



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



***COMPOSICIÓN Y VARIACIÓN TEMPORAL DE LOS  
GRUPOS FUNCIONALES FITOPLANCTÓNICOS EN UN  
EMBALSE TROPICAL***

**T E S I S**

*que para obtener el grado académico de  
Maestro en Ciencias del Mar y Limnología  
(Limnología)*

Presenta

**ARAMIS ENRIQUE FLÓREZ MÁRQUEZ**

Directora de tesis: **DRA. ELIZABETH ORTEGA MAYAGOITIA**

Comité Tutorial: **DR. JAVIER ALCO CER DURAND  
DR. JAVIER CARMONA JIMÉNEZ  
DR. ALFONSO LUGO VÁZQUEZ  
DRA. ROSALUZ TAVERA SIERRA**

**México, D.F. Febrero 2011**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

***“Todos los cambios, aun los más ansiados, llevan consigo cierta melancolía; ya que todo aquello que dejamos es una parte de nosotros mismos, y por lo tanto debemos morir una vida para entrar en otra.”***  
**Anatole France**

# DEDICATORIA

---

*Dedico este trabajo con toda la fuerza de mi existencia a mi familia, quienes desde el inicio de esta aventura me dieron toda la confianza que pudieran albergar en su ser.*

*A mis madres, Yadira Márquez Pertuz (Q.E.P.D) y María Pertuz Pertuz (Q.E.P.D), quienes me heredaron su alma de lucha y de superación para seguir adelante sin desfallecer, guiándome día a día con sus consejos y enseñanzas para alcanzar una meta más allá del horizonte del hombre común.*

*A mi hermana y sobrino, Carlina Isabel y Aldair de Jesús, que me dieron un propósito para mejorar constantemente y mostrarles el camino hacia el éxito cuando los sueños se forjan bajo el fuego del corazón.*

*Al profesor y padre, Adolfo Cortez Ibarra, por su apoyo inmensurable, su confianza en mí y por todas sus enseñanzas nutridas de paciencia y tolerancia.*

*Gracias familia los amo*

# AGRADECIMIENTOS

---

En todo éxito individual siempre hay personas apoyándonos, levantándonos, inspirándonos, alentándonos de una y mil maneras y que a veces ellos sin darse cuenta resultan ser la única estrella en esas noches de penumbra y desolación, esa melodía en medio del silencio y soledad, esa brisa suave y apacible en medio del caos y de la desesperación, así que por esto y más,

Le agradezco infinitamente a la **Dra. Elizabeth Ortega Mayagoitia**, quien más que mi tutora fue compañera y amiga en esos momentos de inconsistencia y debilidad, guiándome hacia la excelencia.

Agradezco al Dr. Pedro Sunyer Martin y la Dra. Gabriella Piccinelli Bocchi de la Facultad de Estudios Superiores Aragón, UNAM, sin cuyo apoyo logístico y económico este proyecto no se hubiera llevado a cabo. Ambos fueron responsables del proyecto PAPIIT IN-104603-3 "Estado trófico y calidad del agua en las lagunas de El Rodeo y Coatetelco (Morelos)" de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), con cuyos fondos se financió esta investigación y la beca que me fue otorgada durante un año.

A los miembros de mi comité tutorial y a todos los maestros del ICMYL que me brindaron sus conocimientos cimentando mi formación, Dr. Javier Alcocer Durand, Dr. Alfonso Lugo Vázquez, Dr. Javier Carmona Jiménez, Dra. Rosaluz Tavera Sierra, Dra. Rosario Sánchez Rodríguez, Dr. Jorge Ciros Pérez, Dr. Miroslav Macek, M. en C. Luis Osegura Pérez, M. en C. Laura Peralta Soriano, a Lupita Godoy Medina y a todos los pelaos que sufrieron, rieron y triunfaron conmigo en esta carrera.

De manera especial a dos personas que estuvieron siempre conmigo en medio de esta aventura aceptándome tal y como soy, pasando momentos que vivirán siempre en mi corazón e imposibles de olvidar, **M. en C. Elsa Arce** y **M. en C. Aideé Montiel**.

A la Dra. Beatriz A. Aguilar Franco por su apoyo incondicional, a la Sra. Lidia Franco por creer en mí, y a la familia Muñoz por abrirme desinteresadamente las puertas de su casa.

A la UNAM y al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología por la oportunidad de ser parte de su legado académico, al PILT y a la UIICSE de la FES-Iztacala al contribuir con sus laboratorios en este proyecto.

Hoy al final de esta etapa en mi vida no puedo dejar de mirar atrás y contemplar en un instante de pensamiento a todas las personas que me tendieron sus manos y me hicieron un espacio en sus vidas, dándome así, y con solo eso, la fuerza y el soporte necesario para levantar esta esfinge que enaltece mi existencia, a todos ellos **gracias**.

# INDICE

---

RESUMEN .....	1
INTRODUCCION .....	3
JUSTIFICACION .....	7
HIPOTESIS .....	7
OBJETIVOS.....	8
AREA DE ESTUDIO.....	9
METODOLOGIA.....	14
RESULTADOS.....	18
1. Fases hidrológicas del embalse.....	18
2. Variables físicas y químicas de la columna de agua.....	20
3. Fitoplancton .....	25
DISCUSION.....	60
CONCLUSIONES.....	71
ANEXOS.....	72
BIBLIOGRAFIA.....	75

# INDICE DE FIGURAS

---

1. Estrategias adaptativas primarias C-S-R.....	6
2. Localización del Embalse El Rodeo.....	9
3. Temperatura media mensual del aire.....	10
4. Precipitación mensual total en el Estado de Morelos.....	11
5. Zona de riego circunscrita al Embalse El Rodeo.....	12
6. Variación temporal de la profundidad máxima del embalse.....	19
7. Variación de la temperatura y el oxígeno disuelto.....	22
8. Conductividad en la columna de agua.....	23
9. pH en la columna de agua.....	24
10. Sílice en la columna de agua.....	25
11. Algas cianobacterias y heterocontofitas.....	34
12. Densidad de poblaciones de cianobacterias y heterocontofitas.....	35
13. Algas criptofitas y clorofitas.....	42
14. Densidad de poblaciones de criptofitas y clorofitas.....	43
15. Densidad total del fitoplancton.....	45
16. Biomasa total del fitoplancton.....	46
17. Clorofila "a" en la columna de agua.....	47
18. Composición de la biomasa fitoplanctónica por grupos taxonómicos.....	49
19. Dendogramas de los grupos taxonómicos.....	51
20. Composición de la biomasa algal por grupos funcionales.....	57
21. Dendogramas de los grupos funcionales.....	59

# INDICE DE TABLAS

---

1. Fases hidrológicas del embalse de Rodeo.....	19
2. Desviación estándar de variables físico-químicas.....	20
3. Listado de los taxa fitoplanctónicos.....	26
4. Riqueza específica por División.....	27
5. Desviación estándar de clorofila "a" y biomasa fitoplanctónica.....	48
6. Principales características de los grupos funcionales de fitoplancton.....	53
7. Anexos.....	72



# RESUMEN

---

El fitoplancton es un importante componente biótico de los ambientes acuáticos someros y su composición específica y funcional puede arrojar valiosa información sobre el funcionamiento hidrológico y trófico del mismo. El objetivo de este trabajo es describir el fitoplancton en el embalse tropical El Rodeo, Morelos (18° 45' N y 99° 21' W) a lo largo de un ciclo anual, en términos de la abundancia y diversidad de especies morfológicas, divisiones taxonómicas y grupos funcionales como indicadores de las variaciones hidrológicas y del estado trófico del cuerpo de agua.

