion alcanzó su valor máximo el 27 de mayo, con  $2.1 \mu\text{mol L}^{-1}$ .

### Clorofilas y Profundidad de Secchi 2002



**Figura 6.** Variación anual de los promedios de la profundidad de Secchi en el embalse de Valle de Bravo durante 2002 (línea discontinua y eje derecho; profundidad en metros), confrontado con los promedios para Clorofila-a en el epilimnion de febrero a noviembre de 2002 (línea continua, eje izquierdo; concentración de clorofila-a en  $\mu\text{g L}^{-1}$ ).



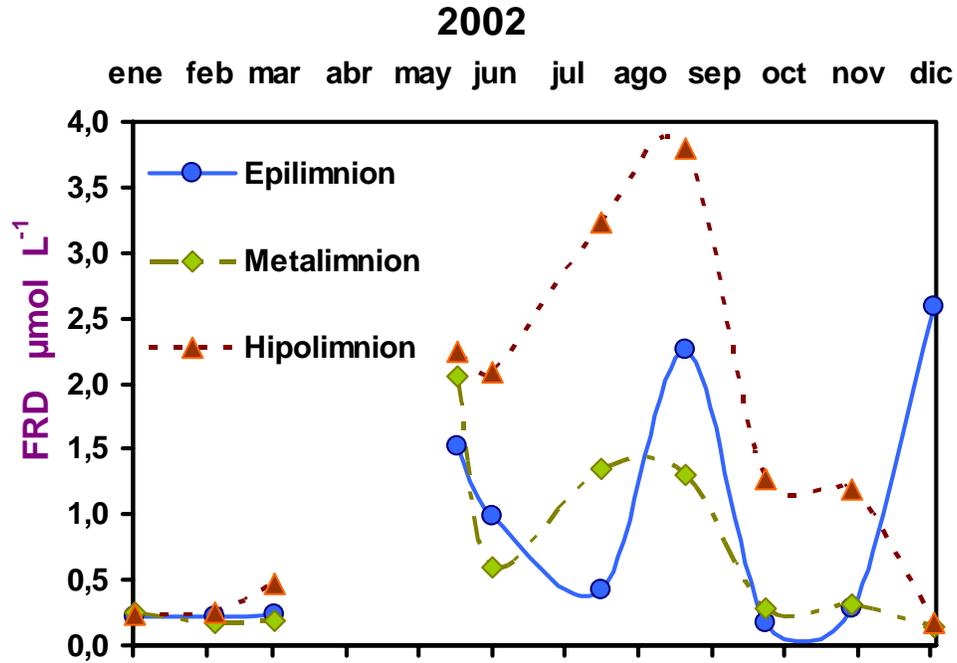
**Figura 7.** Variación anual de los promedios de pH para epi- e hipolimnion (se excluye el metalimnion) en el embalse de Valle de Bravo, durante 2001-2002. En el recuadro se enmarca el periodo considerado para este trabajo: febrero-noviembre de 2002 (Modificado de Monroy, 2004).

Las concentraciones de FRD aumentaron gradualmente en el hipolimnion conforme avanzó la estratificación, particularmente entre julio y agosto, descendiendo abruptamente en septiembre-octubre hasta valores cercanos a  $0.6 \mu\text{mol L}^{-1}$  en promedio para todo el embalse. El 13 de diciembre, en plena mezcla, alcanzaron su máximo valor en el epilimnion con  $2.6 \mu\text{mol L}^{-1}$ .

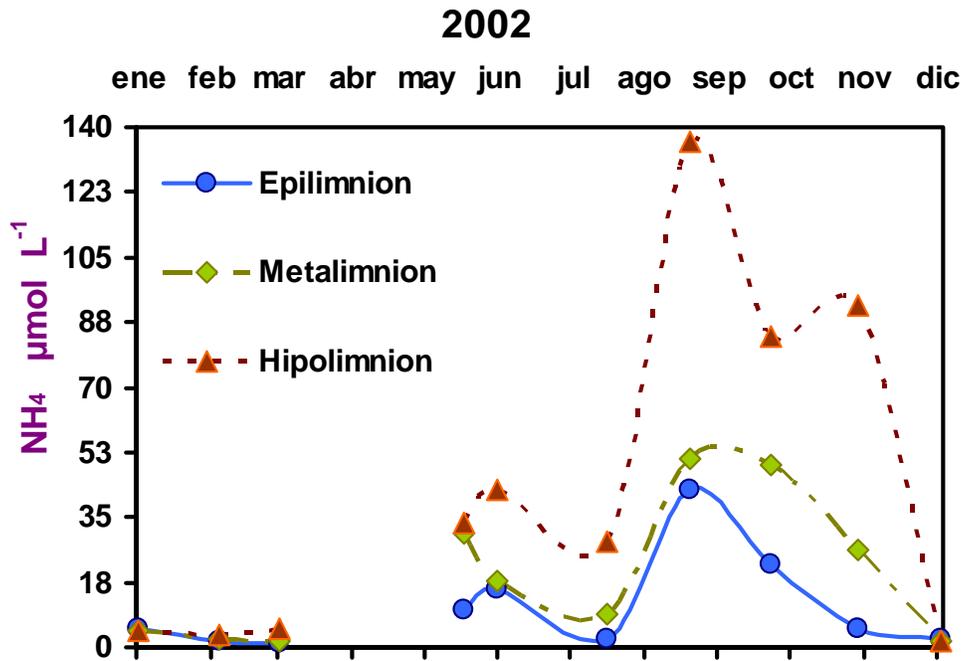
### **I.5.2. Nitrógeno**

Con respecto a las diferentes especies de nitrógeno en el embalse de Valle de Bravo, el comportamiento fue como sigue: el comportamiento del amonio muestra altas variaciones a lo largo del año (*Fig. 9*), determinadas por los periodos de estratificación (valores hipolimnéticos altos) y mezcla (valores de columna bajos), semejantes a las del FRD. En el gráfico puede observarse una diferencia de concentraciones de casi  $94 \mu\text{mol L}^{-1}$  entre epi- e hipolimnion en el pico de la estratificación, así como un gradiente vertical del fondo hacia la superficie. Al terminar el periodo de estratificación se registró una caída en la concentración de amonio en el hipolimnion, mientras la concentración de nitratos aumentó de manera proporcional y la de nitritos no fue muy apreciable.

Durante la mezcla, los valores son homogéneamente bajos, encontrándose  $5 \mu\text{mol L}^{-1}$  en enero del 2002. En la *Fig. 10*, que muestra la variación temporal de los nitratos y nitritos para 2002, puede observarse en el hipolimnion la declinación de los nitratos de mayo a noviembre y de los nitritos de mayo a diciembre. Durante la mezcla, los valores de las concentraciones de estas especies aumentan, los nitratos en enero y diciembre y los nitritos en enero y marzo. También puede observarse la presencia de un máximo de nitratos y de nitritos en la capa intermedia de la columna de agua (8-12 m) durante los periodos de mezcla.



**Figura 8.** Variación media anual del fósforo reactivo disuelto (FRD) para epi- meta- e hipolimnion durante 2002 en el embalse de Valle de Bravo. Los valores se expresan en  $\mu\text{mol L}^{-1}$ .



**Figura 9.** Variación anual del amonio (como  $\text{NH}_4^+$ ) para epi-, meta- e hipolimnion en el embalse de Valle de Bravo, durante 2002. Los valores se expresan en  $\mu\text{mol L}^{-1}$ .

Con respecto a la relación Nitrógeno:Fósforo<sup>11</sup>, en la *Fig. 11* puede apreciarse que la tendencia de la proporción en el epilimnion es descendente de enero a marzo, observándose que cae por debajo de la proporción de Redfield (relación N:P < 16) en mayo y julio, lo que podría estar indicando la limitación por nitrógeno de la producción primaria; puede advertirse que faltan los datos correspondientes al lapso de finales de marzo a finales de abril; probablemente, la condición previamente señalada se presentó antes de mayo, pero la carencia de tales datos restringe la explicación de este indicador ambiental.

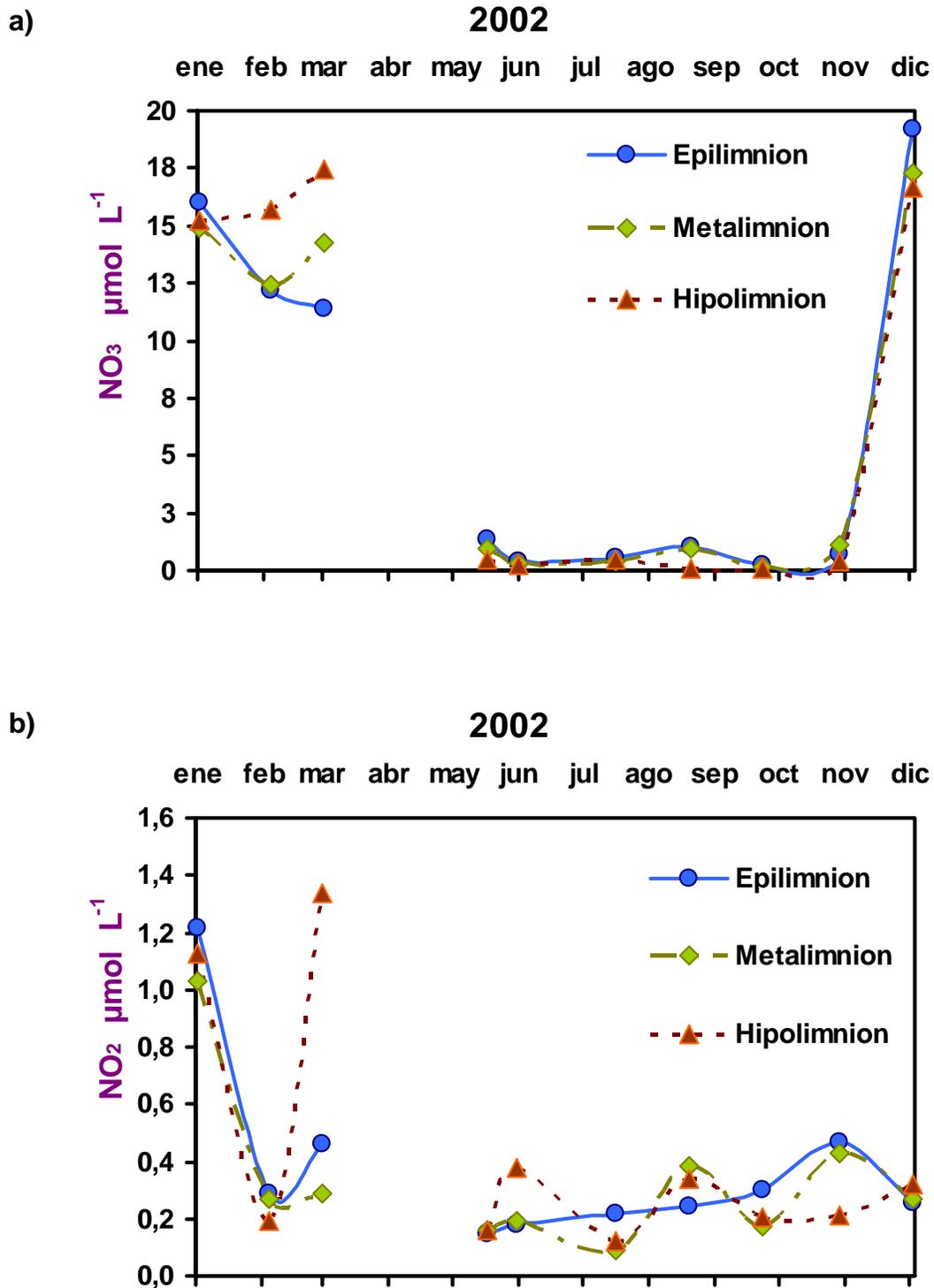
En la *Tabla 3* puede observarse que en la capa superficial tanto el nitrógeno como el fósforo presentaron concentraciones inferiores a las presentes en la zona intermedia en la mayor parte de las ocasiones, excepto durante la mezcla; en la zona profunda con frecuencia se registraron concentraciones mayores a las encontradas en estratos superiores. Algo similar ocurrió con los valores de la proporción de Redfield, que fueron menores en el epilimnion en la mayor parte de los casos, exceptuando enero y julio.

### **I.5.3. Sílice**

El comportamiento del sílice no pudo delinearse claramente en el periodo de estudio, por falta de datos; sin embargo en la *Tabla 4* puede apreciarse que en la capa superficial, en febrero, último mes de la mezcla, la disponibilidad de este elemento fue abundante ( $564 \mu\text{mol L}^{-1}$ ); disminuyó en marzo y, durante la estratificación, presentó una concentración más baja en mayo ( $322 \mu\text{mol L}^{-1}$ ), la que aumentó a finales de julio ( $709 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) previo al pico de biomasa de agosto; en octubre, hacia el final de la estratificación, fue más abundante en el epi- que en el meta- e hipolimnion ( $703$ ,  $437$  y  $576 \mu\text{mol L}^{-1}$ , respectivamente).

---

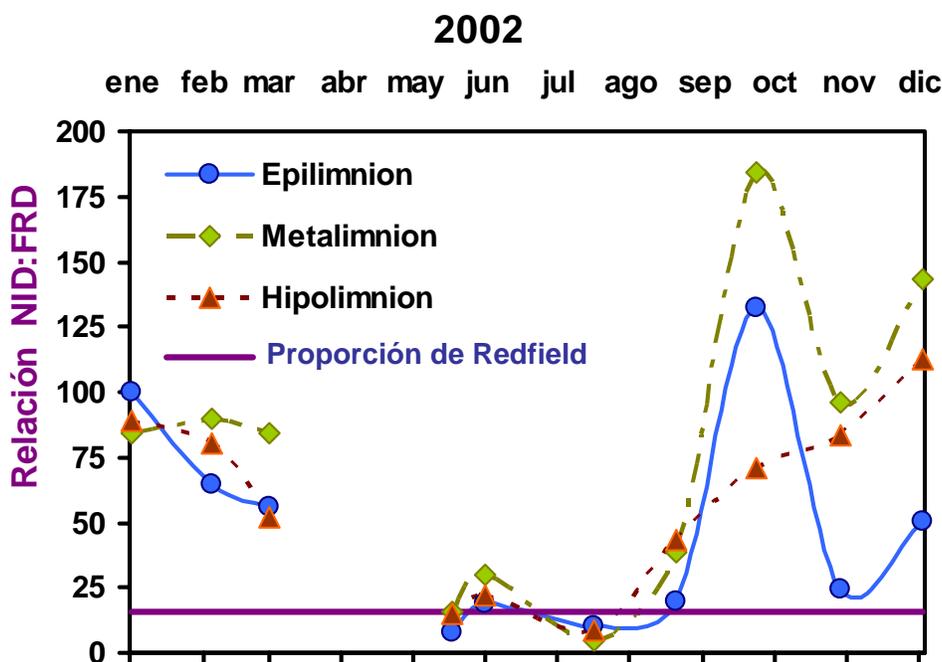
<sup>11</sup> La relación fue calculada empleando las concentraciones (en  $\mu\text{M L}^{-1}$ ) de  $\text{PO}_4$  para P y de la suma de  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{NH}_4$  (también en  $\mu\text{M L}^{-1}$ ), como Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) para N.



**Figura 10.** Variación temporal de **a)** nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y **b)** nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) para el año 2002 en el embalse de Valle de Bravo. Las concentraciones están expresadas en  $\mu\text{mol L}^{-1}$ .

**Tabla 3.** Concentraciones de Fósforo Reactivo Disuelto (FRD), Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) –en  $\mu\text{M}$ – y el valor de la relación Nitrógeno:Fósforo (NID:FRD), en epi-, meta- e hipolimnion, así como los valores promedio en toda la columna de agua, en el embalse de Valle de Bravo, durante 2002. Se han destacado con negritas las ocasiones en las que la relación N:P cae en el límite o por debajo de la Proporción de Redfield y las ocasiones en que el nitrógeno es igual o inferior a  $7 \mu\text{M}$  y el fósforo es igual o inferior a  $0.1 \mu\text{M}$  o limitantes *sensu* Reynolds (1999).

Fecha	Epilimnion			Metalimnion			Hipolimnion			Promedios en columna		
	NID	FRD	NID:FRD	NID	FRD	NID:FRD	NID	FRD	NID:FRD	NID	FRD	NID:FRD
	$\mu\text{M}$			$\mu\text{M}$			$\mu\text{M}$			$\mu\text{M}$		
11/01/02	22	0,2	100	21	0,2	85	21	0,2	89	21	0,2	91
14/02/02	14	0,2	64	15	0,2	90	19	0,2	80	16	0,2	78
11/03/02	13	0,2	56	16	0,2	85	24	0,5	52	18	0,3	64
27/05/02	12	1,5	<b>8</b>	32	2,1	<b>16</b>	34	2,2	<b>15</b>	26	1,9	<b>13</b>
10/06/02	16	1,0	19	18	0,6	30	43	2,1	22	26	1,2	24
26/07/02	<b>3</b>	0,4	<b>10</b>	9	1,3	<b>5</b>	30	3,2	<b>9</b>	14	1,7	<b>8</b>
30/08/02	44	2,3	20	52	1,3	39	137	3,8	44	77	2,5	34
03/10/02	23	0,2	133	50	0,3	184	84	1,3	71	52	0,6	129
08/11/02	<b>7</b>	0,3	25	28	0,3	96	93	1,2	84	42	0,6	68
13/12/02	22	2,6	51	19	<b>0,1</b>	143	19	0,2	113	20	1,0	102



**Figura 11.** Variación temporal de la relación NID:PRT y la proporción de Redfield para el año 2002 en el embalse de Valle de Bravo. Las concentraciones están expresadas en  $\mu\text{mol L}^{-1}$ .

**Tabla 4.** Variación temporal del sílice durante 2002 en el embalse de Valle de Bravo, en tres estratos de profundidades que coinciden con epi-, meta- e hipolimnion cuando hay estratificación. Las concentraciones están expresadas en  $\mu\text{mol L}^{-1}$ .

Fecha	Concentración en $\mu\text{mol L}^{-1}$		
	0 – 7 m	8 – 12 m	12 m - Fondo
11/01/02	272,1	242,3	287,6
14/02/02	563,7	569,1	528,9
11/03/02	437,9	292,7	357,6
27/05/02	322,1	345,0	334,6
26/07/02	709,2	603,2	700,0
03/10/02	702,8	436,9	575,7
08/11/02	616,0	607,1	498,2
13/12/02	350,4	146,6	222,6

## II. Clorofila a

### II.1. Concentraciones de Clorofila a (Cl-a) por estación.

La biomasa fitoplanctónica estimada como Clorofila-a (*Fig.12*) en cada estación del embalse, en los diferentes niveles de muestreo, presentó el siguiente comportamiento: 1) Las concentraciones de Cl-a fueron mayores en los niveles subsuperficial y a 4 m de profundidad<sup>12</sup>; 2) ambos niveles de muestreo tuvieron un comportamiento similar y la magnitud de variación entre sus respectivas concentraciones de Cl-a fue mínima; 3) en las estaciones cercanas al fondo (12, 16 y 20 m de profundidad), las concentraciones de Cl-a reflejaron ligeramente el impacto de las fluctuaciones en el nivel superior, pero generalmente hubo menos clorofila. En este nivel hipolimnético se observó que las estaciones 12 y 15 (las más someras, *Figs. 12d y 12e*) presentaron un comportamiento diferenciado del resto de las estaciones, el que se ve particularmente acentuado en la estación 15.

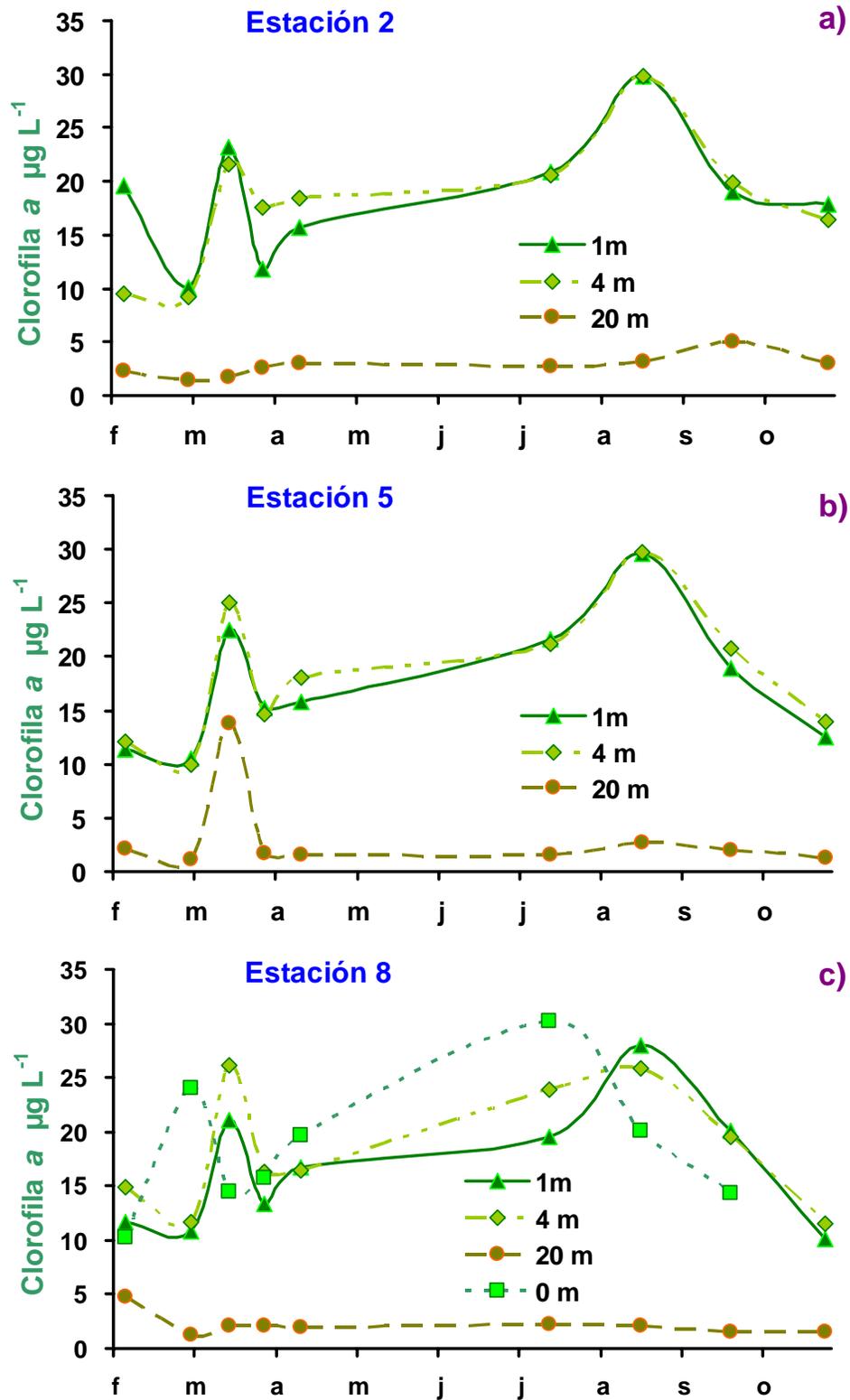
Los resultados de las concentraciones de Cl-a en las cinco estaciones, durante el periodo de estratificación, presentaron valores similares entre sí, lo que reflejó una capa de mezcla –que se extendió en profundidad hasta aproximadamente los 8 m (sin tomar en cuenta el efecto de basculación de la termoclina, Merino *et al.*, 2004)– más o menos homogénea a lo largo y ancho del embalse. La estación 12 tuvo la tendencia a presentar las mayores concentraciones de Cl-a (es particularmente notorio en los muestreos de julio y agosto y es ligeramente mayor a 4 m que a 1 m).

### II.2. Patrón de comportamiento general.

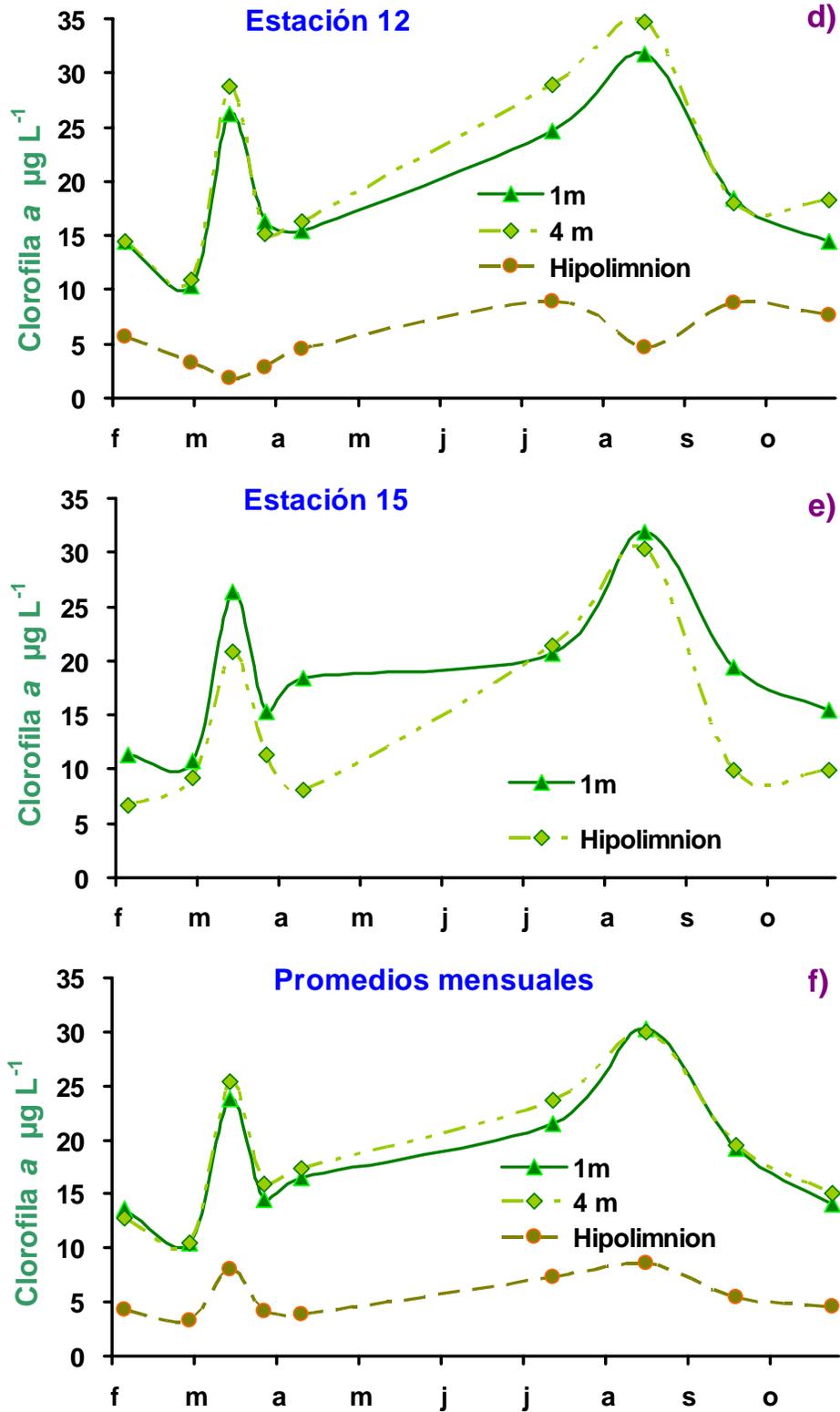
Como patrón general de comportamiento, puede apreciarse que hubo dos picos de Cl-a entre febrero y noviembre. El primero y más pequeño se presentó a finales de marzo (una media de 24 y 25  $\mu\text{g L}^{-1}$  en 1 y 4 m, respectivamente), ya iniciada la estratificación; el segundo tuvo lugar a finales de agosto (una media de 30  $\mu\text{g L}^{-1}$  tanto en 1 como en 4 m), cuando la estratificación se encontraba bien establecida (*Fig. 12f*).

---

<sup>12</sup> De aquí en adelante, la profundidad se denotará con la letra z.



**Figura 12.** Comportamiento de la concentración de Cl-a (en  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en cada nivel, en cada una de las estaciones de muestreo (12a – 12e) y los promedios de las cinco estaciones por nivel de muestreo (12f).



**Figura 12.** (Continuación) Comportamiento de la concentración de Cl-a (en  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en cada nivel, en cada una de las estaciones de muestreo (II.1.1a – II.1.1e) y los promedios de las cinco estaciones por nivel de muestreo (III.1.1f).

### III. Fitoplancton:

#### III.1. Composición florística

Como componentes principales del fitoplancton se ubicaron los grupos de algas listados en las tablas 2-6. Las divisiones más abundantes, tanto en densidad ( $\text{Cel ml}^{-1}$ ) como en biomasa ( $\mu\text{g ml}^{-1}$ ) fueron: Cyanoprokaryota<sup>13</sup> (15 especies), Bacillariophyceae<sup>14</sup> (diatomeas: 8 especies) y Chlorophyta (33 especies). La clasificación de las especies que conformaron la estructura del fitoplancton en el lapso de estudio se hizo tomando como base el sistema propuesto por Hoek *et al.* (1995) y se presenta en el Apéndice, al igual que las descripciones de las principales especies (aquéllas con porcentaje de densidad o biomasa superior al 5% en alguna profundidad durante el lapso de estudio). Asimismo, las especies más importantes se observan en las tablas 2 a 5.

#### III.2. Grupos y especies de algas

##### III.2.1. Definición de los grupos de algas

Para analizar los resultados y realizar las figuras, las especies de algas se adjudicaron a grupos formados con criterios mixtos ecológicos<sup>15</sup> y taxonómicos (*i. e.*, se procuró relacionar los órdenes, clases o divisiones –Nostocales, Chlorococcales, Bacillariophyceae, Dynophyta, etc.– con las condiciones ambientales predominantes cuando su presencia fue más abundante, tratando de identificar afinidades ecológicas) y no estrictamente a grupos equiparables taxonómicamente, por considerar que, al referirlas de esta manera, era más expedito visualizar patrones de comportamiento con respecto a los cambios ambientales. Tales grupos con sus géneros respectivos se listan a continuación, explicitando los criterios de agregación<sup>16</sup> de cada uno de ellos:

---

<sup>13</sup> Hoek *et al.* (1995) denominan Cyanophyta a la división; sin embargo, se consideró adecuado denominarla Cyanoprokaryota, aviniéndose a los acuerdos de nomenclatura más recientes (Komárek, *et al.*, 2003).

<sup>14</sup> Hoek *et al.* (1995) incluyen las diatomeas dentro de la división Heterokontophyta, clase Bacillariophyceae, a diferencia de Round *et al.*, (1990) quienes proponen la división Bacillariophyta.

<sup>15</sup> En este caso, no se hace referencia a los grupos ecológicos de Reynolds, sino a una agrupación surgida a partir de las necesidades de este trabajo, bajo los criterios detallados en el texto.

<sup>16</sup> Los criterios expuestos deberán de apreciarse bajo el entendido de que, no obstante las generalizaciones, ningún grupo taxonómico puede ser adscrito a una parte exclusiva del espectro

- I. **Cyanoprokaryota.** Grupo cuyas especies requieren condiciones muy particulares para llegar a establecerse (Reynolds, 1997); ciertas especies suelen presentarse característicamente en ambientes que han experimentado aumento en el ingreso de nutrimentos al sistema (Mastin, *et al.*, 2002; Watson, McCauley y Downing, 1997 *In* Ferber *et al.*, 2004); incluye tres órdenes: a) **Chroococcales.** Abarca especies coloniales de células pequeñas que proliferan en cuerpos de agua lénticos meso- a eutróficos, aunque no están restringidas a tales hábitats (Reynolds, 1997). Géneros *Microcystis*, *Snowella*, *Woronichinia*, *Merismopedia*, células afines a *Dactylococcopsis* y *Chroococcus*; b) **Nostocales.** Comprende organismos capaces de fijar N atmosférico cuando son deficientes las fuentes de nitrógeno como nitratos o amonio, lo que les da una ventaja potencial cuando el crecimiento se encuentra limitado por N (Reynolds, 1997). Géneros *Anabaena*, *Aphanizomenon* y *Cylindrospermopsis*, y c) **Oscillatoriales.** Incluye especies adaptadas a bajas intensidades luminosas, la mayoría de cuyas poblaciones tiene una fase de crecimiento adherida a un sustrato (Reynolds, 1997). Géneros *Geitlerinema*, *Pseudanabena* y *Lyngbya*.
- II. **Diatomeas (Bacillariophyceae),** de las cuales suele considerarse que varias de las especies planctónicas pennales –como algunas de las observadas en Valle de Bravo– se encuentran asociadas a condiciones de mesotrofia-eutrofia (Hall y Smol, 1999; Reynolds, 1998). En particular, la presencia de *Fragilaria crotonensis* –que, como se verá, en Valle de Bravo fue abundante– se considera un claro indicio de tendencia a las primeras fases de eutrofia (Thompson y Rhee, 1994) o de lagos altamente productivos, al igual que *Nitzschia* y *Ulnaria acus* (Reynolds, 1997). Por otra parte, a las especies planctónicas centrales del tipo de *Cyclotella* se les ha asociado con sistemas oligotróficos poco mineralizados –aunque se presentan excepciones específicas a esta referencia general– (Thompson y Rhee, 1994; Reynolds, 1997, 1998; Hall y Smol, 1999) mientras que a las del tipo de *Aulacoseira* con

---

trófico (Reynolds, 1998) dado que los organismos que estos *taxa* engloban pueden presentarse en rangos amplios del mismo.

sistemas eutróficos. Géneros: a) **Pennales**: *Fragilaria*, *Nitzschia*, *Ulnaria*; b) **Centrales**: *Cyclotella*, *Aulacoseira*, *Urosolenia*.

- III. **Chlorophyta Chlorococcales**, grupo del que se considera que varios de sus integrantes presentan afinidad hacia aguas eutróficas, ya que pueden verse favorecidos cuando se encuentran disponibles cantidades relativamente altas de nutrimentos inorgánicos (Margalef, 1983; Reynolds, 1997; Borics, *et al.*, 2003). Incluye especies poco comestibles por los herbívoros a pesar de sus pequeñas proporciones, o protegidas de la digestión por envolturas gelatinosas o delgadas paredes celulares maternas (Porter, 1973, *In* Komárková, 1989). Géneros principales: *Oocystis*, *Dictyosphaerium*, *Tetraedron*, *Nephrocystium*, *Eutetramorus*, *Pseudosphaerocystis*, *Micractinium*, *Coelastrum*, *Scenedesmus*.
- IV. **Zygnematales**, Chlorophyta conjugadas, en este caso ticoplanctónicas<sup>17</sup>: propiamente litorales que cuando tienen crecimientos masivos frecuentemente liberan filamentos hacia la columna de agua como parte de su ciclo de vida (Margalef, 1983; Johnson, 2003). De acuerdo con Salmaso (2000), la proliferación del género *Mougeotia* es favorecida por su baja velocidad de hundimiento y por su resistencia a la presión por herbivoría; el mismo autor la asocia con un rango trófico medio. Género *Mougeotia* sp., que suele encontrarse en aguas de baja reserva alcalina (Canter-Lund y Lund, 1995).
- V. **Desmidiiales**, Chlorophyta conjugadas; las encontradas en este estudio son planctónicas (Margalef, 1983; Brook 2003 a y b) y se consideran propias de aguas relativamente limpias con poca materia orgánica (género *Staurastrum*, Sládecek *et al.*, 1981; Brook, 2003b) a ligeramente eutróficas o eutróficas (géneros *Closterium* y *Cosmarium*, Reynolds, 1998; Brook, 2003 a y b). Géneros *Cosmarium*, *Staurastrum* y *Closterium*.

---

<sup>17</sup> En el uso de este término, suele sobreentenderse el significado –a pesar de su variabilidad– sin precisar el sentido en el que se está empleando. De acuerdo con Wehr y Sheat (2003) una especie ticoplanctónica sería aquella que, *siendo predominantemente planctónica, fuera capaz de prolongar su sobrevivencia aun encontrándose encima o dentro de los sedimentos*; sin embargo, en este caso la acepción aparentemente se refiere a organismos que normalmente crecen adheridos a un sustrato y que eventualmente liberan elementos hacia la columna de agua, ya sea para cumplir una parte de su ciclo de vida o accidentalmente, lo cual coincide con la definición de pseudoplancton (ticoplancton) de Round (1979).

## CONCLUSIONES:

De acuerdo con la información analizada en este trabajo, en el embalse de Valle de Bravo se observó que, en el periodo de estudio:

1. El comportamiento hidrológico fue el propio de un cuerpo de agua monomítico cálido, eutrófico, con una prolongada época de estratificación de alrededor de ocho meses: de principios de marzo a finales de octubre de 2002.
2. En relación con la concentración de nutrimentos, el embalse se comportó como eutrófico, mostrando como rasgo distintivo durante la mayor parte de la estratificación elevadas concentraciones de nutrimentos, anoxia (y desnitrificación) en el hipolimnion, así como un abatimiento de los mismos y deficiencia de nitrógeno en el epilimnion, todo ello característico de la eutrofia.
3. La información aportada por el presente trabajo indica que durante la estratificación el nitrógeno fue el nutrimento limitante por lo menos en dos ocasiones, en mayo y en julio, en términos de las concentraciones mínimas de fósforo y nitrógeno y de la relación NID:FRT; por su parte, la composición fitoplanctónica y la elevada presencia de heterocitos durante la estratificación tardía así lo sugieren.
4. Las variaciones de biomasa -como Cl-a y como peso húmedo- fueron considerables, lo que se atribuye a la doble naturaleza que presenta el embalse: menos productivo durante la mezcla en columna de agua, y más productivo durante la estratificación.
5. Los cambios observados en la composición de especies fitopláncticas se encontraron coherentemente asociados con las condiciones físico-químicas predominantes en el embalse: especies de mezcla (*i. e.* diatomeas) o de estratificación (*i. e.* cianoprocariontes con aerotopos) durante la época prevista y especies adecuadas a la deficiencia (*i. e.* cianoprocariontes fijadoras de nitrógeno) o abundancia (*i. e.* Chlorococcales) de nutrimentos en el periodo correspondiente.
6. Se ha confirmado la presencia de cianoprocariontes potencialmente tóxicos (*i. e.* *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermopsis*) y se han

asociado con las fases de estratificación en el embalse, por lo que es entre los meses de abril a octubre que se pueden dar los mayores problemas de salud en el embalse.

7. Es importante señalar que, en un embalse como Valle de Bravo: tropical atemperado por la altura, la determinación de especies implica una problemática por el momento insuficientemente resuelta: morfológicamente, diversas especies coinciden con morfotipos descritos para zonas templadas, con regímenes de temperaturas diferentes, aunque también eutróficos. La carencia de claves taxonómicas específicas para regiones tropicales y las semejanzas morfológicas observadas, llevan a asignar el nombre próximo a las especies tropicales, aun en condiciones ecológicas diferentes.
8. En el hipolimnion se encontraron especies no presentes en el epilimnion, lo que lleva a recomendar que se tomen muestras para fitoplancton en el metalimnion para poder puntualizar las causas de su presencia, que de otra manera quedan como especulaciones e inferencias.

## LITERATURA CITADA:

- ALCOCER, J.; A. Lugo; E. Escobar; M. R. Sánchez & G. Vilaclara, 2001. *Water column stratification and its implications in the tropical warm monomictic lake Alchichica, Puebla, México. Verh. Internat. Verein. Limnol.* 27(5):3166-3169.
- BARONE R. & L. Naselli-Flores, 2003. *Distribution and seasonal dynamics of Cryptomonads in Sicilian water bodies. In L. Naselli-Flores, J. Padisák, M. T. Dokulil (Eds), 2003. Phytoplankton and Equilibrium Concept: The Ecology of Steady-State Assemblages. Hydrobiologia* 502:325-329
- BEYRUTH, Z., 2000. *Periodic disturbances, trophic gradient and phytoplankton characteristics related to cyanobacterial growth in Guarapiranga Reservoir, São Paulo State, Brazil. Hydrobiologia* 424:51-65
- BORICS G., B. Tóthmérész, I. Grigorszky, J. Padisák, G. Várbyró & S. Szabó, 2003. *Algal assemblage types of bog-lakes in Hungary and their relation to water chemistry, hydrological conditions and habitat diversity. In L. Naselli-Flores, J. Padisák, M. T. Dokulil (Eds), 2003. Phytoplankton and Equilibrium Concept: The Ecology of Steady-State Assemblages. Hydrobiologia* 502:145-155.
- BOURRELLY, P., 1970. **Les algues D'eau Douce. Initiation á la Systématique. Tome III. Les algues bleues et rouges, les eugléniens, peridiniens et cryptomonadines.** N. Boubée & Cie. Paris-VI.
- BROOK, A. J., 2003a. *Chlorophyta: Order Zygnematales, Suborder Closteriineae. In John D. M., B. A. Whitton & A. J. Brook (Eds.). The Freshwater Algal Flora of the British Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae.* Cambridge University Press. United Kingdom, pp. 516-530.
- BROOK, A. J., 2003b. *Chlorophyta: Order Zygnematales, Suborder Desmidiineae. In John D. M., B. A. Whitton & A. J. Brook (Eds.). The Freshwater Algal Flora of the British Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae.* Cambridge University Press. United Kingdom, pp. 530-593.
- BULKAROV, N. G. & A. P. Levich, 1999. *The nitrogen:phosphorus ratio as a factor regulating phytoplankton community structure. Arch. Hydrobiol.* 146, 1, pp. 3-22.

- CANTER-LUND, H & J. W. G. Lund, 1995. **Freshwater Algae. Their microscopic world explored.** Biopress Ltd. Reprint 1998. 360 pp.
- CARMICHAEL, W., 1994. *Toxinas de cianobacterias.* **Investigación y ciencia.** Marzo, pp. 22-29.
- CHÁVEZ, A. M. M., 1986. **Contribución al conocimiento de la estructura y composición de las comunidades planctónicas de Valle de Bravo, Edo. De México.** Tesis de Licenciatura (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- COMAS, G. A., 1996. **Las Chlorococcales dulciacuícolas de Cuba.** Bibliotheca Phycologica. J. Cramer. Berlin. Stuttgart.
- DESIKACHARY, T. V. 1959. **Cyanophyta.** Indian Council Agricultural Research, New Delhi. 686 pp.
- DILLARD, G. E., 1989. **Freshwater Algae of the Southeastern United States. Part 1. Chlorophyceae: Volvocales, Tetrasporales and Chlorococcales.** J. Cramer. Berlin. Stuttgart.
- FERBER, L. R.; S. N. Levine, A. Lini & G. P. Livingston, 2004. *Do cyanobacteria dominate in eutrophic lakes because they fix atmospheric nitrogen?* **Freshwater Biology.** 49:690-708.
- GARCÍA, E., 1981. **Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen.** Instituto de Geografía, UNAM.
- GERRATH, J., F., 2003. *Conjugating green algae and desmids.* In **Freshwater Algae of North America. Ecology and Classification.** J. D. Wehr & R. G. Sheath, Eds. Academic Press, USA, pp. 353-381.
- HALL, R. I. & J. P. Smol, 1999. *Diatoms as indicators of lake eutrophication.* In **The Diatoms : Applications for the environmental and Earth Sciences.** E. F. Stoermer & J. P. Smol (Eds.), 1999. Cambridge University Press, pp. 128-168.
- HANUŠ E. und G. Gärtner, 1988. **Chlorophyta II. Tetrasporales, Chlorococcales Gloeodendrales.** Gustav Fischer Verlag. Stuttgart – New York.
- HOEK, C.; D. G. Mann & H. M. Jahns, 1995. **Algae. An introduction to Phycology.** George Thieme Verlag, Stuttgart as *Algen.* Cambridge, University Press. 623 pp.