Se tomaron muestras mensualmente de febrero de 2004 a mayo de 2005 en una estación ubicada en el centro y a dos profundidades. Se registraron la profundidad total, la temperatura del agua, el oxígeno disuelto, el pH, y la concentración de sílice. El fitoplancton se identificó, cuantificó y se calculó su biovolumen. Posteriormente se agrupó de acuerdo a sus afinidades taxonómicas y a los grupos funcionales según Reynolds (2006).

La comunidad fitoplanctónica la conformaron 96 morfoespecies, siendo la división Chlorophyta el grupo dominante en cuanto a diversidad con 56 especies. Cyanobacteria fue el grupo más importante en términos de biomasa al aportar entre el 25 y 51% a lo largo del estudio. Se reconocieron 15 asociaciones funcionales a lo largo del tiempo y del espacio. Se reportaron grupos funcionales dependientes del régimen de mezcla de la columna de agua como **M** (*Microcystis botrys*) seguida de **P** (*Fragilaria* sp., *Cosmarium bioculatum*), y **F** (*Botryococcus* sp., *Dictyosphaerium* sp.), los cuales se presentaron como los más relevantes en este estudio. Junto con los grupos anteriores se presentaron también, pero en menor proporción **J** (*Coelastrum*, *Pediastrum duplex*, *P. simplex*), **Lm** (*Coeleomoron* sp.) y el **W** (*Trachelomonas* sp.). A lo largo del tiempo, las variaciones hidrológicas marcaron la aparición de algunos grupos funcionales en el sistema, específicamente en las fases de mayor volumen de agua se encontraron los grupos **Y** (*Cryptomonas* sp.), **X2** (*Rhodomonas* sp.), **D** (*Achnantheidium* sp.), **E** (*Mallomonas* sp.) y **Lo** (*Merismopedia tenuissima*). Los tres primeros contienen organismos tolerantes a la mezcla vertical, propios de ambientes con poca luminosidad, altamente enriquecidos, propensos a la turbiedad y ricos en fósforo, pero los dos últimos grupos están asociados a aguas claras y bajas concentraciones de nutrientes.

La comunidad algal del Rodeo refleja una marcada heterogeneidad en su estructura a través del tiempo, tanto en diversidad como en grupos funcionales; y aunque el embalse presenta variaciones cíclicas ambientales e hidrológicas a lo largo del año, los grupos funcionales observados en este cuerpo de agua no describen ningún patrón de sucesión claro, pero sí aportan más información sobre la comunidad fitoplanctónica que los grupos taxonómicos.

# INTRODUCCIÓN

---

Los cuerpos de agua someros de origen antrópico, ya sean embalses o presas, tienen una apariencia similar a la de un lago o laguna natural. Estos sistemas pueden proveer de agua a poblaciones circundantes o lejanas, generar energía eléctrica y suministrar el caudal necesario para la irrigación de la agricultura local (Naselli, 2003). Los reservorios ocupan una posición intermedia entre los ríos y los lagos naturales con respecto a sus características morfológicas e hidrológicas, a la entrada externa y al ciclo interno de sus nutrientes, además de las diferentes fuentes de materia orgánica, por lo que a menudo son descritos como híbridos ríos-lagos (Kimmel *et al.*, 1990 y trabajos ahí citados).

Los requerimientos para almacenar el agua y suplir un amplio rango de necesidades humanas y el proceso operacional para cumplir dichas demandas, influyen directa y fuertemente en la dinámica del ecosistema y por ende hacen que su funcionamiento sea distinto al de un lago natural (Straškraba y Tundisi, 1999). El nivel del agua se eleva generalmente en los periodos en que aumenta la precipitación pluvial, y disminuye drásticamente cuando el agua es extraída durante las etapas climáticas más secas. Como consecuencia, el nivel del agua y el volumen almacenado oscilan ampliamente a lo largo del año (e.g. Harris y Baxter, 1996; Akbay *et al.*, 1999; Gomes y Miranda, 2001), lo que repercute en las características químicas, físicas y biológicas del embalse. Algunos autores (Naselli-Flores, 2003) consideran que un embalse puede tener las características de un lago profundo estratificado cuando está a su máxima capacidad, o ser similar a un lago somero cuando tiene un nivel mínimo de agua; pero para otros autores las variables son, en cualquier momento, mucho más dinámicas y complejas que en la mayor parte de los lagos (Wetzel, 1990).

## **El fitoplancton en embalses**

Como en ríos y lagos, en los embalses pueden existir tres grupos de productores primarios: algas y bacterias fotoautótrofas planctónicas (fitoplancton), algas adheridas (perifiton) y macrófitas enraizadas o libre-flotadoras. La turbidez -debida con frecuencia al material erosionado desde la

cuenca de captación- y las amplias fluctuaciones en el nivel del agua a menudo restringen el desarrollo del perifiton y las macrófitas, lo cual maximiza la importancia del fitoplancton como principal productor primario en estos ecosistemas (Kimmel *et al.*, 1990).

La composición específica y la abundancia, así como la variabilidad interanual del fitoplancton se ven fuertemente influidos por los vaivenes hidráulicos (Naselli Flores y Barone, 1994). Las fluctuaciones hidrológicas tienen un efecto tan fuerte sobre los organismos en los embalses templados, que se consideran como la fuerza que modula los ciclos temporales del fitoplancton, por encima de los efectos del clima (Naselli-Flores y Barone, 1998). Ya que la riqueza de especies de plancton en un reservorio está relacionada con el estado trófico, la heterogeneidad espacial y la frecuencia y grado de mezcla/estratificación de la columna de agua (Matsumura-Tundisi y Tundisi, 2005), la alternancia de condiciones someras y profundas en el sistema podrían incrementar la diversidad biológica de estos ambientes. Sin embargo, si la inestabilidad física es demasiado alta, la biota tenderá a ser escasa y estará compuesta por pocas especies bien adaptadas a las perturbaciones, con tolerancias fisiológicas amplias.