- HUBBER-PESTALOZZI, G. 1962. **Das phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. 2 Teil. 1. Hälfte. Chrysophyceen. Farbose flagellaten heterokonten.** E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart 1941.
- IBARRA A. A., 1997. **Distribución y abundancia del plancton superficial en el embalse de Valle de Bravo, México, y su relación con la calidad del agua.** Tesis de Maestría en Ciencias (Biología en Sistemas y Recursos Acuáticos). Facultad de Ciencias, UNAM, México. 138 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, 1996. **Anuario estadístico del Estado de México, México.**
- JEFFREY, S. W. & G. F. Humprey, 1975. *New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c<sub>1</sub> y c<sub>2</sub> in higher plants, algae and natural phytoplankton.* **Biochem. Physiol. Pflanz.** (167):191-194.
- JOHN D. M., B. A. Whitton & A. J. Brook (Eds.), 2003. **The Freshwater Algal Flora of the British Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae.** Cambridge University Press, United Kingdom, 702 pp.
- JOHN D. M. & P. M. Tsarenko, 2003. *Chlorophyta: Order Chlorococcales.* In John D. M., B. A. Whitton & A. J. Brook (Eds.). **The Freshwater Algal Flora of the British Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae.** Cambridge University Press. United Kingdom, pp. 327-409.
- JOHNSON, L. R., 2003. *Chlorophyta: Order Zygnematales, Family Zygnemataceae.* In John D. M., B. A. Whitton & A. J. Brook (Eds.). **The Freshwater Algal Flora of the British Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae.** Cambridge University Press. United Kingdom, pp. 480-510.
- KARL-ERICH L. & I. Chorus, 1998. *The effect of water column mixing on phytoplankton succession, diversity and similarity.* **Journal of Plankton Research.** 20(10):1927-1951

- KENEFIK, S. L.; S. E. Hrudey; H. G. Peterson & E. E. Prepas, 1993. *Toxin release from Microcystis aeruginosa after chemical treatment*. **Wat. Sci. Tech.** (27):433-440.
- KOMÁREK, J. y B. Fott, 1983. *Chlorococcales*. pp. 1-1044, *In* Hubber-Pestalozzi, G. (Ed.). **Das Phytoplankton des Süßwassers**. 7(1). Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart.
- KOMÁREK, J.; G. Montejano, M. Gold-Morgan & R. Tavera, 1996. *Taxonomic identity and distribution of tropical cyanoprokaryotes (Cyanophyta, Cyanobacteria): an example from central Mexico*. **Nova Hedwigia, Beiheft.** (112):49-54.
- KOMÁREK, J., H. Kling & J. Komárková, 2003. *Filamentous Cyanobacteria*. *In* **Freshwater Algae of North America. Ecology and Classification**. J. D. Wehr & R. G. Sheath, Eds., Academic Press, USA, pp. 117-196.
- KOMÁREK, J. y J. Komárková-Legnerová, 2002. *Contribution to the knowledge of planktic cyanoprokaryotes from central México*. **Preslia, Praha.** (74):207-233.
- KOMÁREK, J y K. Anagnostidis, 1989. **Modern approach to the classification system of Cyanophytes 4 – Nostocales**. *Arch Hydrobiol. Suppl.* **82,3** (Algological Studies **56**) 247-345. Stuttgart.
- KOMÁREK, J y K. Anagnostidis, 1999. **Cyanoprokaryota. 1. Teil: Chroococcales**. Gustav Fischer. Jena Stuttgart Lübeck Ulm.
- KOMÁREK, J y K. Anagnostidis, 2005. **Cyanoprokaryota. 2. Teil: Oscillatoriales**. Elsevier GmbH, München. 759 pp.
- KOMÁRKOVÁ, J., 1989. *Changes of phytoplankton assemblage during the spring period in the moderately eutrophic Rímov reservoir (Czechoslovakia)*. **Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.** (33):419-433
- KOTAK, B. G.; E. E. Prepas; S.E. Hrudey, 1994. *Blue green algal toxins in drinking water supplies*. **Research in Alberta Lake line.** 37-42.
- KRAMER K. y H. Lange-Bertalot, 1991. *Bacillariophyceae. 3 Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. *In* Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. & Mollenhauer, D. (eds.). **Süßwasserflora von Mitteleuropa**. 2(3):576p. Stuttgart, Fischer.

- LAMPERT, W. y U. SOMMER. (1997) **Limnoecology : the ecology of lakes and streams**. Oxford University Press, USA. 382 pp.
- LARELLE, D. F & L. J. Duivenvoorden, 2000. *A two-part model linking multidimensional environmental gradients and seasonal succession of phytoplankton assemblages*. **Hydrobiologia** **438**:13-24.
- LEWIS JR. W. M., 1983. *A Revised Classification of Lakes Based on Mixing*. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** **40**:1779-1787.
- LEWIS, J. M. & J. D. Dodge, 2003. *Phylum Pyrrophyta (Dinoflagellates)*. In John D. M., B. A. Whitton & A. J. Brook (Eds.). **The Freshwater Algal Flora of the British Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae**. Cambridge University Press. United Kingdom, pp. 186-207.
- LORENZEN, C. J., 1967. *Determination of chlorophyll and phaeopigments: Spectrophotometric equations*. **Limnol. Oceanogr.** (**12**):361-385.
- LORENZEN, C. J. & S. W. Jeffrey, 1980. **Determination of chlorophyll in seawater. Report of intercalibration test**. UNESCO technical papers in Marine Science 35. 20 pp.
- MARGALEF, R., 1983. **Limnología**. Ed. Omega, Barcelona, 1010 pp.
- MARTÍNEZ, R. E., 1998. **Determinación de ficotoxinas en la presa de Valle de Bravo**. CNA-IMTA.
- MASTIN, J. B; J. H. Rodgers Jr. & T. L. Deardoff, 2002. *Risk evaluation of cyanobacteria-dominated algal blooms in a North Louisian reservoir*. **Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery** **9**:103-114.
- MEIJER, M.-L.; M. W. De Haan; A. W. Breukelaar & H. Buiteveld, 1990. *Is reduction of the benthivorous fish an important cause of hig transparency following biomanipulation in shallow lakes?*. **Hidrobiología**. **200/201**:303-315.
- MERINO, M. *et al.*, 2002a. *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*. Proyecto aprobado de CONACYT. Convocatoria de fondos mixtos SEMARNAT-CONACYT 1125.
- MERINO M.; E. Monroy-Ríos; S. Castillo; J. Ramírez-Zierold; M. E. Gallegos & J. Alcocer, 2002b. *Wind-Driven Upwelling Indicated by Hydrological Variability in*

- a Tropical Eutrophiced Reservoir, Valle de Bravo, México. 4th International Conference on Reservoir Limnology and Water Quality EXTENDED ABSTRACTS.* Res Lim. 2002:228-231. České Budějovice, Czech Republic, August 12-16, 2002.
- MERINO M.; E. Monroy-Ríos; G. Vilaclara; S. Castillo; M. E. Gallegos & J. Ramírez-Zierold, (En prensa). *Physical and chemical limnology of a wind-swept reservoir in the tropical highlands of Mexico. Aquatic Ecology.*
- MONROY, E.; M. Merino; G. Vilaclara, S. Castillo; M. Gallegos, y J. Ramírez, 2002. *Dinámica de nutrientes en un embalse tropical eutrofizado, Valle de Bravo, México.* XI Congreso AEL y III Congreso Ibérico de Limnología, Madrid, España, 17-21 Junio.
- MONROY, E., 2004. **Hidrología del embalse de Valle de Bravo, México.** Tesis de maestría. Posgrado en ciencias del Mar y Limnología – UNAM, México, 98 pp.
- NASELLI-FLORES, L & R. Barone, 2000. *Phytoplankton dynamics and structure: a comparative analysis in natural and man-made water bodies of different trophic state.* **Hydrobiologia.** **438**:65-74.
- NOVARINO, G., 2003. *Phylum Cryptophyta (Cryptomonads).* In John D. M., B. A. Whitton & A. J. Brook (Eds.). **The Freshwater Algal Flora of the British Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae.** Cambridge University Press. United Kingdom, pp. 180-185.
- NOVELO, M. E., 1998. **Floras ficológicas del Valle de Tehuacán, Puebla.** Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, UNAM, México. 599 pp
- NUSCH, E. A., 1980. *Comparison of different methods chlorophyll and phaeopigment determination.* **Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.** **(14)**:14-36
- ODUM, H. P., *et al.*, 1988. **Environmental systems and Public Policy.** Ecological Economics Program. University of Florida, USA.
- OLVERA, V. V., 1990. **Estudio de la eutrofización del embalse Valle de Bravo, México.** Tesis de Maestría (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM, México.

- OLVERA, 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. CNA-IMTA.
- OLVERA, V. V., 1996. **Limnología y manejo de cuenca de la presa de Valle de Bravo, México.** Tesis de Doctorado (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- PÉREZ-MARTÍNEZ, C. & P. Sánchez-Castillo, 2001. *Temporal occurrence of Ceratium hirundinella in Spanish reservoirs.* **Hydrobiologia.** **452**:107-107.
- PÉREZ-MARTÍNEZ, C. & P. Sánchez-Castillo, 2002. *Winter dominance of Ceratium hirundinella in a Southern North-Temperate reservoir.* **Journal of Plankton Research.** **24(2)**:89-96.
- PAERL, 1988.
- PHILLIPOSE, M. T., 1967. **Chlorococcales.** Monographs on Algae. Indian Council of Agricultural Research. New Delhi, ICAR. 365 pp.
- PIZZOLON, L., 1996. *Importancia de las cianobacterias como factor de toxicidad en las aguas continentales.* **Interciencia** **21(6)**:239-245.
- POPOVSKÝ J. und L. A. Pfiester, 1990. **Süßwasserflora von Mitteleuropa. Dinophyceae (Dinoflagellida).** Gustav Fischer Verlag. Jena-Suttgart. 272 pp.
- PRESCOTT, G. W.; C. E. Bicudo & W. C Vinyard, 1982. **A Synopsis of North American Desmids. Part II. Desmidiaceae: Placodermae. Section 4.** University of Nebraska. Lincoln & London, 700 pp.
- RAMÍREZ, P.; S. Nandini; S. Sarma; E. Robles; I. Cuesta & D. Hurtado, 2002. *Seasonal variations of zooplankton abundance in the freshwater reservoir Valle de Bravo (Mexico).* In J. Alcocer & S.S.S. Sarma (Eds.). **Advances in Mexican Limnology: Basic and Applied Aspects.** Developments in Hydrobiology. Kluwer Academic Publishers. **163**:99-108.
- REYNOLDS, C. S., 1989. *Physical determinants of phytoplankton succession.* In Sommer, U. (Ed.). **Plankton ecology: succession in plankton communities.** Springer-Verlag, pp. 9-51.

- REYNOLDS, C. S., 1997. **Vegetation Processes in the Pelagic: a Model for Ecosystem Theory**. Excellence in Ecology. Otto Kinne (Ed.). Ecology Institute. Oldendorf. 371 pp.
- REYNOLDS, C. S., 1998. *What factors influence the species composition of Phytoplankton in lakes of different trophic status?*. **Hydrobiologia**. **369/370**:11-26.
- RODIER, J., 1981. **Análisis de las aguas**. Omega, Barcelona. 659 pp.
- ROUND, F.E. 1979. **The ecology of algae**. Cambridge University Press.
- 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.
- SALVIA–CASTELVI, M., A. Dohet, P. Vander Borght & L. Hoffmann, 2001. *Control of the eutrophication of the reservoir of Esch-sur-Sûre (Luxembourg): evaluation of the phosphorous removal by predams*. **Hydrobiologia**. **459**:61-71
- SOMMER, U., Z. Maciej Gliwicz, W. Lampert & A. Duncan, 1986. *The PEG\*-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters*. **Arch. Hydrobiol.** **106(4)**:433-471.
- SARH, 1979. **Clasificación del sistema hidroeléctrico Miguel Alemán, Cuenca del Río Cutzamala**. México.
- SHOEMAKER, C. A., 1977. *Mathematical construction of ecological models*. In Hall, A. S & J. W. Day Jr., 1977. **System and models. Terms and Basic Principles**. Louisiana State University. U.S.A., pp. 75-114.
- SONDERGAARD, M.; E. Jeppesen; E. Mortensen; E. Dall; P. Kristensen & O. Sortkjaer, 1990. *Phytoplankton biomass reduction after planctivorous fish reduction in a shallow, eutrophic lake: a combined effect of reduced internal P-loading and increased zooplankton grazing*. **Hydrobiologia**. **200/201**:229-240.
- STARMACH K., 1996. **Flora Ślaskowa Polski. Tom 2. Cyanophyta-Sinice. Glaucophyta-Glaucophity**. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa.
- STRAMSKI, D., A. Bricaud, & A. Morel, 2001. *Modeling the inherent optical properties of the ocean based on the detailed composition of planktonic community*. **Applied Optics**. **(40)**:2929-2945.

- SVIRIZHEV, Y. M., V. P Krysanova & A. A. Voinov, 1984. *Mathematical modelling of a fish pond ecosystem*. **Ecol. Modelling**. 21:315-337.
- TALLING, J. F., 1989. *Phytoplankton and primary production – chairmans' overview* **Arch. Hydrobiol. Beih.** *Ergebn. Limnol.* (33):361-362.
- TEUBNER, K., 2003. *Phytoplankton, pelagic community and nutrients in a deep oligotrophic alpine lake: ratios as sensitive indicators of the use of P-resources (DRP:DOP:PP and TN:TP.SRSi)*. **Water Research**. 37(2003):1583-1592.
- THOMPSON, P. A. & G. Y. Rhee, 1994. *Phytoplankton responses to eutrophication*. **Advances in Limnology. Algae and Water Pollution**. Stuttgart: Schweizerbart. Vol. 42, Cap. 5, pp. 126-166.
- TRIFONOVA, I. S., 1988. *Oligotrophic–Eutrophic succession of Lake Phytoplankton*. In Round, F. E. (Ed.) **Algae and the Aquatic Environment**. England, Biopress, pp. 107-124.
- TRIFONOVA, I. S., 1989. *Changes in community structure and productivity of phytoplankton as indicators of lake and reservoir eutrophication*. **Arch. Hydrobiol. Beih.** *Ergebn. Limnol.* (33):363-371.
- VILA CLARA, G. 1989. *Estrategias de adaptación ecológica del fitoplancton*. **Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural**. 40XL:71-76.
- VILA CLARA, G.; M. Chávez-Artega y A. Lugo-Vázquez, 2002. *Valores guía de calidad de aguas continentales naturales y contaminadas con materia orgánica según el sistema de saprobios*. **Revista especializada en Ciencias Químico-Biológicas**. 5(1):14-19.
- VINÇON-LEITE, B., B. Tassin & J–C. Druart, 2002. *Phytoplankton variability in Lake Bourget: Phytoplankton dynamics and meteorology*. **Lakes & Reservoirs: Research and Management**. 7:93-102
- WETZEL, R. G., 2001. **Limnology. Lake and River Ecosystems**. Academic Press. Third Edition. 1006 pp.
- WETZEL, R. G. & G. E. Likens, 1991. **Limnological Analyses**. Springer-Verlag. Second Edition. 391 pp.
- WHITTON, B. A., 2003. *Phylum Cyanophyta (Cyanobacteria)*. In John D. M., B. A. Whitton & A. J. Brook (Eds.). **The Freshwater Algal Flora of the British**

- Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae.** Cambridge University Press. United Kingdom, pp. 25-122.
- WOLOWSKI, K., 2003. *Phylum Euglenophyta*. In John D. M., B. A. Whitton & A. J. Brook (Eds.). **The Freshwater Algal Flora of the British Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae.** Cambridge University Press. United Kingdom, pp. 144-179.
- WOOD, L. W., 1985. *Chloroform-methanol extraction of Chlorophyll a*. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** 42:38-43.
- XU, F-L., S. Tao, R. W. Dawson, P-G. Li & J. Cao, 2001. *Lake ecosystem health assessment: Indicators and Methods*. **Wat. Res.** Vol. 35, No. 13, pp. 3157-3167.
- ŽÁKOVÁ, Z., 1989. *Phytoplankton of reservoirs in relation to the trophic potential of inflow water*. **Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.** (33):373-376.

## APÉNDICE 1

### CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA Y DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESPECIES DE ALGAS ENCONTRADAS EN EL FITOPLANCTON DEL EMBALSE DE VALLE DE BRAVO EN EL PERIODO FEBRERO-NOVIEMBRE DE 2002.

1. Clasificación Taxonómica (basada en la clasificación general propuesta por Van den Hoek *et al.*, 1995) de las especies encontradas en el fitoplancton del embalse de Valle de Bravo, Estado de México, en el periodo Febrero - Noviembre de 2002. Los nombres han sido validados mediante el *Index Nominum Algarum* (<http://ucjeps.berkeley.edu/INA.html>) para las especies que se encuentran indexadas y con *Volume Diatom Research* y Rouolek (1999 y 2003) para las diatomeas. En general, no se menciona la sinonimia a menos que se haya detectado una cita para México con otros nombres para la especie oficial. Se observaron en total 95 *taxa*, de los cuales 68 se listan a continuación<sup>1</sup>.

Para la determinación de especies se emplearon los siguientes autores: para Chroococcales Komárek y Anagnostidis (1999); para cianoprocariontas filamentosas, Komárek *et al.* (2003) para géneros, Desikachary (1959) y Komárek y Anagnostidis (2005) para especies; para Chlorococcales, Komárek y Fott (1983) y Comas (1996); para Diatomeas, Round *et al.* (1990), Hustedt (1930a y b, 1959, 1961-1966) y Krammer y Lange-Bertalot (1986-1990); para Zygnematales, Gerrath (2003) para géneros; para Desmidiiales, Prescott *et al.* (1982); para Dinophyceae, Popovský y Pfiester (1990).

---

<sup>1</sup> Los *taxa* no considerados en este listado, lo fueron por haber sido observados ocasionalmente, muy escasamente y/o por encontrarse en el grupo de especies *Incertae Sedis*

**Tabla 9.** Clasificación taxonómica de las especies de algas encontradas en el fitoplancton del embalse de valle de bravo en el periodo febrero-noviembre de 2002

DIVISIÓN:	CLASE:	ORDEN:	FAMILIA:	ESPECIES:		
CYANOPROKARYOTA	Cyanophyceae	Chroococcales	Merismopediaceae	<i>Merismopedia</i> sp.		
				<i>Snowella septentrionalis</i> KOMÁREK ET HINDÁK 1988		
				<i>Woronichinia</i> cf. <i>naegeliana</i> (UNGER) ELENKIN 1933		
			Microcystaceae	<i>Microcystis aeruginosa</i> (KÜTZING) KÜTZING 1846		
			Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i> sp.		
		¿?	Aff. <i>Dactylococcopsis</i>			
		Oscillatoriales	Pseudoanabaenaceae	<i>Geitlerinema amphibium</i> (AGARDH EX GOMONT) ANAGNOSTIDIS 1989		
				<i>Pseudanabaena mucicola</i> (NAUMANN ET HUBER - PESTALOZZI) SCHWABE 1964		
			Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya birgei</i> SMITH, C. M. 1916		
		Nostocales	Nostocaceae	<i>Anabaena</i> cf. <i>ballyganglii</i> BANERJI 1938		
				<i>Anabaena</i> sp. 1		
				<i>Anabaena</i> sp. 2		
				<i>Anabaena</i> sp. 3		
				<i>Aphanizomenon</i> aff. <i>flos-aquae</i> (LINN.) RALFS EX BORN. ET FLAH. 1850-1888		
				<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (WOLOSZYNSKA) SEENAYYA ET SUBBA RAJU 19-		
		HETEROKONTOPHYTA	Bacillariophyceae	Centrales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella ocellata</i> PANTOCSEK 1901? 1912?
						<i>Cyclotella comensis</i> GRUNOW IN VAN HEURCK (1888?) 1882?
<i>Cyclotella stelligera</i> CLEVE AND GRUNOW 1881? (IN VAN HEURCK ) 1882?						
<i>Stephanodiscus niagarae</i> EHRENBERG 1845						
Aulacoseiraceae	<i>Aulacoseira</i>					

CHLOROPHYTA		Pennales		<i>granulata</i> (EHRENBERG) SIMONSEN 1979
			Rhizosoleniaceae	<i>Urosolenia eriensis</i> (H.L. SMITH) ROUND & CRAWFORD 1990
			Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i> <i>crotonensis</i> KITTON 1869
				<i>Fragilaria capucina</i> DEMAZIÉRES 1925
				<i>Ulnaria (Synedra)</i> <i>acus</i> KÜTZING 1844
	Bacillariaceae	<i>Nitzschia acicularis</i> (KÜTZ) W. SMITH 1853		
	Chlorophyceae	Chlorococcales	Characiaceae	<i>Ankyra ancora</i> (G. M. SMITH) FOTT
				<i>Schroederia settigera</i> (SCHRÖD.) LEMM. 1898
			Hydrodictyceae	<i>Pediastrum simplex</i> MEYEN 1829
			Micractiniaceae	<i>Micractinium</i> <i>pusillum</i> FRES. 1858
			Botryococcaceae	<i>Dictyosphaerium</i> <i>pulchellum</i> WOOD 1872
				<i>Botryococcus braunii</i> KÜTZ. 1849
			Radiococaceae	<i>Eutetramorus fotti</i> (HIND.) KOM. 1979
			Oocystaceae	<i>Lagerheimia ciliata</i> (LÁGERH.) CHOD. 1895
				<i>Oocystis lacustris</i> CHODAT 1897
<i>Nephrocytium</i> <i>schilleri</i> (KAMM.) COM. 1980				
Chlorellaceae	<i>Monoraphidium</i> aff. <i>dywobskii</i> (WOLOSZ.) HIND. et KOM-LEGN. in KOM-LEGN. 1969			
	<i>Tetraedron minimum</i> (A. BR.) HANSGIRG, 1888			
	<i>Tetraedron</i> <i>limneticum</i> BERGE 1900			
Coelastraceae	<i>Coelastrum</i> <i>reticulatum</i> (DANGEARD) SENN. 1899 var. <i>reticulatum</i> (DANGEARD) SENN.			