Los cambios temporales en la composición y abundancia del fitoplancton en los embalses se han estudiado con varias aproximaciones. Siguiendo las mismas líneas de investigación establecidas en lagos naturales, la mayor parte de los estudios incluyen por ejemplo, estimar la biomasa fitoplanctónica a través de la clorofila *a* y otros pigmentos fotosintéticos, elaborar el listado específico, calcular índices de diversidad, calcular la abundancia en términos de células o individuos por unidad de volumen, etc., organizando en muchos casos la información de acuerdo a los grupos taxonómicos algales para facilitar la comprensión de los datos (ver por ejemplo, Barone y Naselli-Flores, 1994; Gómez-Nogueira, 2000; Grover y Chrzanowski, 2006; Huzsar *et al.*, 1998; Matsumura-Tundisi y Galizia-Tundisi, 2005; Naselli-Flores, 2000, entre otros). El objetivo en muchos casos es buscar las relaciones de las variables abióticas con la comunidad fitoplanctónica, describir la heterogeneidad espacial y temporal del sistema, su estado trófico, etc.

De los procedimientos mencionados en el párrafo anterior, el referente a agrupar a las especies por sus afinidades taxonómicas (generalmente a nivel de División) tiene la desventaja de que esta clasificación no corresponde necesariamente con las características ecológicas de los organismos.

Una alternativa complementaria de agrupamiento de las especies surge del concepto ecológico de las “estrategias adaptativas”, que clasifica a los organismos de acuerdo a las estrategias evolutivas que poseen para incrementar sus habilidades competitivas para el crecimiento y la supervivencia (Olrik, 1994). En este contexto, una estrategia adaptativa es un conjunto de propiedades morfológicas, fisiológicas, reproductivas y conductuales –interrelacionadas entre sí- a las que se les atribuye valor adaptativo (Reynolds, 1988a). Este concepto fue desarrollado por fitosociólogos terrestres y se basa en la premisa de que los organismos que han adoptado estrategias similares, probablemente tengan ecologías similares (Grime, 1979).

Grime (1979) propuso tres estrategias adaptativas primarias (**C-S-R**) que corresponden a las especies adaptadas a vivir en tres distintas condiciones definidas por la combinación de distintos niveles de la productividad y la duración (permanencia) del hábitat. Un ambiente de larga duración y con alta productividad es poblado por plantas especializadas en la rápida explotación de los recursos disponibles (**C**, “competidoras”); en contraste, en un hábitat con alta productividad pero de corta duración predominarán las plantas adaptadas a las perturbaciones (**R**, ruderales y tolerantes a las perturbaciones); y finalmente un ambiente con una larga duración pero baja productividad será colonizado por especies tolerantes a la deficiencia de recursos (estrategia **S**, por “stress tolerants”). La combinación ambiental restante, baja productividad-corta duración, no presentaría condiciones adecuadas para el sostenimiento de la vida.

Con cambios menores, Reynolds (1988) propuso las bases para acomodar a las especies fitoplanctónicas en este esquema, de acuerdo a sus morfologías y adaptaciones fisiológicas de supervivencia, en tres combinaciones de hábitats generados por la disponibilidad de recursos (altos-bajos) y mezcla de la columna de agua o perturbación (alta-baja), equivalentes a los ejes de productividad y duración del hábitat de Grime (1979). Un ambiente pelágico con alta disponibilidad de recursos y baja perturbación favorecerá a especies con estrategia colonizadora o invasiva (se conserva la letra **C** pero ya no se considera “competidora”), integrada por organismos que son capaces de procesar rápidamente los recursos para la biosíntesis y la reproducción. Por lo tanto tienen una alta tasa de crecimiento  $r$ , basada en su habilidad para adquirir y convertir recursos antes que las otras especies. Están caracterizadas por tener una relación superficie-volumen alta (son generalmente especies pequeñas), altos requerimientos de luz, bajas tasas de sedimentación y alta

susceptibilidad a la herbivoría (Reynolds, 2006).

En una columna de agua con mayor disponibilidad de recursos pero con frecuencia alta de perturbación, el fitoplancton estará expuesto a amplias fluctuaciones en la disponibilidad de luz, por lo que en estas condiciones persistirán especies con una buena capacidad para “cosechar” y procesar energía (estrategia **R**). Esta capacidad está asociada a un tamaño pequeño o a la atenuación (adelgazamiento) en uno o dos planos de las células más grandes.

En un hábitat con baja disponibilidad de recursos y baja frecuencia de perturbación se verán favorecidas especies que combinen una alta afinidad por los recursos y/o posean mecanismos especializados para obtener recursos limitantes o escasos (estrategia **S**), por lo tanto, éstas son las especies que en ecología del plancton se consideran “buenas competidoras”. Entre sus mecanismos especializados están el poseer una movilidad significativa (para lo que requieren ser de mayor tamaño) o la capacidad de explotar fuentes alternas de recursos (fijación de nitrógeno, actividad de las enzimas fosfatasas, fagotrofía, etc.). Por su mayor tamaño generalmente tienen tasas de crecimiento más bajas y una disminución en la eficiencia en la absorción de luz; pero a cambio son menos susceptibles a la herbivoría. Sin embargo, si el ambiente es ultraoligotrófico, con una escasez crónica de nutrientes pueden dominar organismos de muy pequeño tamaño – picoplanctónicos -, para los que se ha creado una cuarta estrategia denominada **SS**.

Reynolds retomó otra herramienta diseñada por los fitosociólogos europeos (ver referencias en Reynolds, 2006) para describir comunidades de plantas identificando bloques de especies que co-ocurren regularmente. Esas “asociaciones” de plantas terrestres reciben un nombre concreto y son tratadas como si fueran especies individuales. Reynolds (1980), identificó inicialmente a 14 grupos de especies fitoplanctónicas que frecuentemente coexisten aumentando o disminuyendo en número simultáneamente en respuesta a las condiciones ambientales. Originalmente llamadas también “asociaciones”, actualmente se denominan *grupos funcionales* porque están formados por especies con características morfológicas y fisiológicas similares, y con ecologías parecidas (Reynolds *et al.*, 2002), y están etiquetadas con un código alfanumérico (Fig. 1). Organizados en torno a sus requerimientos y tolerancias de nutrientes y perturbaciones, los grupos pueden acomodarse en el espacio intermedio del que las estrategias adaptativas **C-S-R** son los extremos.

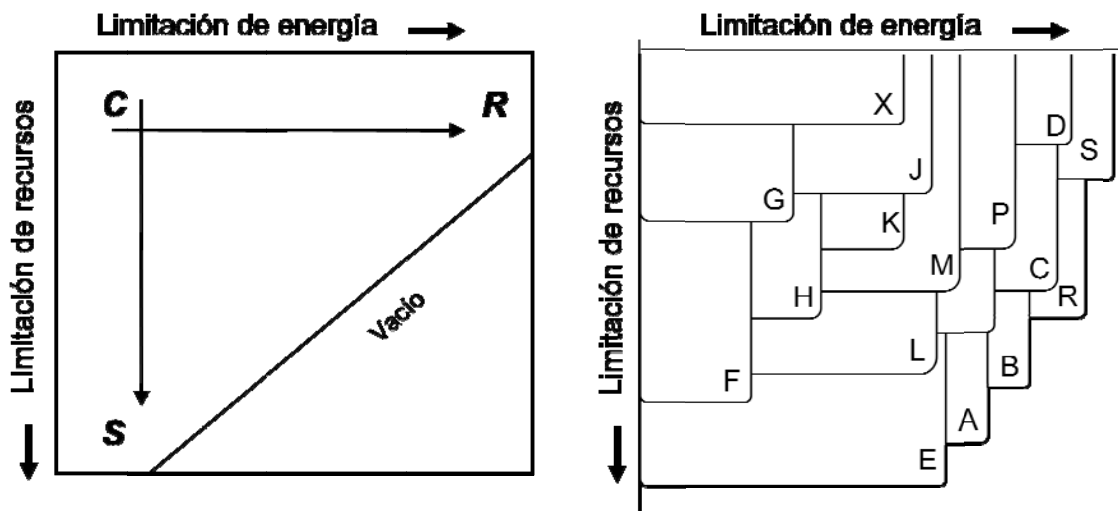


Figura 1. (Izq.) Estrategias adaptativas primarias C-S-R de acuerdo a la limitación de recursos y energía o luz (la limitación de energía es directamente proporcional a la frecuencia de las perturbaciones); el espacio donde la luz y los nutrientes son deficientes está vacío porque no es propicio para la vida. (Der.) Modelo de distribución de los diferentes grupos funcionales de fitoplancton definidos por sus características morfofisiológicas y ecologías particulares, a lo largo de los gradientes de energía y acceso a los recursos.

La organización de las especies fitoplanctónicas en grupos funcionales ha sido utilizada por muchos autores en diversos sistemas templados y tropicales para describir, entre otros, los efectos de las perturbaciones físicas en embalses (Leitão *et al.*, 2003), los cambios temporales en la composición algal en ríos (Dervecely, 2006), en lagos urbanos (Kruk *et al.*, 2002), en lagos formados en llanuras de inundación (Melo y Huszar, 2000 ; Nabout *et al.*, 2006) y en humedales (O'Farrell *et al.*, 2003; Rojo *et al.*, 2000). También se ha empleado para describir las respuestas de la comunidad fitoplanctónica a manipulaciones experimentales de la red trófica (Romo y Villena, 2005) y a la eutrofización (Huszar *et al.*, 2003; Padisak *et al.*, 2003). Este sistema ha sido modificado y validado incluso estadísticamente (Kruk *et al.*, 2002), y continúa desarrollándose.

En el estudio que aquí se presenta se evaluó la composición y abundancia del fitoplancton a lo largo de las distintas fases hidrológicas del embalse el Rodeo en términos de especies morfológicas (morfoespecies), Divisiones taxonómicas y grupos funcionales.

# JUSTIFICACIÓN

---

En México existe una gran cantidad de pequeños cuerpos de agua artificiales, construidos generalmente con el fin de almacenar agua para uso doméstico y/o agropecuario. Estos cuerpos de agua experimentan amplias variaciones temporales en su extensión, profundidad y volumen, resultado de las fluctuaciones hidrológicas asociadas al clima y a extracción intencional del agua para los diversos usos. Estos sistemas, ubicados en zonas agrícolas, con poblaciones establecidas en sus alrededores, suelen recibir altos aportes de nutrimentos desde el exterior, incrementando paulatinamente su nivel trófico, deteriorando la calidad del líquido y restringiendo el uso que de él puede hacerse (Ryding y Rast, 1992).

El fitoplancton es un grupo de productores primarios que refleja, en riqueza y abundancia el estado trófico de un sistema acuático, y puede utilizarse como una herramienta para el monitoreo de su evolución y de los usos que pueden dársele al embalse. Este estudio contribuye al conocimiento del fitoplancton en los embalses de México mediante la valoración de su estructura comunitaria y grupos funcionales que lo componen, siendo probablemente esta aproximación, una de las mejores rutas para entender los cambios (p.e. eutrofización) en el funcionamiento de los sistemas acuáticos epicontinentales.

# HIPOTESIS

---

La composición específica del fitoplancton refleja las condiciones ambientales del sistema, y pueden ser agrupados de acuerdo a sus características morfofisiológicas en grupos funcionales, los cuales son un instrumento útil para caracterizar el estado trófico y las etapas hidrológicas de un embalse tropical poco profundo sujeto a amplias fluctuaciones en su contenido de agua.

# OBJETIVOS

---

## Objetivo General

Caracterizar la estructura de la comunidad fitoplanctónica en un embalse tropical a lo largo de un ciclo anual, en términos de la abundancia y diversidad de especies morfológicas, divisiones taxonómicas y grupos funcionales como indicadores de las variaciones hidrológicas y del estado trófico del cuerpo de agua.

## Objetivos específicos

1. Delimitar las etapas hidrológicas del embalse en un ciclo anual y describirlas en función de algunas de las variables abióticas que influyen en el desarrollo de los organismos fitoplanctónicos.
2. Determinar las especies fitoplanctónicas, cuantificarlas y calcular su biomasa en dos profundidades de la columna de agua
3. Clasificar a las especies fitoplanctónicas en grupos taxonómicos y funcionales y comparar el desempeño de ambos sistemas como descriptores del estado trófico y de las etapas hidrológicas del embalse.



# ÁREA DE ESTUDIO

El embalse de El Rodeo está localizado en el municipio de Miacatlán, en el Estado de Morelos, México ( $18^{\circ} 45' N$ ,  $99^{\circ} 21' W$ ), a una altura de 1054 m.s.n.m. El municipio limita al norte con el municipio de Temixco, al sur con los municipios de Mazatepec y Tetecala, al este con Xochitepec y al oeste con Coatlán del Río y el Estado de México (Fig. 2).

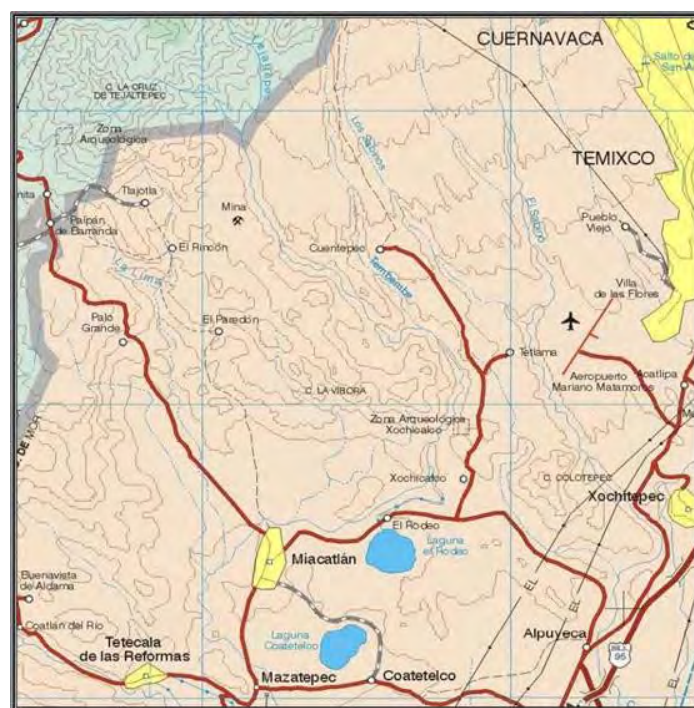


Fig. 2 Localización del Embalse El Rodeo.