				1899 <i>Coelastrum indicum</i> TURNER, 1892	
			Scenedesmaceae	<i>Scenedesmus</i> aff. <i>acunae</i> COM. 1980	
		Tetrasporales	Tetrasporaceae	<i>Tetraspora</i> sp. <i>Pseudosphaerocystis</i> aff. <i>neglecta</i>	
		Volvocales	Chlamidomonadaceae	<i>Chlamydomonas</i> sp.	
			Volvocaceae	<i>Eudorina</i> sp.	
	Zygnematophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Mougeotia</i> o <i>Debarya</i> sp.	
		Desmidiiales	Desmidiaceae	<i>Cosmarium</i> sp. 1	
				<i>Cosmarium</i> sp. 2	
				<i>Staurastrum muticum</i> (BRÉB.) RALFS 1848	
				<i>Staurastrum</i> <i>cingulum</i> (WEST ET WEST) G. M. SMITH (1621) 1922	
				<i>Staurastrum</i> <i>setigerum</i> CLEVE (1863) 1864	
				<i>Staurastrum</i> sp. 1	
				<i>Staurastrum</i> sp. 2	
				Peniaceae	<i>Closterium</i> sp. 1
					<i>Closterium</i> sp. 2
	<i>Closterium</i> sp. 3				
HETEROKONTOPHYTA	Chrysophyceae	Ochromonadales	Ochromonadaceae	<i>Ochromonas</i> sp.	
		Mallomonadales	Mallomonadaceae	<i>Mallomonas</i> sp.	
CRYPTOPHYTA	Cryptophyceae	Cryptomonadales	Cryptomonadaceae	<i>Cryptomonas</i> sp. 1	
				<i>Cryptomonas</i> sp. 2	
				<i>Cryptomonas</i> sp. 3	
				<i>Rhodomonas</i> <i>lacustris</i> PASCHER ET RUTTNER IN PASCHER & LEMMERMANN 1913	
DINOPHYTA	Dinophyceae	Gymnodiniales	Gymnodiniaceae	<i>Gymnodinium</i> sp.	
		Peridinales	Peridiniaceae	<i>Peridinium</i> sp.	
			Ceratiaceae	<i>Ceratium hirundinella</i> (O. F. MÜLLER) DUJARDIN NON SCHRANK 1841 fo. <i>robustum</i> (AMBERG) BACHMANN 1911	
EUGLENOPHYTA	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Euglena</i> sp.	
				<i>Trachelomonas</i> sp. 1	
				<i>Trachelomonas</i> sp. 2	
				<i>Trachelomonas</i> sp. 3	

2. Descripciones de las principales especies (con abundancias = 2 % en densidad o en biomasa en alguna ocasión, aunque se incluyeron algunas de las menos importantes por tener bien reconocidos y descritos sus caracteres). Las características que se reportan son las observadas en los ejemplares de Valle de Bravo, entre febrero y noviembre de 2002.

## CYANOPROCARYOTA

**Especie:** *Merismopedia* sp. MEYEN 1839

**Descripción:** Colonias microscópicas, pláncticas, aplanadas, cuadradas a rectangulares; de entre (4)-8-16-32-(64) células dispuestas más o menos densamente en una capa en el mismo plano de la colonia, en hileras paralelas cercanas entre sí. Envoltura mucilaginoso casi imperceptible, incolora, difluente, que sobresale hasta 1  $\mu\text{m}$  más allá del margen de las células. Células ovaladas con contenido homogéneo verde-azul pálido a marrón brillante, con 3 aerotopos. Reproducción por fisión binaria en dos planos perpendiculares uno de otro, hacia el plano de la colonia, en generaciones sucesivas; las células alcanzan el tamaño original antes de la siguiente división; desintegración de colonias. Dimensiones celulares: 1.9-2.7 x 1.4-2.0  $\mu\text{m}$ .

Las características la acercan a la especie *M. trolleri* Bachman 1920, con excepción de la cercanía con que se disponen las células entre sí, algo más laxamente en el espécimen de Valle de Bravo; Komárek y Anagnostidis (1999) mencionan que *M. trolleri* es una especie distribuida en toda la zona templada pero poco común, mientras que en cuerpos de agua tropicales la mención de su observación es dudosa. Nuestro espécimen también se acerca a *M. marssonii* Lemmermann 1900, pero se diferencia de esta especie porque la de Valle de Bravo presenta un mucílago más delgado (como el de *M. trolleri*) y generalmente no sobrepasa de 64 el número de células en una colonia, mientras que *M. marssonii* tiene usualmente hasta 128 o más células; además, al igual que con la especie anterior, los autores dudan que las citas para zonas tropicales sean

ciertas. Por estos motivos y coincidiendo con la opinión de Komárek *et al.* (1996)<sup>2</sup> acerca de lo inadecuado y problemático de emplear las claves taxonómicas de zonas templadas para identificar *taxa* tropicales, se optó por dejar la especie de Valle de Bravo como sp., considerando que probablemente se trate de una nueva especie.

En Valle de Bravo, *Merismopedia* sp. fue encontrada únicamente en 20 m; se presentó desde finales de marzo hasta noviembre, siendo relativamente abundante hasta junio (entre el 17 y el 39% en densidad, 1 y 3 % en biomasa) y llegando a ser la especie dominante en densidad durante agosto, octubre y noviembre (53, 87 y 69 % en densidad con 11,500, 29,000 y 43,300 cél ml<sup>-1</sup>, respectivamente; 6, 16 y 15 % en biomasa con 0.04, 0.1 y 0.2 µg ml<sup>-1</sup> respectivamente); en todos los casos se observó en buen estado aparente y con los aerotopos visibles, lo que puede parecer incongruente por la falta de luz útil a tal profundidad. Esto hace suponer que esta especie puede vivir bien en la región limítrofe entre la base de la zona eufótica y el metalimnion (alrededor de los 7-8 m de profundidad), y que puede pasar al hipolimnion y mantenerse en situación estable hasta su regreso a la zona iluminada, auxiliada por su capacidad de flotación.

**Especie: *Snowella* cf. *septentrionalis* KOMÁREK ET HINDÁK 1988**

**Descripción:** Colonias pláncnicas solitarias, esféricas (30–50 µm de diámetro) a ovals poco irregulares (40-60 x 25-40 µm), ocasionalmente compuestas, con una envoltura mucilaginosa tenue. El conjunto de tallos mucilaginosos se observan delgados, visibles sin tinción y se proyectan dicotómicamente hacia la periferia, partiendo desde el centro. Las células se observan con forma esférica a obovoide cuando se acaban de dividir, de 2.5-3.4 x

---

<sup>2</sup> Se seguirá el criterio de Komárek *et al.* (1996) para Cyanoprokaryota, aplicándose en general para todos los grupos fitopláncnicos de Valle de Bravo. Dicho criterio sostiene que no es correcto usar claves de zonas templadas para asignar especies y variedades a ejemplares de aguas tropicales que se parecen, pero no son iguales en las características usadas en la clave para diferenciar especies. Sólo en caso de un parecido considerable, se usará el *affine* ("parecido a") o el *confer* ("probablemente lo sea, pero no se tiene completa seguridad") cuando razonablemente pueda emplearse (por ejemplo, cuando la especie esté bien reconocida para aguas tropicales de características afines a las de Valle de Bravo).

1.7–2.2  $\mu\text{m}$ , adheridas a las terminaciones de tallos con ramificación dicotómica, dispuestas (escasamente en algunas ocasiones y poco más densamente en otras) en la periferia de la colonia, a menudo en grupos de cuatro células, dejando espacios evidentes entre sí; poseen un aerotopo en la región central de la célula.

Las características de los especímenes de Valle de Bravo coinciden con la descripción de esta especie plánctica, de Komárek y Anagnostidis (1999); sin embargo, se optó por dejarla como *confer* precisamente por encontrarse descrita exclusivamente para lagos de la zona templada norte. Estos mismos autores la citan como plánctica en lagos y estanques sin mencionar el grado trófico. Característica de la zona epilimnética en Valle de Bravo, estuvo presente, aunque poco abundante, en febrero y principios de marzo (3,200  $\text{cél ml}^{-1}$  y 2,000  $\text{cél ml}^{-1}$  respectivamente); a finales de marzo alcanzó el 5% de la biomasa total (0.6  $\mu\text{g ml}^{-1}$ , densidad de 54,500  $\text{cél ml}^{-1}$ ), aumentando al 9% de biomasa total a finales de abril (0.8  $\mu\text{g ml}^{-1}$ , densidad de 65,000  $\text{cél ml}^{-1}$ ); durante mayo y julio su presencia disminuyó (no llega al 2% de la biomasa total, con 5,900 y 21,800  $\text{cél ml}^{-1}$  respectivamente), mientras que alcanzó un pico máximo de 150,000  $\text{cél ml}^{-1}$  (38% de la densidad total, conformando el 6% de la biomasa total con 1.8  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ) hacia finales de agosto.

**Especie:** *Woronichinia cf. naegeliana* (UNGER) ELENKIN 1933

**Descripción:** Células de color verde-azul a marrón, ovales, con aerotopos numerosos, cada una adherida al extremo de un tallo mucilaginoso, por lo que se distribuyen radialmente en la capa periférica de la colonia; tamaño de 5.0-5.5 x 2.5–3.0  $\mu\text{m}$ . División celular en dos planos perpendiculares uno de otro, dando un aspecto cordiforme a las dos células hijas antes de su separación completa; las células se separan inmediatamente después de la división (a diferencia de *Gomphosphaeria*, *Woronichinia* no mantiene juntas las células hijas durante un lapso prolongado, Komárek *et al.*, 2003). Colonias de esféricas a ovales, de 30-150 x 30-100  $\mu\text{m}$ , a veces lobuladas; pláncticas, con sistema de tallos delgados (de la anchura de la célula), rectos, simples (sin ramificaciones), radiales desde el centro, visibles sin tinción en contraste de fases (C.F.) y algunas veces poco

visibles en colonias viejas o muy grandes. Presenta desintegración de la colonia por expulsión de células (planocitos, que dan lugar a nuevas colonias, Komárek y Anagnostidis, 1999), las que frecuentemente se observan sueltas en la muestra.

Komárek y Anagnostidis (1999) reportan a *W. naegeliana* como característica de aguas eutróficas en zonas templadas, mencionando que las citas de regiones tropicales son poco confiables; Whitton (2003) dice que es componente menor de florecimientos y ocasionalmente dominante, común en lagos moderadamente eutróficos de las Islas Británicas, mientras que Komárek y Komárková-Legnerová (2002) la mencionan como cosmopolita, citando también a la especie *W. fremyi* como tropical y subtropical. Nuestras observaciones indican que los ejemplares de Valle de Bravo coinciden sin duda con la descripción de *W. naegeliana*, excepto en el intervalo de medida de las colonias, que en Valle de Bravo no alcanzan grandes tamaños, coincidiendo entonces con los intervalos más pequeños reportados por este autor. Las demás especies descritas son muy diferentes a la de Valle de Bravo, pues carecen de aerotopos –con la excepción de *W. fremyi*, que los posee–, y no se consideró que la restricción en el tamaño de las colonias sea una característica suficiente para generar una nueva categoría taxonómica.

En Valle de Bravo su presencia no fue muy abundante, aunque sí persistente durante todo el periodo de estudio a los 4 m y 20 m de profundidad; tuvo un pequeño pico en el epilimnion del orden de  $0.4 \mu\text{g ml}^{-1}$  (2% de la biomasa total con  $13,000 \text{ cél ml}^{-1}$ , 10% de la densidad total) a finales de julio, coincidiendo con el establecimiento de la estratificación. En Valle es una especie característica de la zona epilimnética.

**Especie: *Microcystis aeruginosa* (KÜTZING) KÜTZING 1846**

**Descripción:** Colonias pláncticas de micro a macroscópicas, que van de esféricas (50 – 500  $\mu\text{m}$ ), elipsoidales o alargadas (100 – 500 x 50 – 200  $\mu\text{m}$ ) cuando jóvenes, a irregulares, lobuladas, alargadas (~ 600 – 4000  $\mu\text{m}$  de longitud), con subcolonias o clatradas irregularmente cuando maduras. Mucílago incoloro, homogéneo y difluente; bordes de la colonia irregulares; el margen alrededor de la

colonia es desde poco evidente hasta 5 – 8.5  $\mu\text{m}$ . Células esféricas dispuestas más o menos densa e irregularmente en un mucílago común; células de verde-azul pálido a verde amarillento o marrón, con numerosos aerotopos. Reproducción por bipartición en tres planos. Dimensiones de las células: 3.4 – 5.1  $\mu\text{m}$  de diámetro.

De acuerdo con Komárek y Anagnostidis (1999), esta especie es cosmopolita en aguas dulces y salobres, en cuerpos de agua eutróficos, y no se ha establecido la identidad genotípica de diferentes modificaciones para áreas diferentes. En Valle de Bravo se presentó continuamente a lo largo del periodo de estudio: es una especie de importancia en valores de densidad, variando desde el 0.2 hasta el 44 % del total; sin embargo, en valores de biomasa no llega a ser dominante, yendo del 0.1 al 13% del total. Su pico máximo se presentó a finales de marzo, con un total de 1.3  $\mu\text{g ml}^{-1}$  y 53,000  $\text{cél ml}^{-1}$ . A partir de agosto, la población declina a niveles mínimos.

**Especie: Aff. *Dactylococcopsis***

**Descripción:** Células solitarias, alargadas, en forma de huso, con los extremos terminados en punta, sin envoltura mucilaginosa aparente. Pared celular lisa, delgada. Contenido celular aparentemente homogéneo, sin cloroplastos ni organelos visibles. Komárek y Anagnostidis (1999) separaron al género *Dactylococcopsis* de las cianoprocariontas Chroococcales, argumentando que en realidad se trata de una clorofita, pues podían observarse cloroplastos; sin embargo, en este caso, adicionalmente al contenido celular homogéneo, las células teñidas con DAPI fluorescen de manera idéntica a las picocianoprocariontas al ser observadas en un microscopio de epifluorescencia, (marca Leica, filtro CY3) mientras que la reproducción es por fisión binaria en el plano transversal y no por la autosporulación característica de las clorofitas Chlorococcales, que es en donde fue reubicado el género *Dactylococcopsis* por Komárek y Anagnostidis. Dimensiones de las células: 14.5 – 15.3 x 0.9 – 1.1  $\mu\text{m}$ .

En Valle de Bravo esta especie se presentó desde finales de julio hasta noviembre, siendo de importancia en densidad (6, 3, 10 y 9% de la densidad total

en julio, agosto, octubre y noviembre, con 8,600 cél ml<sup>-1</sup>, 11,600 cél ml<sup>-1</sup>, 23,200 cél ml<sup>-1</sup> y 8,200 cél ml<sup>-1</sup>, respectivamente); en términos de biomasa su importancia se minimiza, alcanzando el 1% de la biomasa total únicamente en octubre, con 0.13 µg ml<sup>-1</sup>; en los otros meses su aportación va del 0.2 al 0.5% de la biomasa total.

**Especie:** *Geitlerinema cf. amphibium* (AGARDH EX GOMONT) ANAGNOSTIDIS 1989

**Descripción:** Tricomas simples, solitarios o en grupos irregulares pequeños, de vida libre; isopolares, flexibles (rectos a ligeramente curvados), con numerosas células cilíndricas, muy ligeramente o no constreñidas en las uniones de la pared celular, que es indistinta y delgada. Tricomas deslizantes sin rotación en la dirección del eje longitudinal pudiendo formar rizos, de 1.4 – 1.7 µm de diámetro, cilíndricos, sin envoltura mucilaginosa, sin ramificaciones. Células cilíndricas, alargadas (2-2.5 veces más largas que anchas) de 2.8 – 4.3 µm de largo; color verde-azul pálido, con un gránulo pequeño en cada ápice celular, sin aerotopos. Células apicales cilíndricas, a veces levemente atenuadas cónicamente, no capitadas, sin engrosamientos o calyptra. División celular simétrica perpendicular al eje longitudinal<sup>3</sup>.

De acuerdo con Komárek y Anagnostidis (2005), esta especie es dulceacuícola, béntica, generalmente parte del perifiton de aguas estancadas, encontrándose también sobre el barro de aguas salobres, en corrientes, invernaderos y sobre el suelo; es una especie común, probablemente cosmopolita; apuntan también que los registros para el plancton de lagos, estanques y ríos probablemente serían como ticoplancton o requieren ser revisados; mencionan un registro para India. En Valle de Bravo esta especie comienza a aparecer como forma pláncica a finales de agosto, en el pico de la estratificación, y tiene un

---

<sup>3</sup> Originalmente, los organismos de esta especie habían sido identificados como afines a la especie pláncica *Limnothrix redekei*, porque se había supuesto que las estructuras observadas en ambos ápices de la célula eran aerotopos; sin embargo, su carácter deslizante no coincidía con dicha especie, que es inmóvil; una posterior identificación, en la que –con la asesoría de un especialista– se consideraron como gránulos las estructuras previamente mencionadas, condujo a su re-identificación como *Geitlerinema amphibium*, con la que coincide casi totalmente, con la salvedad del hábito, que es béntico para dicha especie, mientras que la de Valle de Bravo se apreciaba como pláncica, ya que su abundancia no parecía ser incidental.

pequeño aumento en octubre. En valores de densidad es una especie de importancia, yendo desde el 10% del total en agosto hasta el 34% en octubre (con 40,000 cél ml<sup>-1</sup> y 80,000 cél ml<sup>-1</sup>, respectivamente); sin embargo, en valores de biomasa no llega a ser dominante, yendo del 1 al 3% del total (con 0.3 y 0.6 µg ml<sup>-1</sup>) respectivamente. En noviembre la población declina, encontrándose más abundante en el hipolimnion que en el epilimnion (7,000 y 2,300 cél ml<sup>-1</sup>, respectivamente).

**Especie:** *Lyngbya cf. birgei*. G. M. SMITH, 1916

**Descripción:** Filamentos simples rectos, solitarios, pláncnicos, de 15.0 – 18.8 µm de anchura; siempre con vaina mucilaginoso, firme, gruesa, incolora, no laminada, adherida al tricoma. Tricomas cilíndricos muy ligeramente constreñidos en la unión de las paredes celulares. Células cortas y discoidales, de 1.3 – 2.1 µm de largo x 11.6 – 15.4 µm de diámetro, con aerotopos escasos (sólo evidentes en la vista frontal de la célula). Células apicales con pared exterior engrosada. Reproducción por desintegración de los tricomas en hormogonios cortos, a veces separados por una formación necrídica. Las características de los especímenes de Valle de Bravo coinciden casi totalmente con los de *L. birgei* descrita por Desikachary (1959) [mediante la clave de especies de este autor, se llega a ella], exceptuando la anchura del tricoma y el tamaño de las células (tricoma de 20 – 24 µm de anchura o más para algunas variedades y células de 2 – 2.5 x 18 – 23 µm en Desikachary, 1959). La especie de Valle de Bravo es más pequeña que la especie tipo; sin embargo, tampoco coincide plenamente con otra especie aún más pequeña, *L. hieronymusii* Lemm., para la que se reportan tricomas con anchura de 12 – 14 µm (Desikachary, 1959) o de 11 – 14 µm (Komárek y Anagnostidis, 2005), y células de 2.5 – 4 x 11 – 13 µm (Desikachary, 1959, Komárek y Anagnostidis, 2005); en este caso, las células son bastante más largas que las de los especímenes de Valle y el diámetro tiene un intervalo mucho menor, por lo que se optó por considerarla menos afín que *L. birgei*.

De acuerdo con Komárek *et al.* (2003), esta especie es pláncnica y ha sido descrita para cuerpos de agua de Estados Unidos, aunque acota que las

descripciones para Norteamérica deben revisarse; Komárek y Anagnostidis (2005) la reportan en lagos de Norteamérica y “posiblemente también” en Argentina, señalando que los registros para regiones tropicales deben revisarse; mientras que Desikachary (1959) la registra en cuerpos de agua en India (tropicales). En Valle de Bravo se presentó de mediados de febrero a mediados de abril, con un pequeño pico de biomasa de  $1.1 \mu\text{g ml}^{-1}$  (9% del total) hacia finales de marzo, en el inicio de la estratificación.

**Especie:** *Pseudanabaena mucicola* (NAUMANN ET HUBER-PESTALOZZI) SCHWABE 1964

**Descripción:** Filamentos simples, cortos, rectos, de 12.0 – 20.0  $\mu\text{m}$  de largo; algunas veces con envoltura mucilaginosa tenue; predominantemente insertos en el mucílago de *M. aeruginosa*, aunque también pueden observarse dispersos en la muestra. Tricomatos de 3 – 6 células, no atenuados en los extremos, ligeramente constreñidos en la unión de las paredes celulares; células cilíndricas, sin aerotopos; células de los extremos generalmente redondeadas, ocasionalmente ligeramente cónicas; contenido celular de homogéneo a poco granuloso, gris pálido. Dimensiones de las células: 3.2 – 5.3 x 1.2 – 1.5  $\mu\text{m}$ .

Komárek y Komárková-Legnerová (2002) la mencionan como una especie de distribución cosmopolita, que vive en el mucílago de otras cianoprocariontas pláncicas, al igual que Komárek y Anagnostidis (2005); en México ha sido encontrada en el lago cráter Quechulac y en el lago de Chapultepec, en el mucílago de colonias de *Microcystis*: *M. aeruginosa* en el primer caso y *M. novacekii* en el segundo, con la característica de que, aún encontrándose presentes otras especies del mismo género, sólo habitaban en el mucílago de una de ellas. En Valle de Bravo esta especie llegó a ser importante en densidad, pero poco abundante en biomasa durante el periodo de estudio, presentando tres picos: en marzo conformó el 12% de la densidad total a principios del mes y el 4% a finales del mismo (con 4,700 y 5,100  $\text{cél ml}^{-1}$  respectivamente), 1% y 0.2% de la biomasa total (con 0.02 y 0.03  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ), respectivamente); a finales de julio formó el 5% de la densidad total (con 6.600  $\text{cél ml}^{-1}$ ), el 0.1% de la biomasa total (con

0.03  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ); en octubre, cuando su abundancia fue mayor, constituyó el 6% de la densidad total (con 14,000  $\text{cél ml}^{-1}$ ) y el 0.4 % de la biomasa total (con 0.1  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ); en el resto de las ocasiones su presencia fue menor.

**Especie: *Anabaena cf. ballyganglii* BANERJI 1938**

**Descripción:** Tricomas simples enroscados, solitarios, pláncnicos, de 8.0 – 9.0  $\mu\text{m}$  de ancho; algunas veces con envoltura mucilaginosa tenue, hialina e incolora. Tricomas constreñidos en la unión de las paredes celulares, uniseriados, isopolares. Células esféricas a elipsoidales de 4.8-8.5 x 8.0-9.0  $\mu\text{m}$ , con una relación longitud/anchura de 0.6 – 1.0; color verde-azul pálido, amarillo verdoso o café-amarillento, con aerotopos. Heterocitos esféricos con dos poros, intercalares o apicales, solitarios, ubicados en intervalos regulares en el filamento. Acinetos elipsoidales de 27 – 31 x 12 – 19  $\mu\text{m}$ . Las células se dividen perpendicularmente al eje del tricoma. Reproducción por fragmentación del tricoma, a veces partiendo de un heterocito. Por sus características, esta especie se acerca a *A. ballyganglii* BANERJI 1938, observada formando florecimientos en estanques en Calcuta (trópico); sólo que en el espécimen de Valle de Bravo las células son más cortas (6.5 – 13.5  $\mu\text{m}$  para *A. ballyganglii* en Desikachary, 1959) y un poco más anchas (7 – 8.5  $\mu\text{m}$  *ídem.*), y los heterocitos nunca fueron observados en pares. Sin embargo, los caracteres coinciden más con los de *A. ballyganglii*, que con los de *A. spiroides* y *A. circinalis*, que son especies parecidas.

De acuerdo con Komárek *et al.* (2003), este género tiene especies pláncnicas y ha sido descrita para cuerpos de agua en todo el mundo, principalmente para regiones templadas. En Valle de Bravo esta especie se encontró durante todo el periodo de estudio, siendo de las más importantes; varió de escasa a poco abundante de febrero a abril (con un pequeño pico a finales de marzo: 6% de la densidad total con 2,500  $\text{cél ml}^{-1}$ , y 4% de la biomasa total, con 0.5  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ) y se volvió dominante durante mayo y julio, cuando representó 31 y 26 % de la densidad total (con 14,500 y 25,000  $\text{cél ml}^{-1}$ ) y 44 y 26 % de la biomasa total (con 3.1 y 6.5  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ), respectivamente. En agosto, octubre y noviembre su presencia descendió al 3, 5 y 7 % de la densidad total (con 11,000, 10,600 y

12,000 cél ml<sup>-1</sup>, respectivamente) y al 2, 3 y 6% de la biomasa total (con 0.7, 0.5 y 0.6 µg ml<sup>-1</sup>, respectivamente).

**Especie: *Anabaena* sp. 1**

**Descripción:** Tricomas simples rectos, solitarios, pláncnicos, de 4.1 – 6.6 µm de ancho; algunas veces se observa una envoltura mucilaginoso tenue, hialina e incolora. Tricomas constreñidos en la unión de las paredes celulares, uniseriados, isopolares. Células esféricas a elipsoidales, con relación longitud/ancho de 0.8 –1.4; color verde-azul pálido a amarillo verdoso, con aerotopos. Heterocitos esféricos intercalares, solitarios, generalmente uno en cada filamento. Acinetos no observados. Las células se dividen perpendicularmente al eje del tricoma. Reproducción por desintegración del tricoma. Dimensiones de las células: 3.9-6.8 x 4.1-6.6 µm. En este caso no se llegó hasta especie, por no haber observado los acinetos, que son una de las primeras características discriminantes para las especies, y por no coincidir el resto del morfotipo con alguno de los descritos por Desikachary (1959).

En Valle de Bravo, *Anabaena* sp.1 fue abundante en biomasa y densidad. Se presentó desde finales de julio y tuvo una rápida proliferación hacia finales de agosto, cuando tiene su pico máximo conformando el 17% del biovolumen total, con 4.9 µg ml<sup>-1</sup> y el 18% de la densidad total, con 71,000 cél ml<sup>-1</sup>.

**Especie: *Anabaena* sp. 2**

**Descripción:** Similar a la descrita para *Anabaena* sp. 2, pero con las siguientes variantes: Tricomas de 3.4 - 4.8 µm de ancho. Células elipsoidales, con relación longitud/ancho de 0.9 – 2.2. Heterocitos cilíndricos con los polos redondeados, intercalares, solitarios, en intervalos regulares en el filamento. Acinetos de elipsoidales a en forma de barril, solitarios, algunas veces adyacentes a los heterocitos. Dimensiones: células de 3.4-8.8 x 3.4-4.8 µm. En este caso, no se llegó hasta especie por no coincidir el morfotipo con alguno de los descritos por Desikachary (1959).

En Valle de Bravo, *Anabaena* sp. 2 fue abundante en biomasa y densidad, si bien en menor proporción que *Anabaena* sp. 1. Estuvo presente desde principios de marzo, aunque se mantuvo en cantidades mínimas hasta un pequeño pico de biomasa hacia finales de agosto, cuando fue el 4% del biovolumen total, con  $1.2 \mu\text{g ml}^{-1}$  y el 7% de la densidad total, con  $26,000 \text{ cél ml}^{-1}$ .

**Especie: *Anabaena* sp. 3**

**Descripción:** Similar a la descrita para las anteriores especies de *Anabaena*, con las siguientes variantes: Tricomas de  $3.4 - 5.1 \mu\text{m}$  de ancho. Células esféricas a elipsoidales, con relación longitud/ancho de 0.8-1.5. Heterocitos esféricos intercalares, solitarios, de 1-2 en cada tricoma, en intervalos regulares en el filamento. Acinetos elipsoidales, solitarios, algunas veces adyacentes a los heterocitos. Dimensiones: células de  $2.9-6.8 \times 3.4-5 \mu\text{m}$ . En este caso, como en el anterior, no se llegó hasta especie por no coincidir el morfotipo con alguno de los descritos por Desikachary (1959).

En Valle de Bravo, *Anabaena* sp. 3 también se presentó desde principios de marzo, manteniéndose en cantidades mínimas durante todo el periodo: hacia principios de marzo, aportó el 4% de la biomasa total, con  $0.11 \mu\text{g ml}^{-1}$  y el 10% de la densidad total, con  $3,900 \text{ cél ml}^{-1}$ ; hacia octubre tuvo el 1% de la biomasa total, con  $0.13 \mu\text{g ml}^{-1}$  y el 2% de la densidad total, con  $4,500 \text{ cél ml}^{-1}$ .

**Especie: *Aphanizomenon* cf. *flos-aquae* (LINN.) RALFS EX BORN. ET FLAH. 1850-1888**

**Descripción:** Filamentos plácticos, principalmente solitarios, no ramificados; tricomas isopolares, subsimétricos, rectos, con constricciones muy ligeras entre las paredes divisorias; sin envoltura mucilaginosa visible. Tricomas isopolares. Células cilíndricas de  $3.4-7.5 \times 3.1-3.7 \mu\text{m}$  ( $5-15 \times 5-6 \mu\text{m}$  en Desikachary, 1959), con una relación longitud/anchura de 1.1-2.0 (1.6 promedio); con aerotopos; color verde-azul pálido. Células de los extremos cilíndricas, sin contenido celular visible y mucho más largas que las células centrales. Acinetos elipsoidales desarrollados entre las células vegetativas, solitarios, a veces

adyacentes a los heterocitos. Heterocitos intercalares, cilíndricos, solitarios, con dos poros. Las características de los especímenes de Valle de Bravo concuerdan con las descritas por Desikachary (1959) con excepción de las dimensiones de las células; los ejemplares de Valle son más pequeños; sin embargo, no se consideró esta característica suficiente para descartarla de la especie tipo, dadas las coincidencias entre sí.

De acuerdo con Komárek *et al.* (2003), esta especie es plánctica común en zonas templadas en cuerpos de agua eutróficos y embalses, mientras que pocas especies del género se conocen sólo para regiones tropicales. Desikachary la registra para aguas dulces en el N de la India. En Valle de Bravo la presencia de esta especie fue modesta durante todo el periodo, con un pequeño pico en octubre, cuando alcanzó un 2% de la biomasa total con  $0.4 \mu\text{g ml}^{-1}$  y un 3% de la densidad total, con  $7,300 \text{ cél ml}^{-1}$ .

**Especie:** *Cylindrospermopsis raciborskii* (WOLOSZYNSKA) SEENAYYA ET SUBBA RAJU 1972

Sin: *Anabaenopsis raciborskii* Hill 1970

**Descripción:** Filamentos pláncticos solitarios, no ramificados, relativamente cortos, atenuados hacia los extremos, subsimétricos; después de la fragmentación, uno de los extremos se observa redondeado; con células cilíndricas sin constricción en las paredes divisorias; de  $2.5\text{-}3.2 \mu\text{m}$  de diámetro; con aerotopos; con acinetos elipsoidales intercalares de  $4.3 \mu\text{m}$  de diámetro, que crecen cerca de los extremos del tricoma y se encuentran solitarios o en pares. Tricomatos iso- o heteropolares. Células cilíndricas verde-azul pálido, de dos a tres veces más largas que anchas, que tienden a volverse puntiagudas (a veces con punta roma) hacia los extremos del tricoma; célula apical con diámetro en la base de  $2.9 \mu\text{m}$ , que disminuye hasta la terminación en punta. Acinetos elipsoidales desarrollados entre las células vegetativas o adyacentes a los heterocitos. Heterocitos cónicos terminales, con poro simple.

Komárek y Komárková-Legnerová (2002) mencionan la presencia de esta especie, sin acinetos, en lagos de la región de Los Tuxtlas y en Michoacán. En

Valle de Bravo se observaron muchos tricomas sin heterocitos en las muestras de noviembre (en esta fecha, el morfotipo coincide con el de *Raphidiopsis mediterranea* Skuja 1949), pero con heterocitos terminales en forma de gota en las muestras de octubre (cuando el morfotipo coincide con el de *Anabaenopsis raciborskii* Hill 1970). Según Komárek (2003), *Raphidiopsis mediterranea* y *Anabaenopsis raciborskii* serían diferentes formas de crecimiento de *Cylindrospermopsis raciborskii* que puede no presentar heterocitos si el N está presente en la proporción de Redfield o más (N:P = 16). Es una de las especies dominantes durante la estratificación: en agosto es abundante, junto con *Anabaena* sp.1 y las diatomeas, alcanzando un 5% de la biomasa total con  $1.5 \mu\text{g ml}^{-1}$  y un 9% de la densidad total, con  $35,200 \text{ cé .ml}^{-1}$ ; en octubre tiene un 15% de la biomasa total con  $2.7 \mu\text{g ml}^{-1}$  y un 27% de la densidad total con  $62,300 \text{ cél ml}^{-1}$ ; hacia noviembre alcanza el 18.3% de la biomasa total con  $1.8 \mu\text{g ml}^{-1}$  y un 46% de la densidad total, con  $42,000 \text{ cél ml}^{-1}$ .

## BACILLARIOPHYCEAE

**Especie:** *Cyclotella ocellata* PANTOCSEK 1901? 1912?<sup>4</sup>.

**Descripción:** En microscopio óptico se observan como células en forma de disco, con valvas bastante planas. Diámetro de 7.4 a 15.1  $\mu\text{m}$  (dentro de lo considerado en la literatura consultada). Valvas con una zona marginal de estrías delicadas, que alcanza hasta la mitad del radio en especímenes grandes y es más pequeña en los de menor tamaño. Estrías radiales aproximadamente 14-26 (mayor número que lo mencionado por Hustedt, 1930, 15, y Krammer y Lange-Berthalot, 1991, 13-15) en 10  $\mu\text{m}$ . Zona central con tres ocelos de aproximadamente 1  $\mu\text{m}$  de diámetro, que se observan hundidos en las imágenes obtenidas por microscopio electrónico de barrido (MEB). En MEB se observan las estrías de diferente longitud, constituidas por 3 hileras de areolas en el margen,

---

<sup>4</sup> Hustedt (1930) refiere a la especie con una publicación de autor de 1912, mientras que Krammer y Lange-Berthalot (1991), la refieren directamente como 1901, sin citar publicación alguna (no presentan una bibliografía al final del volumen 3 de Centrales); sin embargo, en el volumen 4

que se convierten en dos hacia el centro; entre 68 y 78 areolas/10  $\mu\text{m}$ . Las costillas intercalares o interestrías son de grosor constante y menores a las estrías. Presentan una fultopórtula marginal cada segunda a sexta costilla o interestría (tercera a cuarta costilla según Krammer y Lange-Berthalot, 1991) y una a dos fultopórtulas (raramente cuatro) centrales con dos poros satélite (probablemente los puntos más pequeños que llegan a observarse en microscopía óptica en la valva, a los que se refiere Hustedt (1930) en su descripción). Presenta 1 a 2 rimopórtulas marginales (raramente 3). Los orificios externos de fultopórtulas y rimopórtulas son pequeños y sencillos.

Dado que la clave de Krammer y Lange-Berthalot (1991) se basa en características de estructura general de la valva y tamaño, y menciona las características de número de estrías en 10  $\mu\text{m}$ , fultopórtulas y rimopórtulas, en la descripción particular de la especie, no se ha considerado que las diferencias encontradas sean suficientes para no incluirlas como las especies a las que más se acercan.

Hustedt (1930) la cita como litoral en lagos. Novelo (1998) la registra como plánctica, con distribución en México en la región central. En los conteos se consideraron todas las especies de *Cyclotella* encontradas por la dificultad de distinguirlas en ejemplares con cloroplastos y con el invertoscopio a aumentos máximos de 600x. Empezaron a observarse, aunque escasamente, desde principios de marzo, aumentando su presencia a partir de mayo (es parte de las especies dominantes en densidad y/o biomasa de agosto a noviembre). Tuvo sus máximos en densidad a finales de julio y finales de agosto, con 15,500 y 19,000  $\text{cél ml}^{-1}$  (3.7 y 4.8  $\mu\text{g ml}^{-1}$ , respectivamente, que no coinciden con los máximos de biomasa, pues hasta agosto los ejemplares encontrados fueron de menor tamaño que los observados en octubre y noviembre, arrojando estimas de biomasa menores); en biomasa, el pico máximo se presentó en octubre, cuando conformó el 41% de la biomasa total (con 6.5  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ) y el 5% de la densidad total, con 7,500  $\text{cél ml}^{-1}$ .

---

aparece un listado de todas las publicaciones de Pantocsek y efectivamente está una de 1901, y otra de 1912 cuyas características no coinciden con lo mencionado por Hustedt.

**Especie: *Cyclotella comensis*** GRUNOW IN VAN HEURCK (1888?) 1882?<sup>5</sup>

**Descripción:** Células discoidales de 5.2 – 6.5  $\mu\text{m}$  de diámetro. Estrías de longitud desigual, 25/10  $\mu\text{m}$ , cantidad superior a lo citado por Krammer y Lange-Berthalot (16-20 estrías/10  $\mu\text{m}$ ); estrías de muy diferente disposición que las de *C. ocellata*, pues tienen dos hileras de areolas más evidentes en los extremos y dos hileras de areolas muy poco conspicuas (en MEB) en el centro. Las interestrías o costillas son mucho más delgadas que en la especie anterior, y a veces no quedan claramente constituidas. Presenta una fultopórtula central, y fultopórtulas marginales cada 4 a 5 interestrías. El poro exterior de las fultopórtulas es más grande que el observado en *C. ocellata*. Zona central con cinco ocelos de diferente diámetro, que se observan hundidos en las imágenes de MEB.

Esta especie fue mucho menos frecuente que *C. ocellata*. Aun cuando no pudo distinguirse entre ellas durante el conteo de ejemplares con cloroplastos en el invertoscopio, en MEB apareció en menor proporción y los ejemplares fueron consistentemente más pequeños, como lo señala la literatura consultada. Hustedt (1930) la menciona como pelágica en lagos (plánctica).

**Especie: *Cyclotella grupo stelligera*** CLEVE AND GRUNOW 1881? (IN VAN HEURCK ) 1882?<sup>6</sup>

**Descripción:** Esta es una especie que la literatura cita como extremadamente variable. En Valle de Bravo se observó escasamente pero con mucha variabilidad: valvas planas, cóncavas, diferente distribución de estrías centrales, etc. Los pocos ejemplares observados con MEB presentaron diámetros pequeños (alrededor de 5  $\mu\text{m}$  en promedio), número variable de estrías centrales, estrías marginales entre 20 y 25 /10  $\mu\text{m}$ . Carece de fultopórtulas centrales, y las marginales –con doble poro satélite- se encuentran a la altura de la estría (a diferencia de las otras especies, que las presentan en la interestría), con ubicaciones desde adyacentes hasta cada cuarta estría.

---

<sup>5</sup> Ver pie de página número 2.

<sup>6</sup> *Ídem.*

**Especie: *Aulacoseira granulata*** (EHRENBERG) SIMONSEN 1979

**Descripción:** Células cilíndricas, con extremos planos, unidas en cadenas. Diámetro de las cadenas 3.9-10  $\mu\text{m}$ ; longitud de las células, 27 a 64  $\mu\text{m}$  (relación longitud/diámetro de 3 – 6 en las más gruesas, que se corresponderían con la var. *granulata*, y de 7 – 11 en las más delgadas, que se corresponderían con la var. *angustissima* (O.Müller) Simonsen 1979). Filamentos rectos o ligeramente curvados (sólo en una ocasión se observó uno claramente curvado que pudiera corresponder al morfotipo *curvata*, Krammer y Lange-Berthalot, 1991). Hileras de areolas en el manto generalmente perpendiculares a la valva, o ligeramente espiraladas; número de hileras de aerolas en 10  $\mu\text{m}$ : 11 – 20 (promedio 14).

Novelo (1998) la registra como epipélica, edáfica, epilítica y plánctica en lagos, con distribución en México en el Valle de Tehuacán, Pue. En Valle de Bravo esta especie se encontró durante todo el periodo de estudio, aunque siempre escasa. Su pico máximo fue a finales de julio, cuando conformó el 0.8 % de la biomasa total (con 0.2  $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ ) y el 0.1 % de la densidad total (con 110  $\text{cél}\cdot\text{ml}^{-1}$ ). Parecen existir otras especies de *Aulacoseira* en Valle de Bravo, pero su contribución es inferior que la de *A. granulata*.

**Especie: *Urosolenia* aff. *eriensis*** (H.L. SMITH) ROUND & CRAWFORD 1990

Sin: *Rhizosolenia eriensis* H.L. Smith

Esta especie es de frústulas delicadas (no resisten el tratamiento con ácidos fuertes), de estructura muy parecida a la típica del género *Rhizosolenia*, principalmente marino. Round y Crawford (Round *et al.*, 1990) separaron la sección Longisetae –en donde Hustedt (1930) colocó a las dos especies de *Rhizosolenia* de aguas continentales– en un nuevo género, *Urosolenia*, que se diferencia de las anteriores por carecer de rimopórtula en la base de los procesos, de vela y de marcas en las valvas.

Las células son alargadas en su eje pervalvar por crecimientos sucesivos de las bandas cingulares, en forma de semianillo y colocadas en dos hileras imbricadas. Longitud del eje pervalvar sin espinas: 35.7-51.9  $\mu\text{m}$ ; espinas más

cortas que el eje perivalvar. Diámetro del eje perivalvar: 5.3 – 13.6  $\mu\text{m}$ ; diámetro de la base de las valvas: 6.9 – 8.6  $\mu\text{m}$ . (6)7 – 8 bandas cingulares/10  $\mu\text{m}$ . Presenta un solo cromatóforo, y en los meses de julio y octubre se observa la formación de estatosporas, una por célula.

La longitud y el diámetro son más pequeños que el reportado por Hustedt (1930, longitud de 40-150  $\mu\text{m}$ , diámetro de 6-15  $\mu\text{m}$ ), mientras que el número de bandas cingulares es mayor (Hustedt *op. cit.* reporta 3-4/10  $\mu\text{m}$ ). La variedad *morsa* (West & G.S. West, 1905) es de tamaño mucho menor (eje perivalvar, 5-20  $\mu\text{m}$ ) y tiene una densidad superior de bandas cingulares, lo que coincide con los ejemplares observados en Valle de Bravo (6-9/10  $\mu\text{m}$ ). Por otro lado, la huella que deja el proceso de división en los polos celulares es diferente tanto a la reportada para la especie tipo (contorno redondeado) como a la descrita para la variedad *morsa* (contorno más ondulado); los especímenes de Valle presentan un contorno más abrupto. Asimismo, de las dos especies reportadas para aguas continentales, *Rhizosolenia longiseta* (*U. longiseta*) se asocia con aguas eutróficas (Hustedt, 1930; <http://www.caspianenvironment.org/biodb/eng/phytoplankton/Rhizosolenia%20calcar-avis/main.htm>) características de las llanuras del norte de Europa, mientras que *U. eriensis* (*R. eriensis*) es común en lagos subalpinos, generalmente de aguas más limpias (Margalef, 1983). En Valle de Bravo la especie no es *longiseta*, sino afín a *eriensis*; probablemente una variedad diferente a las descritas en la literatura consultada.