## Clima

Esta región tiene un clima cálido sub-húmedo con lluvias en verano (INEGI, 1995). Los datos históricos de la estación meteorológica de Jojutla ( $18^{\circ} 36' N$ ,  $99^{\circ} 10' O$ , 890 m.s.n.m.) señalan que en la región el mes con la temperatura media mensual más elevada es mayo, con  $26.7^{\circ} C$ , y el mes con la más baja es enero, con  $21.7^{\circ} C$ . Por lo tanto, la diferencia en la temperatura media a lo largo del ciclo anual es de  $5^{\circ} C$  (Fig. 3).

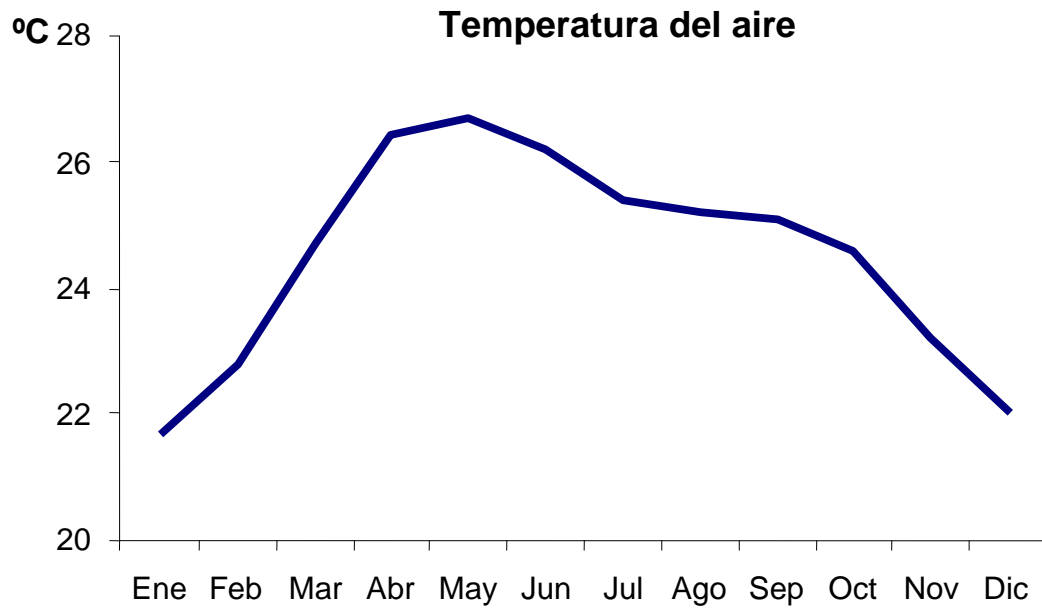


Fig. 3. Temperatura media mensual del aire en la estación meteorológica Jojutla, Morelos. (INEGI, 2004).

De acuerdo con el registro histórico de precipitación del estado de Morelos (1955-2003), (INEGI, 2004) la temporada de lluvias se presenta de junio a septiembre y la de secas de noviembre a abril, con los meses de mayo y octubre con precipitaciones intermedias. En el periodo de muestreo de este estudio pudo observarse que el periodo lluvioso de 2004 tuvo precipitaciones por encima de ese promedio, mientras que los periodos secos de 2004 y 2005 fueron más escasos en lluvias que los de los 60 años anteriores (Fig. 4), por lo que cabe suponer que las oscilaciones hidrológicas en el embalse estudiado son más amplias ahora que en el pasado.

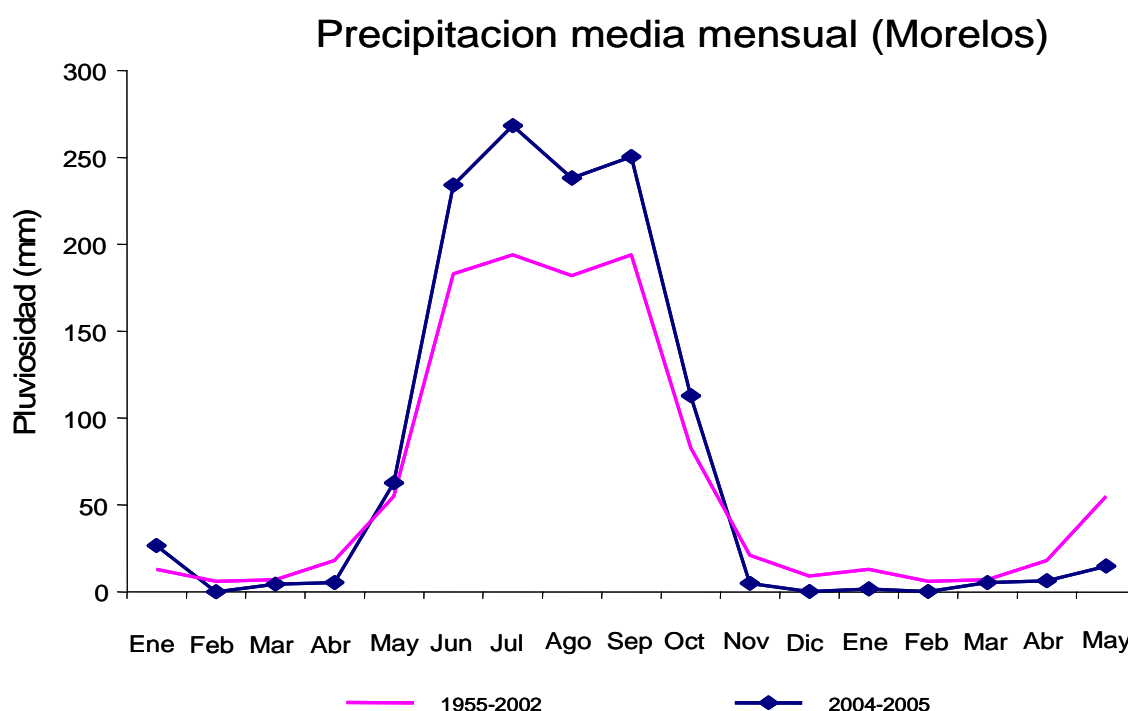


Fig. 4. Precipitación mensual total en el Estado de Morelos. Se muestran los datos históricos desde el año 1955 al 2003, (INEGI, 2004) y los observados durante este estudio (CNA, 2004, 2005).

#### Actividades humanas en la zona

El asentamiento humano aledaño al embalse se ubica en la línea divisoria de aguas de la cuenca lacustre con el valle del río Tembembe y se extiende por una de las vertientes de la laguna. Este asentamiento creció junto con la construcción del embalse, y según el conteo más reciente (INEGI, 2005) tiene una población de 984 habitantes, la mayoría de ellos dedicados a las actividades del campo ayudándose con actividades complementarias. La población carece de alcantarillado dirigiendo sus aguas hacia pozas sépticas, de calidad variable, que han construido en cada domicilio (INEGI, 2005).