En Valle de Bravo se presentó poco abundante de mayo a noviembre (4% de la biomasa total de algas fitopláncticas y 16% de la biomasa de diatomeas con 0.9  $\mu\text{g.l}^{-1}$  en el epilimnion en el mes de julio; 4% de la biomasa total y 9% de la de diatomeas, con 0.7  $\mu\text{g ml}^{-1}$  en el epilimnion en el mes octubre y 4 de la biomasa total y 16% de la biomasa de diatomeas, con 0.4  $\mu\text{g ml}^{-1}$  en el epilimnion en el mes noviembre).

**Especie: *Fragilaria crotonensis*** KITTON 1869.

*Fragilaria crotonensis* es una especie considerada muy variable y que probablemente presenta adaptaciones morfológicas consistentes en diferentes

hábitats que podrían permitir la generación de nuevas especies; sin embargo, de momento se juntan todas las variaciones en esta única especie que ha conservado el nombre de *Fragilaria* por presentar estrías con una única hilera de areolas y una rimopórtula apical (Kingston, 2003; Round *et al.*, 1990). Frústulas más o menos rectangulares en vista cingular, lanceoladas en vista valvar. Presentan espinas en los márgenes de la valva que se intercalan en fuertes uniones con las de otras valvas para formar colonias tabulares que muestran las vistas cingulares.

En Valle de Bravo, algunas de sus características variaron considerablemente a lo largo del periodo de estudio. Se presentaron predominantemente en colonias tabulares durante febrero y marzo, desde el periodo de mezcla al de ligera estratificación; se observaron predominantemente como células solitarias durante agosto, cuando se supone un conato de mezcla previa al muestreo, y en octubre, al inicio de la mezcla. Los tamaños también fluctuaron fuertemente: el tamaño más pequeño de células fue de 39 – 55  $\mu\text{m}$  de longitud x 2.7-5.1  $\mu\text{m}$  de altura x 1.6-3.4  $\mu\text{m}$  de diámetro, mientras que el tamaño grande osciló entre 88 – 90  $\mu\text{m}$  de longitud x 5.1-6.8  $\mu\text{m}$  de altura x 3.9-4.9  $\mu\text{m}$  de diámetro (el diámetro, aunque más difícilmente observable que las demás medidas por la posición cingular que usualmente presenta esta especie, se observó por debajo de los 5  $\mu\text{m}$  que Krammer y Lange-Berthlot (1991) consideran para separar esta especie pláncica de la más cercana, *F. heidenii* Oestrup 1910, también más corta que *F. crotonensis*). Combinando ambos factores –agrupamiento y tamaño– se observó la tendencia –no obligada pero sí consistente– de que las células solitarias pertenecieron al intervalo mayor de tamaño, mientras que las coloniales se distribuyeron en todos los tamaños. Esta característica de las células solitarias probablemente se deba a que una mayor longitud incrementa la relación superficie/volumen y, por lo tanto, mejora la flotabilidad (una tendencia que se observa mucho más exagerada en *Synedra*, generalmente células solitarias, al grado que aparece en la clave de géneros – Kingston, 2003– como uno de los factores que separa ambos géneros). El número de estrías/10  $\mu\text{m}$  fue de 15 – 20 (promedio 17).

*Fragilaria crotonensis* es una especie de muy amplia distribución que suele proliferar cuando aumenta el fósforo en el medio, siendo considerada indicadora de eutrofización en embalses (Kingston, 2003). En Valle de Bravo fue la especie dominante durante la mezcla (febrero) en densidad (33% de la densidad total en el epilimnion, con 13,000 cél ml<sup>-1</sup>) y biomasa (62% de la biomasa total, con 10.6 µg ml<sup>-1</sup>); una vez iniciada la estratificación, su población fue descendiendo hasta casi desaparecer, con un pequeño repunte en agosto, cuando alcanzó el 2 % de la densidad total en el epilimnion (con 6,500 cél ml<sup>-1</sup>) y el 21% de la biomasa total, con 5.2 µg ml<sup>-1</sup>). Dadas estas observaciones, su presencia en cantidad = 2 % puede considerarse como indicadora de mezcla (o conato de mezcla, como lo que se supone que ocurrió a finales de agosto).

**Especie: *Fragilaria capucina* DEMAZIÉRES 1925**

Frústulas alargadas lanceoladas, con ápices ligeramente capitados y zona central ligeramente abombada/deformada. Extremos subcapitados, ligeramente alargados. Estrías paralelas, alternas, a lo largo de toda la valva. Área central en la que se pierden las estrías, rectangular. Una rimopórtula en uno de los extremos. Los dos extremos presentan un campo de poros. Siempre solitaria. Longitud de 65 – 72 µm x diámetro de 1.8 – 2 µm. No. de estrías en 10 µm: 23 – 25.

Novelo (1998) la registra como plánctica, epilítica y epipsámica en charcos, estanques artificiales y canales, con distribución en México en el Valle de Tehuacán, Pue. En Valle de Bravo, esta especie fue muy escasa, encontrándose durante la mezcla y no volviéndose a observar sino hasta finales de julio únicamente en el hipolimnion y de agosto a noviembre en epi- e hipolimnion, sin llegar a alcanzar por sí sola el 1 % del total en densidad o biomasa.

**Especie: *Ulnaria grupo acus* KÜTZING 1844 (ALARGADA)**

Syn: *Synedra delicatissima* W. Smith 1853, *S. acus* var. *radians* (Kütz.) Hustedt

**Descripción:** Frústulas muy largas y estrechas, longitud 140 – 375 µm x diámetro 1.9 – 5.2 µm. Zona central evidente, sin estrías, ligeramente estrechada.

En *Synedra*, las estrías se distribuyen en forma paralela (una enfrente de otra, a diferencia de *Fragilaria*, en donde generalmente las estrías de ambos lados se colocan en forma intercalada); el No. de estrías/10  $\mu\text{m}$  es de 15 – 17. Presenta dos rimopórtulas, una en cada ápice, el que se observa recto, no capitado.

Hustedt (1930) considera la especie *acus* y la var. *radians* como formas de litoral, mientras que a la var. *angustissima* (más delgada que los ejemplares de Valle de Bravo) la clasifica como típicamente plánctica. Novelo (1998) la registra como epipsámica, plánctica, epífita, epilítica y epipélica en ambientes mixtos, ríos, canales, lagos y charcos, con distribución en México en: Michoacán, México central, Valle de Tehuacán, Pue. y Texcoco. En Valle de Bravo se manifiesta como plánctica y nunca es propiamente abundante; durante la mezcla, cuando fue más abundante, alcanza el 3 % de la biomasa total (con  $0.5 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ ) y una densidad de 0.4 % del total ( $150 \text{ cél ml}^{-1}$ ). Prácticamente desaparece cuando inicia la estratificación, volviéndose a encontrar de abril a noviembre, aunque escasa; hacia finales de abril alcanza el 4 % de la biomasa total (con  $0.3 \mu\text{g ml}^{-1}$ ), con una densidad de 0.1 % del total.

**Especie: *Ulnaria* grupo *ulna* (NITZSCH.) EHRENBERG 1832**

**Descripción:** Para describir a esta especie se siguió el criterio de Round *et al.*, (1990) y no el de Krammer y Lange-Berthalot (1991, quienes optan por considerarla dentro del género *Fragilaria*). El criterio para mantenerla como *Synedra* radica en la longitud de la frústula y la presencia de dos rimopórtulas apicales (Kingston, 2003). Presenta frústulos aciculares, menos largos y más gruesos que los de la *Synedra* grupo *acus*, longitud de 120 – 270  $\mu\text{m}$  x diámetro 4.5 – 9.0  $\mu\text{m}$ . Presenta una zona central sin estrías y extremos ligeramente capitados. Estrías una enfrente de la otra, estilo *Synedra*, 10/10  $\mu\text{m}$ . Una rimopórtula en cada extremo.

Novelo (1998) la registra como edáfica, plánctica, epífita, epipsámica, epilítica y epipélica en charcos, ambientes mixtos, ríos, canales, lagos, arroyos, represas y estanques artificiales, con distribución en México en: Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Edo. de México, Hidalgo, Tehuacán, Pue., México

central, Texcoco, Huasteca SLP, Morelos y Yucatán. En Valle de Bravo se presentó hacia principios de octubre, poco antes de iniciar la mezcla, y en noviembre, sin llegar a ser abundante.

**Especie:** *Nitzchia cf. acicularis*. (KÜTZ) W. SMITH 1853

Células solitarias, alargadas, rectas, en forma ahusada en vista valvar. Longitud 45.2 – 85.6  $\mu\text{m}$ , diámetro valvar de 1.5 – 4.1  $\mu\text{m}$ . Fíbulas que no presentan discontinuidad en la zona central (Hustedt, 1930a, reporta de 17-20/10  $\mu\text{m}$ , ver también Krammer vol. 2 pág. 123). Sin embargo, no se observaron en el microscopio óptico ni en MEB, porque ninguna frústula mostró la cara interior de la valva. Estrías muy finas, 55/10  $\mu\text{m}$ . Rafe muy excéntrico, interrumpido en la zona central, con una inflexión hacia el dorso. Al observarlas con el M. O. es fácil confundirla con los ejemplares solitarios más pequeños de *F. crotonensis*, pero pueden distinguirse unas de otras cuando se observan los cloroplastos: en *Nitzschia* se ven como dos placas estrechas, alargadas, dispuestas una después de la otra a lo largo del eje longitudinal de la célula, mientras que en *Fragilaria* el cloroplasto es parietal con ubicación central.

Esta especie se considera característica de mezcla en aguas poco mineralizadas (alrededor de 100 mg  $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$  en el estudio de referencia), mesotrófica, tolerante a bajas intensidades de luz, sensible a la estratificación y a bajas concentraciones de sílice (Huszar *et al.*, 2003). Novelo (1998) la registra como epilítica, edáfica y plánctica en arroyos, canales, y charcos, con distribución en México central y Tehuacán, Pue. En Valle de Bravo, esta especie es abundante en octubre, inicio de la mezcla, con alcalinidades de 70 mg  $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$  (Vilaclara, com. pers.).

## CHLOROPHYTA

**Especie:** *Pediastrum simplex* MEYEN 1829.

**Descripción:** Cenobios circulares, planos, con una sola capa de células ordenadas concéntricamente, perforados; células poligonales aplanadas y unidas

por los extremos dejando espacios entre sí. Células marginales trapezoidales hasta oval triangulares con una proyección en forma de apéndice cilíndrico simple, atenuado desde la base o lóbulo, desde la parte media del contorno externo de la célula hacia fuera; células interiores más o menos triangulares hasta poligonales; pared celular levemente rugosa. Dimensiones de las células: 12-25.5 x 9.6-14.5  $\mu\text{m}$ .

De acuerdo con Comas (1996), esta especie es cosmopolita y es frecuente en cuerpos de agua eutróficos en Cuba; para John y Tsarenko (2003), es probablemente cosmopolita y se encuentra en aguas ricas en nutrimentos durante el verano. Pérez (2003) la registra, dentro de la Faja Volcánica Transmexicana, en Distrito Federal, Guanajuato, Hidalgo y Michoacán. En Valle de Bravo su presencia fue muy escasa, apareciendo desde finales de abril hasta octubre, con el 0.01 – 0.04% en biomasa.

**Especie:** *Schroederia settigera* (SCHRÖD.) LEMM. 1898.

**Descripción:** Células libres, solitarias, fusiformes alargadas, rectas; extremos alargados puntiagudos iguales; pared celular lisa y delgada; cloroplasto parietal con un pirenoide. Dimensiones: células sin espinas, 10.2-19.5  $\mu\text{m}$  de largo; células con espinas, 53-148  $\mu\text{m}$  de largo x 1.7-3.4  $\mu\text{m}$  de diámetro. Según Comas (1996), ésta es una especie plánctica cosmopolita, presente en lagunas y embalses eutróficos; John y Tsarenko (2003) la reportan para las Islas Británicas en estanques, lagos y embalses. En Valle de Bravo apareció a finales de mayo, sin llegar a ser abundante, conformando del 0.01 – 0.1 % en biomasa total.

**Especie:** *Ankyra ancora* (G. M. SMITH) FOTT 1957

**Descripción:** Células pláncticas solitarias, alargadas fusiformes, ligeramente curvadas, con los extremos prolongados en punta; extremo basal bifurcado en forma de ancla; cloroplasto parietal con un pirenoide. No se observó modo de reproducción, ni formación de aplanósporas o acinetos. Dimensiones de las células: longitud de 23.5-47  $\mu\text{m}$  con espinas y de 7-20.5  $\mu\text{m}$  sin espinas x 1.7-4.3  $\mu\text{m}$  de anchura.

De acuerdo con Comas (1996), esta especie es cosmopolita en el plancton de embalses eutróficos en Cuba, no muy frecuente, mientras que John y Tsarenko (2003) la reportan como probablemente cosmopolita, plánctica en estanques, lagos y embalses en las Islas Británicas. En Valle de Bravo se presentó de mediados de febrero a principios de abril, de manera escasa (del 0.04 – 0.3 % en biomasa total); el resto del periodo no apareció.

**Especie:** *Micractinium pusillum* FRES. 1858.

**Descripción:** Células esféricas formando colonias de cuatro o más células agrupadas en pirámides irregulares, pláncticas; raramente solitarias: en las caras libres de las células se asientan numerosas sedas; cloroplasto en forma de copa con un pirenoide poco visible. Dimensiones de las células: 3.7 – 10 µm de diámetro, sedas de 28 - 40 µm de largo.

Según Comas (1996), esta especie es frecuente en cuerpos de agua marcadamente eutróficos y mesosapróbicos en Cuba, mientras que John y Tsarenko (2003) la reportan como probablemente cosmopolita, considerada un indicador de aguas ligera a moderadamente enriquecidas con nutrimentos. Pérez (2003) la registra, dentro de la Faja Volcánica Transmexicana, en Distrito Federal y Edo. de México. En Valle de Bravo se presentó de febrero a principios de abril de forma escasa, pasando del 0.1 – 0.004% en biomasa total; después desapareció.

**Especie:** *Monoraphidium aff. dybowskii* (WOLOSZ.) HIND. et KOM-LEGN. in KOM-LEGN. 1969.

**Descripción:** Células solitarias, ligeramente cilíndricas a fusiformes, levemente curvas, isopolares con los extremos atenuados convergentes y polos redondeados; pared celular lisa, delgada, sin mucílago; cloroplasto parietal sin pirenoide. Dimensiones de las células: de 8 – 15 x 2 – 4.3 µm.

El valor más bajo de estas dimensiones cae dentro del límite del valor más alto de las dimensiones proporcionadas por Comas (1996); sin embargo, las demás características de la descripción coinciden con la especie. Según el mismo

autor, esta especie se observa generalmente en el plancton de cuerpos de agua de oligo- a mesotróficos en Cuba. En Valle de Bravo fue una de las pocas especies de Chlorococcales que estuvieron presentes durante todo el periodo de estudio, aunque en cantidades mínimas, yendo del 0.004% (14 Feb) al 1% (30 Ago, con  $0.2 \mu\text{g ml}^{-1}$ ) en biomasa total, volviendo a descender hacia octubre y noviembre.

**Especie:** *Tetraedron minimum* (A. BR.) HANSGIRG, 1888.

**Descripción:** Células solitarias, poliédricas casi aplanadas, con los lados ligeramente cóncavos, con cuatro ángulos poco alargados y ligeramente redondeados; con las caras ligeramente convexas; pared celular delgada y rugosa; cloroplasto parietal con pirenoide. Reproducción por 4-8 autósporas que se liberan por rompimiento lateral de la pared celular materna. Células de 5.5 - 10.5  $\mu\text{m}$  de diámetro

De acuerdo con Comas (1996), esta especie es cosmopolita y se encuentra muy frecuentemente en el plancton y el perifiton de cuerpos de agua eutróficos en Cuba; según John y Tsarenko (2003), es probablemente cosmopolita, muy común en estanques y lagos pequeños en las Islas británicas. Novelo (1998) la registra como pláncica, epífita y edáfica con distribución en México en: Tehuacán, Pue.; Morelos; Edo. de México y Cuenca del Pánuco; mientras que Pérez (2003) la ubica, dentro de la Faja Volcánica Transmexicana, en el Distrito Federal y Morelos-Edo. de México. En el embalse de Valle de Bravo puede observarse, aunque poco abundante, a partir de julio y va aumentando su presencia hacia noviembre, cuando representa el 3% en biomasa de la comunidad fitopláncica en el epilimnion y el 9% en el hipolimnion

**Especie:** *Tetraedron limneticum* BORGE, 1900.

**Descripción:** Células pláncicas solitarias, tetragonales, con cuatro ángulos protruidos en procesos con dos ramificaciones dicotómicas; la ramificación última con dos espinas cortas. Caras muy ligeramente de cóncavas a convexas; pared celular gruesa y lisa; cloroplasto parietal con un pirenoide inconspicuo.

Reproducción no observada. Células con procesos, de 25.0 – 31.0  $\mu\text{m}$  de diámetro; sin procesos, 17.0 – 20.5 x 18.5 – 22.3  $\mu\text{m}$ ; base de los procesos, 1.7 – 2.2  $\mu\text{m}$ .

De acuerdo con ¿? (19??), esta especie es más común que abundante en el plancton y el perifiton de estanques; se encuentra en Norte América, África Central, India y Burma (éstos tres últimos, regiones tropicales). En el embalse de Valle de Bravo puede observarse, aunque muy poco abundante, de mediados de febrero a mediados de marzo, desapareciendo y volviendo a aparecer de finales de agosto a principios de noviembre, en todos los casos con presencia inferior al 1% en densidad y/o biomasa.

**Especie:** *Lagerheimia ciliata* (LÁGERH.) CHOD. 1895.

**Descripción:** Células ovales a elipsoidales pláncnicas, solitarias; pared celular lisa con 7 sedas ligeramente curvas en cada polo, con engrosamiento basal que se atenúa hacia el ápice; sedas 1.5 veces más largas que la célula; polos ampliamente redondeados; cloroplasto parietal con pirenoide. Reproducción por 4 autósporas que se liberan por rompimiento de la pared celular materna. Dimensiones de las células: de 10 – 17 x 7 – 15  $\mu\text{m}$ , sedas 12 – 23  $\mu\text{m}$  de longitud.

Según Comas (1996), esta especie es frecuente en cuerpos de agua eutróficos en Cuba. En Valle de Bravo se encontró de finales de marzo a finales de mayo, poco abundante; tuvo un pequeño pico a principios de abril, cuando fue el 1% de la biomasa total con 0.07  $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ ; el resto del tiempo fue muy escasa.

**Especie:** *Oocystis lacustris* CHODAT 1897

**Descripción:** Células solitarias o en colonias de 2-4-(8-16), células elipsoidales, entre 1.4 y 1.9 veces más largas que anchas. Pared celular lisa, gruesa, que forma engrosamientos polares terminados en punta, característica que conserva la envoltura colonial (en las colonias más numerosas, se mantienen las sucesivas envolturas coloniales). De 1-4 cloroplastos generalmente con pirenoide (aunque éste a veces pasa desapercibido; Philipose (1967) menciona

que los cloroplastos carecen de pirenoide, mientras que Dillard (1989) la describe con pirenoides); cloroplasto parietal único en las células jóvenes, que ocupa casi la totalidad de la célula. Reproducción por 2–4–8 autósporas que permanecen dentro de la pared celular materna durante varias generaciones. Dimensiones de las células: de 7.5–20 x 5–17.5  $\mu\text{m}$ ; colonias de 14.5–77.5 x 12–58.8  $\mu\text{m}$ .

Según Comas (1996), esta especie es cosmopolita, propia de cuerpos de agua eutróficos; John y Tsarenko (2003) la describen como propia de lagos mesotróficos en las Islas Británicas. Pérez (2003) la registra, dentro de la Faja Volcánica Transmexicana, en Distrito Federal, Hidalgo y Michoacán. En Valle de Bravo se presentó de febrero a octubre, siendo la única Chlorococcal que llegó a tener abundancias importantes: en febrero tuvo el 2% de la biomasa total con 0.3  $\mu\text{g ml}^{-1}$  (2% de la densidad total, con 600  $\text{cél ml}^{-1}$ ); a principios de marzo tuvo el 6% de la biomasa total con 0.2  $\mu\text{g ml}^{-1}$  (1% de la densidad total, con 280  $\text{cél ml}^{-1}$ ); a finales de marzo tuvo el 28% de la biomasa total con 3.3  $\mu\text{g ml}^{-1}$  (3% de la densidad total, con 4,400  $\text{cél ml}^{-1}$ ), siendo la especie dominante en esta fecha; a principios de abril tuvo el 17% de la biomasa total con 1.3  $\mu\text{g ml}^{-1}$  (2% de la densidad total, con 1,800  $\text{cél ml}^{-1}$ ); a finales de abril su presencia decayó al mínimo, recuperándose para finales de mayo, cuando tuvo el 3% de la biomasa total con 0.15  $\mu\text{g ml}^{-1}$  (1% de la densidad total, con 290  $\text{cél ml}^{-1}$ ); a finales de julio tuvo el 3% de la biomasa total con 0.6  $\mu\text{g ml}^{-1}$  (1% de la densidad total, con 780  $\text{cél ml}^{-1}$ ); a finales de agosto tuvo el 1% de la biomasa total con 0.2  $\mu\text{g ml}^{-1}$  (0.1% de la densidad total, con 260  $\text{cél ml}^{-1}$ ); para octubre la población fue decayendo y en noviembre había desaparecido.

**Especie:** *Nephrocytium schilleri* (KAMM.) COM. 1980

**Descripción:** Colonias elipsoidales con 4-8(16) células contenidas dentro de la membrana materna gelatinizada; células ligeramente reniformes, heteropolares, con los polos redondeados; cloroplasto masivo con pirenoide; reproducción por 4-8 autósporas. Dimensiones: células de 13.5-19.7  $\mu\text{m}$  de longitud x 6.0-8.2  $\mu\text{m}$  de diámetro, de 2-2.5 veces más largas que anchas.

De acuerdo con Comas (1996), esta especie probablemente es tropical y se encuentra frecuentemente en el plancton y el perifiton de cuerpos de agua eutróficos en Cuba. En Valle de Bravo se presentó poco abundante de febrero a abril ( $0.01-0.05 \mu\text{g ml}^{-1}$  en biomasa,  $0.01-0.1\%$  en densidad), desapareció durante la fase más intensa de la estratificación (mayo-agosto) y volvió a aparecer en octubre y noviembre ( $0.002-0.004 \mu\text{g ml}^{-1}$  en biomasa,  $0.002-0.01\%$  en densidad), con el mismo morfotipo, pero tamaños celulares en el intervalo más bajo en el epilimnion, mientras que en el hipolimnion llegó a conformar el 8% de biomasa ( $0.08 \mu\text{g ml}^{-1}$ ) en noviembre; en densidad fue más abundante en febrero y marzo, con un pico a principios de abril.

**Especie:** *Dyctiosphaerium pulchellum* WOOD 1872.

Descripción: Colonias esféricas o elipsoidales, pláncticas, de 4 – 64 (96) células ubicadas en la periferia de la colonia, unidas a los extremos de un sistema ramificado radial desde el centro de la colonia; colonias compuestas por células de diferentes generaciones; células ovales cuando jóvenes y esféricas cuando maduras; cloroplasto parietal en forma de copa, de hasta  $\frac{3}{4}$  partes del volumen celular, con pirenoide; reproducción por 4 autósporas. Dimensiones de las células: 5 - 8  $\mu\text{m}$  de diámetro.

De acuerdo con Comas (1996), esta especie es cosmopolita; se encuentra en el plancton y perifiton de cuerpos de agua de oligo- a mesotróficos, aunque es muy rara en Cuba. Pérez (2003) la ubica, dentro de la Faja Volcánica Transmexicana, en el Edo. de México y Michoacán. En Valle de Bravo se presentó de febrero a julio, siendo más abundante durante la mezcla (3% de la biomasa total, con  $0.5 \mu\text{g ml}^{-1}$ , 10% de la densidad total, con  $3,800 \text{ cél ml}^{-1}$ ) y el inicio de la estratificación a principios de marzo (9% de la biomasa total, con  $0.3 \mu\text{g ml}^{-1}$ , 6% de la densidad total, con  $2,400 \text{ cél ml}^{-1}$ ); después la población decae y deja de aparecer en agosto.

**Especie:** *Botryococcus braunii* KÜTZ. 1849.

**Descripción:** Colonias pláncicas formadas por células aglomeradas que se encuentran incluidas en una matriz gelatinosa poco difluente y bien diferenciada, que puede ser incolora o ligeramente parda; las células se aprecian como dispuestas individualmente o en grupos de hasta cuatro en el extremo de un túbulo mucilaginoso que aparentemente confluye en un centro que no alcanza a apreciarse; sin embargo, las células dan la impresión de tener una disposición cuasi radial con respecto a este centro. Las colonias pueden ser pequeñas cuando jóvenes, o compuestas por subcolonias que se mantienen juntas pero sin aglutinarse, cuando maduras. Las células son de ovals a elipsoidales, con cloroplasto masivo verde intenso a verde amarillento, con un pirenoide que generalmente es poco notable. Reproducción por autósporas. Dimensiones: células 4-5.5 x 2.9-3.5  $\mu\text{m}$ . Las células de los especímenes de Valle de Bravo son más pequeñas que las de la especie tipo; sin embargo, las demás características coinciden ampliamente, por lo que se optó por dejarlos como *B. braunii*.

Según Comas (1996), este género probablemente es cosmopolita; en Cuba se presenta en cuerpos de agua de oligo- a mesotróficos, más o menos alcalinos. Pérez (2003) la registra, dentro de la Faja Volcánica Transmexicana, en Guanajuato, Hidalgo, Michoacán, y Morelos-Edo. de México. En Valle de Bravo se presentó de abril a noviembre muy poco abundante (del 0.01 al 0.1 % de biomasa total y densidad aún menor).

**Especie:** *Eutetramorus fotti* (HIND.) KOM. 1979

Sin. : *Sphaerocystis schroeterii* CHOD.

**Descripción:** Colonias esféricas compuestas por 4-8-16-32-64 células distribuidas ordenadamente (o no) en un mucílago general; mucílago bien delimitado, incoloro y hialino; pueden observarse células de diferentes generaciones, llegándose a conservar la disposición ordenada. Cloroplasto en forma de copa, a veces masivo en las células maduras, con un pirenoide. Dimensiones de las células: 3-10  $\mu\text{m}$  de diámetro.

De acuerdo con John (2003), este género es muy común en el plancton y el metafiton de zanjas, estanques y lagos desde la zona norte del Continente

Americano hasta el Caribe; mientras que Komárek y Fott (1985) registran la especie como propia del plancton de cuerpos de agua de oligo- hasta casi eutróficos, probablemente cosmopolita. Novelo (1998) la registra como epilítica, epífita y pláncica, con distribución, en México, en Tehuacán, Pue.; Morelos; Edo. de México y Cuenca del Pánuco; mientras que Pérez (2003) la registra, dentro de la Faja Volcánica Transmexicana (como *Sphaerocystis schroeteri*), en Edo. de México, Hidalgo y Morelos-Edo. de México. En Valle de Bravo se presentó de febrero a mayo, con la mayor abundancia en el periodo de mezcla, cuando alcanzó el 2% de la biomasa total, con  $0.3 \mu\text{g ml}^{-1}$  y el 5% de la densidad total, con  $1,900 \text{ cél ml}^{-1}$ ; después la población decrece hasta desaparecer.

**Especie:** *Coelastrum reticulatum* (DANGEARD) SENN 1899 var. *reticulatum* (DANGEARD) SENN. 1899.

**Descripción:** Cenobios esféricos pláncicos, compuestos por 4-8-16-32 células unidas por proyecciones de sus paredes celulares o apéndices, los cuales son delgados, alargados, cilíndricos, subapicales; cada célula construye sus conexiones; células esféricas con 1-3 apéndices de unión con cada célula vecina; pared celular lisa sin apéndices libres; caras externas de las células redondeadas. Cloroplasto parietal con un pirenoide. Reproducción por autosporulación; cada célula hija da lugar a 4-8-(16) células en un cenobio diminuto; en ocasiones, éstos permanecen unidos formando sincenobios. Dimensiones de las células: de  $3.7 - 8.5 \mu\text{m}$  de diámetro.

De acuerdo con Comas (1996), esta especie es cosmopolita, frecuente en zonas cálidas en cuerpos de agua de oligo- a mesotróficos en Cuba. Pérez (2003) la registra, dentro de la Faja Volcánica Transmexicana, en Distrito Federal, Edo. de México, Hidalgo y Michoacán. En Valle de Bravo se presentó durante todo el periodo febrero-noviembre, sin llegar a ser muy abundante. Tuvo tres pequeños picos: en febrero ( $0.04 \mu\text{g ml}^{-1}$ , 0.2% de la biomasa total), en mayo ( $0.05 \mu\text{g ml}^{-1}$ , 1% de la biomasa total) y en noviembre ( $0.04 \mu\text{g ml}^{-1}$ , 0.4% de la biomasa total); el resto del tiempo su presencia fue baja.

**Especie: *Coelastrum indicum*** TURNER, 1892.

**Descripción:** Cenobios esféricos pláncnicos, compuestos por 8-16-32-(64) células; células esferoidales con engrosamientos apicales de la pared, poliédricas en vista polar; células unidas con 5-6 apéndices de unión laterales gruesos, cortos, cilíndricos; se observaron espacios vacíos entre células, pequeños, con 3 ángulos; cloroplasto parietal con un pirenoide. Reproducción por autosporulación; cada célula hija da lugar a 8 células en un cenobio diminuto; no se observó la formación de sincenobios. Dimensiones: células 5 -14  $\mu\text{m}$  de diámetro, apéndices de unión 1.7 x 3.3  $\mu\text{m}$ .

De acuerdo con Comas (1996), esta especie es cosmopolita, pero más común en los trópicos; es frecuente y de amplia extensión en Cuba en el plancton y perifiton de cuerpos de agua eutróficos. En Valle de Bravo estuvo presente de febrero a noviembre (traslapándose su presencia con la de *C. reticulatum*), con tres máximos: en febrero (0.04  $\mu\text{g ml}^{-1}$ , 0.2% de la biomasa total); a principios de marzo (0.03  $\mu\text{g ml}^{-1}$ , 1% de la biomasa total) y en noviembre (0.07  $\mu\text{g ml}^{-1}$ , 1% de la biomasa total); en el resto de las ocasiones su población fue mínima.

**Especie: *Scenedesmus aff. acunae*** COM. 1980.

**Descripción:** Cenobios compuestos por 2-4 células ordenadas en una hilera paralela alineada; células ovales a elipsoidales con los polos ligeramente cónicos redondeados, unidas por más de  $\frac{1}{2}$  de su longitud; pared celular gruesa; células exteriores ligeramente más cortas que las interiores; cloroplasto masivo con un pirenoide. Dimensiones de las células: 6.3-10 x 2.9-3.7  $\mu\text{m}$ .

De acuerdo con Comas (996), esta especie únicamente es conocida en Cuba en el plancton y el perifiton de cuerpos de agua oligotróficos; inclusive sugiere un posible endemismo; sin embargo, la descripción coincide con la de los especímenes encontrados en Valle de Bravo, exceptuando el tamaño, que es menor inclusive al del valor más bajo dado por Comas para *S. acunae*. Se presentó de mayo a noviembre (durante el clímax y el fin de la estratificación), sin llegar a ser abundante, con un pequeño pico a finales de agosto (el pico de

máxima producción en todo el lapso de estudio), alcanzando  $0.1\mu\text{g ml}^{-1}$ , 0.5% de la biomasa total y  $3,600\text{ cél ml}^{-1}$ , 1% de la densidad total.

**Especie: *Pseudosphaerocystis aff. neglecta***

**Descripción:** Colonias esféricas a elipsoidales compuestas por células siempre distribuidas en cuatro grupos que poseen células aglomeradas en crecimientos cuasi-cúbicos, en números múltiplos de cuatro: 16-32-64-(128), en un mucílago homogéneo hialino claramente delimitado; pueden observarse células de varias generaciones cuando la colonia es vieja. Las células son de redondeadas a elipsoidales, con ligero aplanamiento en la región que se mantiene en contacto con la célula adyacente. Pared celular delgada. Cloroplasto en forma de copa que puede observarse masivo en ocasiones, con un pirenoide esférico a elipsoidal, sin estigma. No se observaron las dos vacuolas apicales pulsátiles descritas por Hanuš y Gärtner (1988), puesto que este género se observó únicamente de muestras fijadas. Dimensiones: células  $2.8-4.0 \times 3-4.6\ \mu\text{m}$  (mucho más pequeñas que las registradas por Hanuš y Gärtner, 1988, para *P. neglecta*, de  $7-10 \times 8-12\ \mu\text{m}$  de diámetro); colonias  $37 \times 29$  a  $80 \times 65\ \mu\text{m}$  (también más pequeñas que el tamaño mencionado por los mismos autores para *P. neglecta*, de hasta  $170\ \mu\text{m}$  de longitud).

Se optó por dejar el género de Valle de Bravo como *Pseudosphaerocystis aff. neglecta* por ser ésta la especie más parecida a los organismos observados, exceptuando el tamaño. Adicionalmente, es común en las morfoespecies del embalse estudiado el que los tamaños de los especímenes se encuentren en el límite inferior de los rangos de tamaño consignados bibliográficamente, o bien sean definitivamente más pequeños.

**Especie: *Elakatothrix gelatinosa* WILLE 1898**

**Descripción:** Células pláncnicas solitarias o en colonias de 2-4-(8) células ordenadas sucesivamente cuasi-alineadas, incluidas en una vaina mucilaginoso en forma de huso, sin estructura, bien delimitada, incolora y hialina; células con forma de huso con los polos puntiagudos; pared celular delgada; cloroplasto

parietal en forma de banda y en espiral, con uno o dos pirenoides. Dimensiones de las células: 13.9-28.6 x 2.7-3.4  $\mu\text{m}$ .

De acuerdo con John (2003), es un alga pláncica. En Valle de Bravo se encontró de febrero a abril, poco abundante, representando del 0.1 al 0.3% de la biomasa total, con 0.01-0.03  $\mu\text{g ml}^{-1}$ . Deja de aparecer cuando la estratificación se intensifica.

**Especie: *Mougeotia* o *Debarya* sp.<sup>7</sup>**

**Descripción:** Filamentos delgados, cilíndricos, uniseriados, flotantes (sin rizoides evidentes), con paredes delgadas y lisas, con células cilíndricas varias veces (9 – 38) más largas que anchas, unidas entre sí por un septo lenticular. Cloroplasto axial en forma de listón con varios pirenoides alineados, generalmente de 3 – 6, dispuestos en una hilera simple a lo largo del cloroplasto. Aunque este género se encontró durante todo el periodo de estudio en Valle de Bravo, se desconoce si es una misma especie o son varias coexistiendo en el embalse, debido a que en ninguna ocasión se observaron formas reproductivas (conjugación, formación de gametos, etc). Asimismo, las longitudes de las células variaron ampliamente, siendo más cortas en el lapso febrero-abril y bastante más largas en el lapso mayo-noviembre. Dimensiones: longitud, 53.0 – 182.5  $\mu\text{m}$ ; diámetro 3.4 – 5.5  $\mu\text{m}$ .

De acuerdo con Gerrath (2003) y Johnson (2003), *Mougeotia* y *Debarya* son algas cosmopolitas, muy comunes en lagos, estanques y ríos, más propias de la zona litoral que pláncica, la primera creciendo también sobre diques y suelos húmedos. Novelo (1998) registra al género *Mougeotia* como pláncico, epipsámico, epífita y edáfico en lagos, ríos y ambientes mixtos, observado en México en el Valle de Tehuacán, Pue., mientras que Pérez (2003) lo registra, dentro de la Faja Volcánica Transmexicana (como *Mougeotia* indet.), en Edo. de México y Michoacán. En Valle de Bravo se encontró abundante de finales de mayo a principios de noviembre, representando del 9 al 14% de la biomasa total, con 0.5-

---

<sup>7</sup> Johnson (2003) sostiene que los géneros *Mougeotia*, *Debarya* y *Temnogametum* son indistinguibles entre sí, excepto durante su etapa reproductiva, razón por la cual se reporta como *Mougeotia* o *Debarya*.

2.0  $\mu\text{g ml}^{-1}$ , y del 1 al 4% en densidad, con 1,200-5,900  $\text{cél ml}^{-1}$  en dicho periodo; su pico de abundancia fue a finales de julio, cuando representó el 10% de la biomasa total con 2.0  $\mu\text{g ml}^{-1}$  y el 4% de la densidad total con 5,900  $\text{cél ml}^{-1}$ .

**Especie:** *Staurastrum muticum* (BRÉB.) RALFS 1848 var. *muticum* f. *muticum*.

**Descripción:** Células de tamaño medio, casi tan anchas como largas; constricción media profunda, *sinus* obtusamente redondeado hasta el ápice, lineal pero abierto. Hemicélulas ovales en vista transversal. El margen apical más convexo que el ventral, que es casi recto. Pared celular lisa. Célula triangular en vista vertical. Márgenes profundamente cóncavos entre los lóbulos anchamente redondeados. Longitud total de la célula: 34.0-37.4  $\mu\text{m}$ ; anchura de la célula: 28.4-34.0  $\mu\text{m}$ ; anchura del istmo: 8.0-11.9  $\mu\text{m}$ .

Brook (2003b) menciona a esta especie como cosmopolita, más bien litoral en lagos y estanques oligotróficos, ticopláncica. *S. muticum* se encontró en Valle de Bravo desde febrero hasta julio. Su mayor abundancia fue en febrero, hacia el final del periodo de mezcla, cuando representó el 7 % de la biomasa total, con 1.2  $\mu\text{g ml}^{-1}$  y el 1 % de la densidad total, con 550  $\text{cél ml}^{-1}$ ; a mediados de marzo alcanzó el 8 % de la biomasa total, con 0.2  $\mu\text{g ml}^{-1}$  (0.3 % de la densidad total, con 110  $\text{cél ml}^{-1}$ ); a finales de marzo conformó el 3 % de la biomasa total, con 0.3  $\mu\text{g ml}^{-1}$  (0.1 % de la densidad total, con 160  $\text{cél ml}^{-1}$ ); en el resto de las ocasiones su presencia fue disminuyendo hasta dejar de aparecer en agosto.

**Especie:** *Staurastrum cingulum* (WEST ET WEST) G. M. SMITH (1621) 1922 var. *cingulum*. Sin: *Staurastrum paradoxum*

**Descripción:** Células largas, de 1.5 a 2.1 veces (promedio, 1.8) más largas que anchas sin procesos; constricción media tenue, el *sinus* se observa como una incisión angular, abierta; hemicélulas acampanadas, subcilíndricas en la base. El margen lateral es divergente hacia lo largo, dirigiendo hacia arriba los procesos apicales; el margen apical es ligeramente convexo, con una serie de verrugas cortas, como espinas; extremos de los procesos con espinas formando anillos transversos alrededor de los mismos; la cara de las hemicélulas con una hilera de

espinas pequeñas sobre el istmo, y con una zona de pequeñas espinas dispersas en la región apical. En vista vertical, las células son triangulares, el margen lateral del cuerpo de la célula va de recto a cóncavo; los ángulos producen hacia lo largo procesos espinosos con tres espinas en los extremos, con una hilera intramarginal de espinas pequeñas. Longitud de la célula: 28.0-34.5  $\mu\text{m}$  sin procesos, 55.0-95.0  $\mu\text{m}$  con procesos; anchura de la célula: 14.0-21.5  $\mu\text{m}$  sin procesos, 43.0-70.5  $\mu\text{m}$  con procesos; anchura del istmo: 6.5-8.8  $\mu\text{m}$ . Los especímenes de Valle de Bravo son ligeramente más pequeños que los registrados por Prescott (1982), cayendo los límites superiores de los primeros cerca del límite inferior de los segundos, sin alcanzarlo; sin embargo, al coincidir las demás características descritas, se optó por dejarla como tal.

Brook (2003b) ubica a esta especie como de amplia distribución en el Norte y el Sur de América, entre otros continentes; asimismo, la especifica como pláncica verdadera en lagos oligo- a mesotróficos. Pérez (2003) la registra, dentro de la Faja Volcánica Transmexicana (como *Staurastrum paradoxum*), en Distrito Federal y Morelos-Edo. de México. Esta especie se encontró en Valle de Bravo durante casi todo el lapso de estudio, exceptuando octubre. Su mayor abundancia fue en febrero, hacia el final del periodo de mezcla, cuando representó el 1 % de la biomasa total, con 0.1  $\mu\text{g ml}^{-1}$  (el 0.2 % de la densidad total, con 70  $\text{cél ml}^{-1}$ ); descendió en marzo y a principios de abril tuvo un ligero aumento, volviendo a ser el 1 % de la biomasa total, con 0.1  $\mu\text{g ml}^{-1}$  (0.1 % de la densidad total, con 60  $\text{cél ml}^{-1}$ ); el resto de las ocasiones su presencia fue escasa, por debajo de 0.04  $\mu\text{g ml}^{-1}$ .

**Especie:** *Staurastrum setigerum* CLEVE (1863) 1864 var. *setigerum* f. *setigerum*

**Descripción:** Células de tamaño medio, casi tan largas como anchas (relación longitud/anchura:0.9-1.0). Constricción media profunda, el *sinus* se observa en forma de U hacia el ápice, abierto; el istmo es relativamente cerrado. Hemicélulas elípticas con el margen ventral ligeramente divergente hacia los ángulos laterales que están estrechamente redondeados, los cuales llevan 2 espinas delgadas prominentes. Pared celular lisa. En vista vertical, la célula es

triangular; el margen apical es ampliamente convexo y con 5 ó 6 delgadas espinas. La cara presenta una serie transversal de espinas dentro del margen apical, y con una espina sobre ambos lados inmediatamente por encima del istmo; los márgenes son ligeramente cóncavos entre los lóbulos, que terminan en espinas superpuestas y con una espina subapical, con un círculo de espinas largas alrededor de la región media de la célula. Longitud de la célula: 38.0-39.5  $\mu\text{m}$  sin espinas; anchura de la célula: 40.0-43.0  $\mu\text{m}$  sin espinas; anchura del istmo: 12.0-16.0  $\mu\text{m}$ . Los especímenes de Valle de Bravo son ligeramente más pequeños que los registrados por Prescott (1982) para *St. setigerum* var. *setigerum* f. *setigerum*, cayendo por debajo de los límites inferiores reportados, pero son un poco mayores que tamaños registrados por el mismo autor para *St. setigerum* var. *pectinatum*; las diferencias entre ambas variedades son principalmente el tamaño de la célula y la longitud de las espinas, que son más largas en *St. setigerum* var. *pectinatum*. El aspecto de los ejemplares colectados es más parecido a la ilustración correspondiente a *St. setigerum* var. *setigerum* f. *setigerum*, básicamente por la esbeltez de las células en vista vertical y el tamaño de las espinas. Esas características se consideraron suficientes para dejar los especímenes de Valle de Bravo como *St. setigerum* var. *setigerum* f. *setigerum*.

Brook (2003b) señala a esta especie como probablemente cosmopolita, de amplia distribución en las Islas Británicas. *St. setigerum* se encontró en Valle de Bravo desde mediados de febrero hasta principios de abril, siendo muy poco abundante en todas las ocasiones (0.1 al 0.2 % de la biomasa total y un porcentaje de la densidad total mucho menor).