La cuenca del embalse está ocupada en su mayor parte por cultivos y pastizales para el ganado, que se alternan en las barrancas y en los linderos del cuerpo de agua con manchones de vegetación autóctona (matorral bajo xerofítico y caducifolio) y con ocupación urbana en una de sus vertientes. La agricultura es de carácter temporal, usándose técnicas tradicionales y ubicándose en la zona más alta de la cuenca. La ganadería que se presenta es de carácter extensivo, situación que contribuye a que los desechos y heces lleguen directa o indirectamente al sistema.

El agua del canal que abastece al embalse sirvió para proveer domicilios; en la actualidad aunque la población es servida con agua de pozo, el canal sigue sometido a extracciones continuas mediante mangueras y camiones pipa. Estas aguas son usadas, en principio, para usos domésticos y de higiene personal, pero no para consumo humano. Las aguas del embalse, aparte del riego agrícola, se utilizan para la cría y producción de peces. La pesca era casi inexistente antes de construirse la presa en 1937 (ver más adelante), siendo fomentada con la instalación de una piscifactoría del cíclido *Oreochromis mossambicus* Peters 1852 que es alimentada por las aguas de salida de la presa y es gestionada por la Comisión Nacional del Agua (SEMARNAT – CNA, 1999a).

### Características del Embalse El Rodeo

El Rodeo es una antigua poza endorreica perteneciente a la sub-cuenca del Río Amacuzac, cuenca del Balsas, a la cual, en el siglo XIX, se le aumentó la capacidad de almacenamiento mediante un pequeño bordo y un canal de alimentación desde el río Tembembe para regar una superficie no muy extensa de tierras. Años más tarde, en 1937, la Comisión Nacional de Irrigación (CNI) asumió la ampliación y acondicionamiento de todo el antiguo sistema de riego para irrigar 1380 ha de tierras para caña de azúcar y arroz (Fig. 5), cultivos con una alta demanda hídrica (Piccinelli *et al.*, 2005).

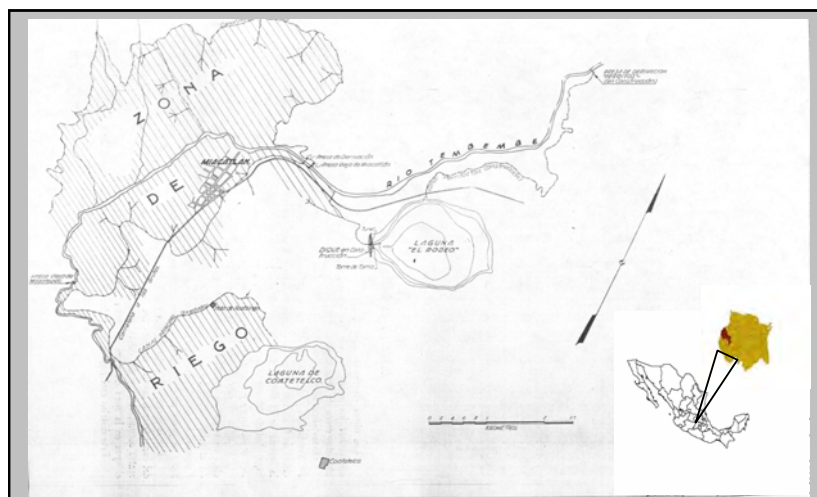


Fig. 5. Zona de riego circunscrita al Embalse El Rodeo.

El embalse tiene un área superficial máxima de 650 ha y una mínima de 300 ha, su diámetro es aproximadamente de 3 Km, con una profundidad declarada de 11 m a capacidad máxima (aunque en este estudio la profundidad máxima medida fue de 13.5), y un volumen de almacenamiento de  $28 \times 10^6 \text{ m}^3$  (Carreño, 1938). Considerando estos parámetros morfométricos, su profundidad media a máxima capacidad (volumen/área superficial) sería de 4.3 m. El cuerpo de agua experimenta amplias variaciones en su volumen almacenado, área superficial y profundidad máxima, debido al régimen hidrológico natural y a la extracción de agua que se hace para uso agrícola.

No existe información que permita comparar el estado actual de este embalse con el desarrollo que ha tenido desde la intervención de 1937. Sin embargo, en trabajos puntuales como el de Carreño (1938), se describe como un lago turbio y altamente mezclado; Salgado (1989) resalta el alto grado de azolvamiento de este embalse, así como la deficiente calidad microbiológica de sus aguas para uso potable y recreativo. La Comisión Nacional de Agua (CNA) practicó algunos análisis químicos en 1990 y 1998 (SEMARNAP – CNA, 1999c) y lo ubica como un lago hipereutrófico. Piccinelli *et al.*, (2005) señalan que este cuerpo de agua puede clasificarse como hipertrófico por su contenido de fósforo soluble reactivo, que osciló entre 0.15 y 1.91 mg  $\text{PO}_4/\text{L}$ . El alto contenido de coliformes fecales confiere a sus aguas una calidad microbiológica deficiente para uso potable y recreativo.

Aunque se han realizado varios estudios sobre el fitoplancton del Rodeo, hasta el momento sólo se conoce una tesis de licenciatura como producto terminado, y en ella se describe la composición y abundancia algal en tres profundidades del cuerpo de agua, en tres muestreos hechos entre 1986 y 1987 (Martínez Martínez, 2004). Se señala que las clorofitas, crisofitas y cianofitas son los grupos más abundantes, y que de acuerdo con la composición específica algal, el cuerpo de agua tiende a la eutrofización.

El zooplancton está compuesto por 22 taxa, entre los que destacan *Thermocyclops inversus*, *Conochilus natans* y *Diaphanosoma* spp. (E. Ortega-Mayagoitia et al., artículo en preparación). Además de la presencia del cíclido *O. mossambicus*, también se encuentra el poecílido *Heterandria bimaculata* (Gómez-Márquez *et al.*, 1999).

# METODOLOGÍA

---

## Trabajo de campo

Entre febrero de 2004 y mayo de 2005 se realizaron 13 muestreos con una periodicidad mensual, exceptuando los meses de marzo y julio de 2004 y enero de 2005. Se estableció una estación en la zona central del embalse, que es la parte más profunda del mismo. La toma de muestras se realizó entre las 10:00 y 14:00 horas.

En campo se midió *in situ* temperatura, conductividad eléctrica estandarizada a 25°C ( $K_{25}$ ) y oxígeno disuelto con una sonda YSI 85 a lo largo de la columna de agua con una distancia de 0.5 m. entre mediciones. Además se registró el pH por medio de una sonda YSI 60, en la superficie, la parte media y el fondo de la columna de agua. La transparencia se midió con un disco de Secchi de 20 cm de diámetro.

Para la medición de la clorofila “a” y de sílice se tomaron muestras a 0.5 m de la superficie, a media columna de agua y 0.5 m por encima del fondo. Las muestras para la determinación de clorofila se guardaron en recipientes oscuros de 50 ml y se conservaron en frío para filtrarlas dentro de las siguientes 24 horas. Para el análisis de sílice las muestras se almacenaron en recipientes de plástico de 120 ml y a baja temperatura para su posterior análisis en el laboratorio.