## DINOPHYTA

**Especie:** *Ceratium hirundinella* (O. F. MÜLLER) DUJARDIN 1841 fo. *robustum* (AMBERG) BACHMANN 1911

**Descripción:** Células de contorno ampliamente fusiforme. Muy aplanadas dorsoventralmente. La epivalva se estrecha gradualmente desde arriba del cíngulo, formando un cuerno largo. El cíngulo es ligeramente estrecho. El cuerpo

de la hipovalva es amplio y corto; se encuentra dividido en tres cuernos posteriores. El cuerno central o medio es el más largo y está formado por las placas antiapicales. Las placas se observan toscamente reticuladas con espículas finas. Los cloroplastos son ovales y numerosos. A veces se observa un pequeño corpúsculo rojo (estigma). No se observaron formas de reproducción. De acuerdo con Popovský y Pfiester (1990), en esta especie pueden distinguirse varios morfotipos. Los especímenes de Valle de Bravo corresponden a *C. hirundinella* fo. *robustum* (Amberg) Bachmann 1911, que son: células pequeñas y alargadas con 4 cuernos bajo condiciones óptimas, de más de 45  $\mu\text{m}$  de ancho; la salida de los cuernos antiapicales es divergente; el lado dorsal de la epivalva es convexo. Las placas son fuertes; la ornamentación es ostensible y a menudo es irregular. De acuerdo con Popovský y Pfiester (1990); Lewis y Dodge (2003), esta especie es plánctica, común en estanques y lagos de oligo- a eutróficos en zonas templadas; también mencionan que la nutrición es autótrofa y holozoica por medio de pseudópodos. Dimensiones: longitud 195.0-245.0  $\mu\text{m}$  con cuernos; anchura 45.0-52.0  $\mu\text{m}$ .

Esta especie se encontró en Valle de Bravo durante la mayor parte del lapso de estudio, exceptuando mayo, agosto y octubre. Su mayor abundancia se observó hacia mediados de febrero, durante la época de mezcla –lo que es notable, pues suele ser caracterizada como típica de la época de estratificación en cuerpos de agua eutróficos (Pérez y Sánchez, 2001). Su presencia en esta época coincide con lo encontrado en el lago subtropical Kineret, en donde se presenta en el periodo invierno-primavera (Pollingher & Hikel, 1991, *In* Pérez y Sánchez, 2001)– cuando representó el 11 % de la biomasa total, con 1.8  $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$  (0.1 % de la densidad total, con 31  $\text{cél}\cdot\text{ml}^{-1}$ ). En el resto de las ocasiones representó entre el 0.3 y el 1 % de la biomasa total en el epilimnion.

**APÉNDICE 2: BIOMASA EN  $\mu\text{g ml}^{-1}$  Y PORCENTAJE DE APOORTE A LA BIOMASA TOTAL DE CADA GRUPO ECOLÓGICO, EN EL PERIODO FEBRERO-NOVIEMBRE DE 2002**

**Tabla 5.** Biomasa en  $\mu\text{g ml}^{-1}$  de cada grupo ecológico, en el periodo febrero-noviembre de 2002, a 4 m de profundidad. Los números resaltados en negritas subrayadas son los dominantes para esa fecha, excepto las cianoprocariotas, que se indicaron en negritas cursivas, para considerar los tres órdenes.

4 m	14-Feb	11-Mar	26-Mar	8-Abr	22-Abr	28-May	26-Jul	30-Ago	3-Oct	8-Nov
<i>Chroococcales</i>	0.3	<b>0.5</b>	<b>2.0</b>	1.1	<b>1.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.9</b>	<b>2.2</b>	<b>0.4</b>	<b>0.3</b>
<i>Nostocales</i>	0.1	<b>0.3</b>	<b>0.5</b>	0.6	<b>2.7</b>	<b>3.2</b>	<b>7.1</b>	<b>8.2</b>	<b>3.7</b>	<b>2.4</b>
<i>Oscillatoriales</i>	0.0	<b>0.1</b>	<b>1.1</b>	0.6	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.3</b>	<b>0.9</b>	<b>0.0</b>
<i>Diatomeas</i>	<b>11.0</b>	<b>0.9</b>	<b>2.3</b>	<b>2.5</b>	<b>2.3</b>	<b>0.7</b>	<b>6.1</b>	<b>10.1</b>	<b>8.3</b>	<b>2.8</b>
<i>Chlorococcales</i>	1.5	<b>0.7</b>	<b>4.4</b>	1.9	0.5	0.4	1.8	1.0	0.7	0.5
<i>Zygnematales</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0.5</b>	<b>2.0</b>	<b>1.7</b>	<b>1.2</b>	<b>1.0</b>
<i>Desmidiiales</i>	<b>1.9</b>	0.4	0.7	0.4	0.4	0.3	0.3	0.1	0.0	0.1
<i>Euglenophyta</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	0.1	0.0	0.0
<i>Dinophyta</i>	<b>1.8</b>	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1
<i>Crisophyceae</i>	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.0
<i>Cryptophyta</i>	0.4	0.2	0.7	0.4	<b>1.0</b>	0.1	0.8	0.5	0.5	0.2
<i>Incertae saedis</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Totales</b>	<b>17.1</b>	<b>3.1</b>	<b>11.9</b>	<b>7.6</b>	<b>8.4</b>	<b>5.9</b>	<b>20.3</b>	<b>24.3</b>	<b>15.8</b>	<b>7.5</b>

**Tabla 6.** Porcentaje de la biomasa total de cada grupo ecológico, en el periodo febrero-noviembre de 2002, a 4 m de profundidad. Se resaltaron con negritas subrayadas los dominantes para esa fecha; con negritas cursivas en caso de haber co-dominancia.

4 m	14-Feb	11-Mar	26-Mar	8-Abr	22-Abr	28-May	26-Jul	30-Ago	3-Oct	8-Nov
<i>Cyanoprocaryota</i>	2.2	<b>30.3</b>	<b>30.2</b>	<b>29.2</b>	<b>48.8</b>	<b>61.6</b>	<b>39.8</b>	<b>44.0</b>	<b>30.8</b>	<b>35.8</b>
<i>Diatomeas</i>	<b>64.5</b>	<b>28.5</b>	19.7	<b>32.5</b>	27.7	12.6	<b>30.0</b>	<b>41.3</b>	<b>52.3</b>	<b>37.0</b>
<i>Chlorococcales</i>	8.8	<b>22.3</b>	<b>37.2</b>	<b>25.2</b>	6.2	7.0	8.7	4.0	4.3	6.9
<i>Zygnematales</i>	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	<b>8.6</b>	<b>10.0</b>	<b>6.9</b>	<b>7.3</b>	<b>13.9</b>
<i>Desmidiiales</i>	<b>11.2</b>	<b>11.6</b>	6.0	5.2	4.5	4.6	1.3	0.3	0.3	1.8
<i>Euglenophyta</i>	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	1.6	4.9	0.5	0.0	0.2
<i>Dinophyta</i>	<b>10.6</b>	1.3	0.5	1.1	0.7	0.8	0.6	0.1	0.6	0.8
<i>Crisophyceae</i>	0.2	0.3	0.5	1.2	0.1	2.0	0.8	0.8	1.2	0.4
<i>Cryptophyta</i>	2.3	<b>5.7</b>	6.0	5.4	<b>11.6</b>	1.0	3.9	2.0	3.0	3.3
<i>Incertae saedis</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0

**Tabla 7.** Biomasa en  $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$  de cada grupo ecológico, en el periodo febrero-noviembre de 2002, a 20 m de profundidad. Los números resaltados en negritas subrayadas son los dominantes, excepto las cianoprocaritas, que se indican en negritas cursivas, para considerar los tres órdenes.

20 m	14-Feb	11-Mar	26-Mar	8-Abr	22-Abr	28-May	26-Jul	30-Ago	3-Oct	8-Nov
<i>Chroococcales</i>	0.0	0.0	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>
<i>Nostocales</i>	0.0	0.0	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.3</b>
<i>Oscillatoriales</i>	0.0	0.0	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>
<i>Diatomeas</i>	<b>1.2</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	<b>0.3</b>
<i>Chlorococcales</i>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	0.1	0.0	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>	0.0	<b>0.2</b>
<i>Zygnematales</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0.1</b>	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Desmidiáles</i>	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	<b>0.1</b>	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Euglenophyta</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Dinophyta</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Crisophyceae</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Cryptophyta</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Incertae saedis</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Totales</b>	<b>1.5</b>	<b>0.5</b>	<b>0.4</b>	<b>0.3</b>	<b>0.7</b>	<b>0.5</b>	<b>0.3</b>	<b>0.7</b>	<b>0.6</b>	<b>1.0</b>

**Tabla 8.** Porcentaje de la biomasa total de cada grupo ecológico, en el periodo febrero-noviembre de 2002, a 20 m de profundidad. Se resaltaron con negritas subrayadas los dominantes para esa fecha; con cursivas en caso de haber co-dominancia.

20 m	14-Feb	11-Mar	26-Mar	8-Abr	22-Abr	28-May	26-Jul	30-Ago	3-Oct	8-Nov
<i>Cyanoprocaryota</i>	1.6	17.9	<b>40.8</b>	<b>38.5</b>	<b>40.2</b>	<b>38.8</b>	<b>47.0</b>	<b>39.8</b>	29.0	<b>53.7</b>
<i>Diatomeas</i>	<b>77.7</b>	<b>44.4</b>	15.9	21.9	32.2	<b>14.9</b>	35.4	<b>41.9</b>	<b>59.4</b>	26.0
<i>Chlorococcales</i>	<b>12.9</b>	<b>22.8</b>	<b>26.5</b>	<b>32.3</b>	18.7	8.9	7.6	7.6	2.2	18.7
<i>Zygnematales</i>	0.3	0.1	0.0	0.1	0.1	<b>15.2</b>	1.0	2.3	1.8	0.1
<i>Desmidiáles</i>	<b>6.8</b>	8.4	14.8	4.0	2.9	<b>13.7</b>	0.2	0.9	0.1	0.2
<i>Euglenophyta</i>	0.6	5.7	1.4	1.8	0.3	3.5	3.6	1.6	2.1	0.0
<i>Dinophyta</i>	0.2	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Crisophyceae</i>	0.0	0.4	0.5	0.2	0.2	4.0	0.0	0.1	<b>4.6</b>	0.0
<i>Cryptophyta</i>	0.0	0.0	0.0	1.3	3.7	0.1	3.3	4.9	0.3	0.0
<i>Incertae saedis</i>	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	1.0	1.9	0.8	0.5	1.2

### APÉNDICE 3: ESPECIES FITOPLANCTÓNICAS Y SUS PORCENTAJES DE ABUNDANCIA

**Tabla 10.** Especies fitoplanctónicas que estuvieron presentes con el 50% o más de abundancia en alguna ocasión (el orden de los porcentajes se corresponde con el de las profundidades).

Especie	% Abundancia (con respecto a densidad)	Profundidad (m)	Especie	% Abundancia (con respecto a biomasa)	Profundidad (m)
<b>Cianoprocaritas</b>			<b>Diatomeas</b>		
<i>Merismopedia</i> sp	87, 69, 53	20, 20, 20	<i>Fragilaria crotonensis</i>	63, 62	4, 20
<i>Snowella</i> cf. <i>septentrionalis</i>	60	4			

**Tabla 11.** Especies fitoplanctónicas que estuvieron presentes entre el 20 y el 49 % de abundancia en alguna ocasión (el orden de los porcentajes se corresponde con el de las profundidades).

Especie	% Abundancia (con respecto a densidad)	Profundidad (m)	Especie	% Abundancia (con respecto a biomasa)	Profundidad (m)
<b>Cianoprocaritas</b>			<b>Cianoprocaritas</b>		
<i>Anabaena</i> cf. <i>ballyganglii</i>	31, 26	4, 4	<i>Anabaena</i> cf. <i>ballyganglii</i>	44, 31, 26	4, 4, 4
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	46, 27	4, 4	<i>C. raciborskii</i>	25	20
<i>Geitlerinema</i> cf. <i>amphibium</i>	34	4	<i>Woronichinia naegeliana</i>	21	20
<i>Merismopedia</i> sp.	39, 31, 30, 26	20, 20, 20, 20	<i>M. aeruginosa</i>	21	20
<i>M. aeruginosa</i>	44, 41, 37, 35, 35, 25, 25, 20	4, 20, 4, 20, 4, 4, 20, 4	<b>Clorofitas Chlorococcales</b>		
<i>S. septentrionalis</i>	38, 38, 34, 29, 26	4, 4, 4, 20, 20	<i>Oocystis lacustris</i>	28	4
<i>W. naegeliana</i>	26, 20	20, 20	<b>Diatomeas</b>		
<b>Diatomeas</b>			<i>F. crotonensis</i>	42, 32, 30, 29, 24, 22, 20	20, 4, 20, 4, 4, 20, 4
<i>F. crotonensis</i>	44, 33	20, 4	<i>Cyclotella ocellata</i> + <i>C. stelligera</i> + <i>C. comensis</i>	35, 35, 32, 21	4, 20, 20, 4
			<b>Zygnematales</b>		
			<i>Mougeotia</i> o <i>Debarya</i> sp.	37, 35, 27, 24, 21, 20	20, 4, 4, 4, 4, 4

**Tabla 12.** Especies fitoplanctónicas que estuvieron presentes entre el 10 y el 19 % de abundancia en alguna ocasión (el orden de los porcentajes se corresponde con el de las profundidades).

Especie	% Abundancia (con respecto a densidad)	Profundidad (m)	Especie	% Abundancia (con respecto a biomasa)	Profundidad (m)
<b>Cianoprocaritas</b>			<b>Cianoprocaritas</b>		
Aff. <i>Dactylococcopsis</i>	10	4	<i>Anabaena</i> sp. 1	17	4

<i>Anabaena</i> sp. 2	18	4	<i>A. cf. balyganglii</i>	17, 14, 13	20, 20, 20
<i>A. cf. balyganglii</i>	16, 14, 13, 11, 11	20, 20, 4, 4, 20	<i>C. raciborskii</i>	18, 15	4, 4
<i>G. cf. amphibium</i>	11, 10	20, 4	<i>Lyngbya cf. birgei</i>	18, 15	20, 20
<i>Merismopedia</i> sp.	17	20	<i>Merismopedia</i> sp.	15	20
<i>M. aeruginosa</i>	12, 11	4, 20	<i>M. aeruginosa</i>	14, 13, 10	20, 4, 4
<i>Pseudanabaena mucicola</i>	12	4	<i>W. naegeliana</i>	11	20
<i>S. septentrionalis</i>	19, 16, 13, 12	20, 4, 4, 4	<b>Clorofitas Chlorococcales</b>		
<i>W. naegeliana</i>	19, 11, 10, 10	20, 20, 4, 4	<i>O. lacustris</i>	18, 17, 10, 10	20, 4, 20, 20
<b>Diatomeas</b>			<b>Diatomeas</b>		
<i>Cyclotella</i> pl. sp.	11	4	<i>Cyclotella</i> pl. sp.	19, 17, 16, 15, 10	20, 4, 20, 4, 20
<b>Clorofitas Chlorococcales</b>			<i>F. crotonensis</i>	18, 16	4, 20
<i>Micractinium pusillum</i>	16	20	<i>Urosolenia eriensis</i>	17	20
			<b>Dinoflageladas</b>		
			<i>Ceratium hirundinella</i>	11	4

**Tabla 13.** Especies fitoplanctónicas que estuvieron presentes entre el 2 y el 9 % de abundancia en alguna ocasión (el orden de los porcentajes se corresponde con el de las profundidades).

Especie	% Abundancia (con respecto a densidad)	Profundidad (m)	Especie	% Abundancia (con respecto a biomasa)	Profundidad (m)
<b>Cianoprocaritas</b>			<b>Cianoprocaritas</b>		
Aff. <i>Dactylococcopsis</i>	9, 6, 3, 2, 2, 2, 2	4, 4, 4, 20, 20, 20, 20	<i>Anabaena</i> sp2	4	4
<i>Anabaena</i> sp. 2	2	4	<i>Anabaena</i> sp. 2	2	4
<i>Anabaena</i> sp. 1	6, 2	4, 20	<i>Anabaena</i> sp. 3	4	4
<i>Anabaena</i> sp. 1	7, 2, 2	4, 20, 4	<i>Anabaena</i> cf. <i>ballyganglii</i>	4, 6, 5, 5, 5, 4, 4, 3, 3, 3, 2	20, 4, 20, 20, 20, 20, 4, 4, 4, 4, 4
<i>Anabaena</i> cf. <i>ballyganglii</i>	7, 6, 5, 5, 5, 3, 3, 2, 2, 2, 2, 4	20, 4, 20, 20, 4, 4, 4, 20, 4, 20, 4, 20	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	2	4
<i>A. flos-aquae</i>	3, 2	4, 4	<i>C. raciborskii</i>	3, 5	4, 4
<i>Chroococcus</i> sp.	5	20	<i>Chroococcus</i> sp.	3	20
<i>C. raciborskii</i>	9, 9, 7, 5, 2, 2	20, 4, 4, 4, 20, 4,	<i>Limnothrix</i> sp.	5, 3	20, 4
<i>G. cf. amphibium</i>	5, 3	20, 4	<i>Lyngbya cf. birgei</i>	9, 8, 5, 4	4, 4, 20, 4
<i>Lyngbya cf. birgei</i>	3, 2, 2, 2	20, 20, 4, 4	<i>Merismopedia</i> sp.	6, 3, 2	20, 20, 20
<i>M. aeruginosa</i>	7, 4, 4, 4	20, 20, 4, 20	<i>M. aeruginosa</i>	9, 9, 6, 4	20, 4, 4, 4
<i>P. mucicola</i>	6, 6, 5, 5, 4, 3, 3, 2, 2, 2, 2	4, 20, 20, 4, 4, 4, 4, 20, 4, 20, 20	<i>S. septentrionalis</i>	9, 6, 5, 5, 5, 4, 2	4, 4, 20, 4, 20, 4, 20
<i>S. septentrionalis</i>	8, 7, 5, 5, 5, 3, 3	4, 20, 20, 20, 4, 20, 4	<i>W. naegeliana</i>	8, 5, 5, 3, 3, 3, 2, 2	20, 20, 20, 20, 20, 20, 4, 4
<i>W. naegeliana</i>	7, 7, 5, 3, 2, 2, 2, 2, 2	20, 4, 20, 4, 4, 4, 4, 4, 20	<b>Clorofitas Chlorococcales</b>		

<b>Diatomeas</b>			<i>Coelastrum indicum</i>	3	20
<i>Cyclotella</i> pl. sp.	5, 5, 3, 3, 3, 3, 2	4, 20, 4, 20, 20, 4, 4	<i>Coelastrum reticulatum</i>	2	20
<i>F. crotonensis</i>	7, 4, 3, 2, 2, 2, 2	20, 4, 4, 20, 4, 4, 4	<i>Chlamidomonas</i> sp.	5	4
<i>F. capucina</i>	4	20	<i>Chlorococcal</i> sp. 1	5, 9, 6	20, 20, 20
<b>Clorofitas Chlorococcales</b>			<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	5, 3, 2, 2, 4, 4, 3, 2	4, 20, 20, 4, 4, 20, 20, 20
<i>C. reticulatum</i>	4	20	<i>M. pusillum</i>	2	20
<i>C. indicum</i>	2	20	<i>Nephroclytium schilleri</i>	8, 3	20, 20
<i>D. pulchellum</i>	5, 4, 3, 2, 6, 3, 2, 2	20, 4, 4, 20, 4, 4, 20, 20	<i>O. lacustris</i>	5, 5, 4, 3, 3, 2, 2, 2	4, 20, 20, 4, 20, 4, 4, 4
<i>Monoraphidium</i> aff. <i>dybowski</i>	2	4	<i>Scenedesmus</i> aff. <i>acunae</i>	2	20
<i>O. lacustris</i>	3, 2	4, 4	<i>Eutetramorus fotti</i>	2	4
<i>Pseudosphaerocystis neglecta</i>	5, 4, 4, 3, 2, 2, 2, 2	4, 4, 20, 20, 20, 4, 4, 20	<i>Tetraedron minimum</i>	9, 3, 2	20, 4, 4
<i>S. aff. acunae</i>	2	20	<i>Tetraspora</i> sp. 1	5, 3, 2, 2	20, 4, 4, 4
<i>E. fotti</i>	5	4	<b>Diatomeas</b>		
<i>Tetraspora</i> sp. 1	2	20	<i>Cyclotella</i> pl. sp.	4	4
<i>Tetraspora</i> sp. 2		20	<i>F. capucina</i>	6	20
<b>Zygnematales</b>			<i>F. crotonensis</i>	7, 6, 5, 5, 4, 3, 3, 2	20, 20, 4, 4, 4, 20, 20, 4
<i>Mougeotia</i> sp.	4, 3, 3, 2	4, 4, 4, 20	<i>Ulnaria</i> cf. <i>acus</i>	8, 4, 3, 2	20, 4, 4, 20
<b>Crisofitas</b>			<i>U. eriensis</i>	8, 7, 4, 4, 4	20, 20, 4, 4, 4
<i>Crisofita</i> sp. 1	2	4	<b>Zygnematales</b>		
<i>Crisofitea</i> sp. 2	2	4	<i>Mougeotia</i> sp.	7, 6, 3	20, 20, 20
<b>Incertae Saedis</b>			<b>Desmidiáceas</b>		
<i>Incertae Saedis</i> 1	6, 4, 4, 3, 2	20, 20, 20, 20, 20	<i>Closterium</i> sp. 1	4, 2, 2	20, 4, 4
<i>Incertae Saedis</i> 2	2, 2	20, 20	<i>Cosmarium</i> sp. 1	3	20
			<i>Cosmarium</i> sp. 2	2	4
			<i>Staurastrum</i> sp. 1	3	20
			<i>Staurastrum muticum</i>	9, 8, 7, 5, 3, 3, 2, 2	20, 4, 4, 20, 20, 4, 20, 20
			<b>Euglenofitas</b>		
			<i>Euglena</i> sp.	4, 4, 3, 2	4, 20, 20, 20
			<i>Trachelomonas</i> sp. 1	4	20
			<b>Crisofitas</b>		
			<i>Dinobryon</i> sp.	3	20
			<b>Cryptofitas</b>		
			<i>Cryptomonas</i> sp. 2	3, 2	4, 4
			<i>Cryptomonas</i> sp. 1	5	20
			<i>Cryptomonas</i> sp. 3	5, 5, 4, 4, 2	4, 4, 4, 4, 4