Para el análisis de fitoplancton se tomaron dos muestras de la columna de agua con una botella Van-Dorn de 2 L de capacidad, una a 0.5 m por debajo de la superficie, y otra a 0.5 m por encima del fondo. Se almacenaron submuestras en botellas de PET de 500 ml, y se fijaron con lugol. Cada mes se realizó un arrastre vertical con una red cónica de 20  $\mu$ m de apertura de poro, y el concentrado se dividió en dos tubos de polipropileno de 50 ml, uno de los cuales se fijó con formol al 2% y en el otro se conservó el material para observación *in vivo* a 4°C para facilitar la identificación de las especies.

## Trabajo de laboratorio y cálculos

A partir de la visibilidad del disco de Secchi, se calculó la amplitud de la zona eufótica ( $Z_{eu}$ ) mediante la fórmula:

$$Z_{eu} = 1.7 * DS$$

donde DS= visibilidad del disco de Secchi en metros, y 1.7 es una constante (Reynolds, 1984).

La clorofila "a" fue determinada con el Método 445 de fluorescencia (Arar y Collins, 1997) usando como solvente acetona al 90% con un tiempo de 24 horas de extracción. La silica se analizó con la técnica del molibdatosilicato descrito por la APHA-AWWA-WPCF (1998), usando ácido oxálico y ácido clorhídrico como reactivos.

Para la elaboración del listado taxonómico del fitoplancton se utilizó el concepto tradicional de especie morfológica (también conocido como concepto lineano, clásico o tipológico) ampliamente usado en la sistemática algal, en el que las especies son definidas por discontinuidades en sus características morfológicas (John y Maggs, 1997). La identificación se hizo principalmente a partir del material *in vivo* y del que fue fijado con formol. Esta tarea se realizó utilizando material bibliográfico reciente y en lo posible, específico para algas de América del Norte, tomando el trabajo de Wehr y Sheath (2003) como base y ampliando las fuentes bibliográficas conforme fue necesario. Para las Chroococcales se consultó a Komárek y Anagnostidis (1998), para Euglenofita a Tell y Conforti (1986), para las Chlorococcales a Komárek y Fott (1983) y a Comas (1983); para las diatomeas a Round *et al.* (1990) y a Germain (1981). En el caso de las morfoespecies que no presentaron una coincidencia total con las características morfológicas y/o ecológicas (tamaño, tipo de ambiente) reportadas por los autores consultados, se usó el término *confer* (cf.), y el término *sp.* si la morfoespecie encontrada en el Rodeo no se parece a ninguna especie reportada en los textos consultados.

Para enumerar los organismos se utilizó el método de Utermöhl sedimentando las muestras en cámaras de 25 ml y observando el material de los primeros meses (febrero-abril de 2004) con un microscopio invertido Carl Zeiss con contraste de fases a 204.8X para especies grandes y escasas, y a 512X para las demás, ya que la mayoría de los organismos son relativamente pequeños.

Posteriormente (muestras de mayo de 2004 en adelante) se utilizó un microscopio invertido Leica DMIL con contraste de fases contando a 200X y 400X. En cada aumento el conteo se detuvo al llegar a por lo menos 400 individuos de la especie más abundante.

La estimación de la biomasa de las poblaciones algales se hizo a través de los biovolúmenes celulares, siguiendo dos métodos. El primero fue la aplicación de fórmulas de cuerpos geométricos similares a las formas de las microalgas, midiendo por lo menos 20 individuos de cada especie (Hillebrand *et al.*, 1999; Sun y Liu, 2003) (Anexo 1). En su mayor parte, el volumen promedio de las especies coloniales o filamentosas se calculó multiplicando el volumen de una de sus células por el número promedio de células en la colonia/filamento. En otras en las que las colonias/filamentos son muy compactas y/o el recuento del número de células era complicado, el biovolumen se calculó aplicando la fórmula geométrica al individuo completo.

El segundo método fue la aplicación de la técnica del peso (Torres-Orozco y García, 1995) para las especies que por su morfología irregular o intrincada no se ajustaron a ninguna de las formas geométricas propuestas por los autores mencionados en el párrafo anterior (por ejemplo *Pediastrum duplex*, *P. simplex*, *P. tetras*, *Tetraedron caudatum*, *T. gracile*). Esta técnica se utiliza en limnología para calcular el área superficial de un espejo de agua de forma irregular. El valor del área se establece por analogía entre el peso de un cuadrado de papel de área conocida, y el del área completa del espejo de agua dibujado a la misma escala. En este caso, se calculó el área de una de las caras del alga en cuestión, utilizando microfotografías impresas en el mismo tipo de papel y a la misma escala que un cuadrado de área y peso conocidos. Las fotografías se recortaron cuidadosamente y se pesaron en una balanza. Una vez conocida el área, se multiplicó por el grosor estimado del alga, obteniéndose así el volumen. La estimación de la biomasa se hizo transformando el biovolumen algal en biomasa húmeda, considerándose que  $1 \text{ cm}^3$  de biovolumen algal = 1 g de biomasa húmeda.

La estructura del fitoplancton se describió de acuerdo a sus afinidades taxonómicas, agrupándolas en Divisiones según Van den Hoek *et al.*, (1995), y en grupos funcionales según Reynolds (1997), Reynolds *et al.* (2002), Reynolds (2006) y Kruk *et al.* (2002). Para aquellas especies o géneros no contemplados en esos trabajos, se procedió a asignarlos a aquellos grupos previamente definidos con los que comparten características morfológicas (tamaño, movilidad, organización,



presencia de mucílago, etc.) y eco-fisiológicas (afinidad por nutrientes, requerimientos de luz, etc.), en caso de conocerse.

Se llevó a cabo un análisis de varianza para determinar si hubo diferencias significativas en los valores medios de las distintas variables bióticas y abióticas en cada uno de los periodos hidrológicos. Para explorar la relación entre las variables medidas, se realizaron análisis de correlación -calculando el coeficiente de Pearson- entre las variables abióticas (profundidad máxima, profundidad de la zona eufótica, conductividad, pH, temperatura y oxígeno disuelto promedio de la columna de agua) y la biomasa del fitoplancton (promedio de la columna de agua). Ambos tipos de análisis estadísticos se hicieron con el paquete SPSS ver. 17.0 (SPSS Inc., 2008). Finalmente, para analizar si existen patrones temporales en la composición del fitoplancton a nivel de grupos taxonómicos y de grupos funcionales que se asocian a los periodos hidrológicos, se hizo un análisis de clúster con el paquete estadístico SSP (Smith, 2005).

# RESULTADOS

---

## 1. FASES HIDROLÓGICAS DEL EMBALSE

La profundidad máxima del cuerpo de agua fluctuó ampliamente a lo largo del periodo de estudio (Fig. 6), reflejando claramente el impacto de los periodos de secas y lluvias. De acuerdo con los valores obtenidos en la zona más profunda del embalse, la altura mínima de la columna de agua en ambos años se registró en mayo (5.9 m en 2004 y 4.8 m en 2005), y la máxima en octubre de 2004, con 13.5 m. Esto representa un intervalo de variación de 8.7 m a lo largo del año.

Conforme a los valores observados en su profundidad, el ciclo hidrológico del embalse puede dividirse en 4 fases (Tabla 1):

1. **Volumen mínimo**, de abril a junio. Corresponde a la época más cálida del año, en la que se presenta la transición entre el periodo de secas y el de lluvias.
2. **Fase de Llenado**, de julio a septiembre. Coincide completamente con los meses más lluviosos del año.
3. **Volumen máximo**, entre octubre y noviembre. Se ubica en la transición del periodo de lluvias al de secas, con precipitaciones similares a las de la fase de nivel mínimo, pero la temperatura del aire es ligeramente inferior.
4. **Fase de vaciado**, de diciembre a marzo. En esta fase tanto la precipitación como la temperatura promedio son las más bajas del año.

Tabla 1. Intervalos de profundidad máxima ( $Z_{max}$ ) en las distintas fases hidrológicas del embalse de Rodeo durante el periodo de estudio y características climáticas asociadas. Los valores de temperatura y precipitación son promedios obtenidos con los datos del anuario estadístico de Morelos, (INEGI, 2004)

Fase hidrológica	Meses	Intervalo de $Z_{max}$ (m)	Temperatura media mensual del aire (°C)	Precipitación media mensual (mm)
Nivel mínimo	Abril-junio	4.8 – 6	26.4	64.6
Llenado	Julio-septiembre	9.5 – 11.5	25.2	252.2
Nivel máximo	Octubre-noviembre	12.8 – 13.5	23.9	58.9
Vaciado	Diciembre-marzo	8.5 – 11.6	22.8	5.4

La fase más estable en cuanto a la profundidad del embalse fue la de mínimo nivel, con una variación de -0.10 cm abril a junio de 2004. En el resto de los meses la profundidad cambió constantemente, observándose que se llenó más rápido de lo que se vació (la tasa de cambio de la profundidad de junio a octubre fue 1.9 m/mes, y de octubre a mayo -1.2 m/mes). La fase de máximo nivel se definió por tener las mayores profundidades, pero tuvo una corta duración (Fig. 6).

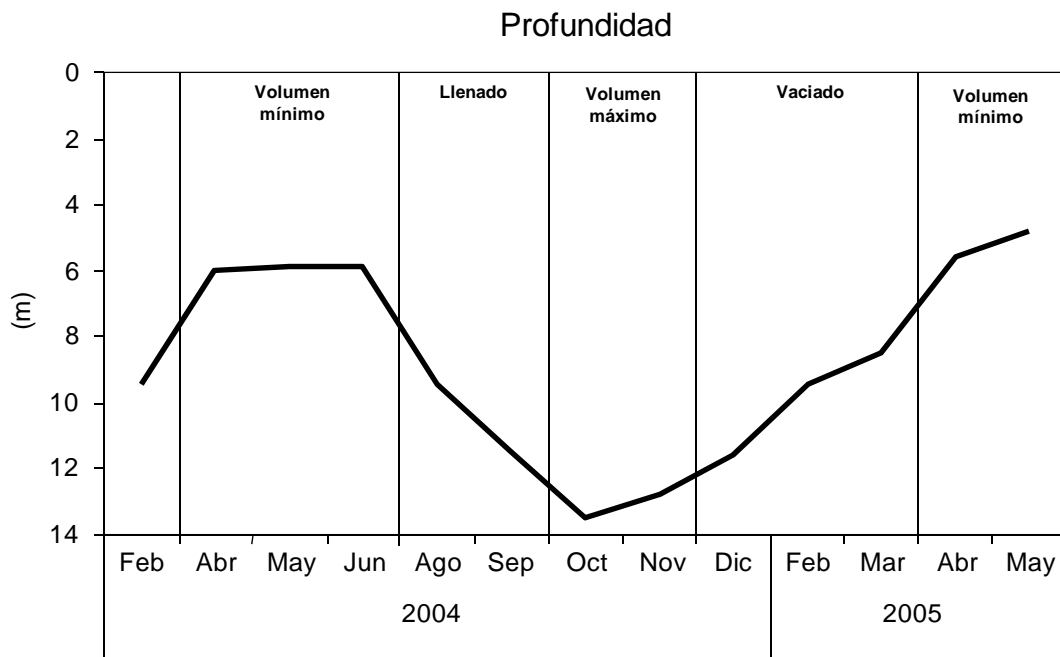


Fig. 6. Variación temporal de la profundidad máxima del embalse. Se indican los límites aproximados de las cuatro fases hidrológicas establecidas.

## 2. VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA COLUMNA DE AGUA

**Zona eufótica.** En promedio, el grosor de la zona eufótica ( $Z_{eu}$ ), calculada a partir de las lecturas del disco de Secchi, fue de 3.0 m (desviación estándar,  $DE = 0.6$  m), siendo más amplia durante la fase de máximo nivel y más delgada en el periodo de mínimo nivel (Tabla 2, Fig. 7). En este último periodo la desviación estándar de  $Z_{eu}$  fue más amplia que en otras etapas del año, señalando variaciones más grandes en la penetración de luz a la columna de agua. Si se considera la proporción entre la zona eufótica y la profundidad total ( $Z_{eu}/Z_{max}$ ), se observa que la zona eufótica abarcó el 43% de la columna de agua en la fase de mínimo nivel y alrededor del 30% el resto del año, aunque no hubo diferencia significativa en los valores promedio de las distintas fases hidrológicas.

La  $Z_{eu}$  tuvo una correlación numérica positiva con la profundidad máxima del embalse ( $r = 0.811$ ,  $P = 0.001$ ), y con la concentración de clorofila promedio en la columna de agua ( $r = -0.632$ ,  $P = 0.28$ ). Sin embargo con la biomasa fitoplanctónica no tuvo correlación significativa.

Tabla 2. Promedio  $\pm$  desviación estándar de la profundidad máxima ( $Z_{max}$ ), el grosor de la zona eufótica ( $Z_{eu}$ ), la temperatura, el oxígeno disuelto, la conductividad y el pH en la columna de agua en cada una de las fases hidrológicas de El Rodeo de febrero de 2004 a marzo de 2005.. La última columna corresponde al valor de P obtenido en el análisis de varianza. Las diferencias se consideran significativas si  $P < 0.05$ . Los superíndices indican grupos homogéneos según la prueba de Duncan.

Variable	Nivel mínimo	Llenado	Nivel máximo	Vaciado	P
$Z_{max}$ (m)	$5.64 \pm 0.49^a$	$10.5 \pm 1.41^b$	$13.15 \pm 0.49^c$	$9.78 \pm 1.30^b$	0.000
$Z_{eu}$ (m)	$2.41 \pm 0.56^a$	$2.98 \pm 0.12^{a,b}$	$3.91 \pm 0.24^c$	$3.23 \pm 0.24^{b,c}$	0.009
$Z_{eu} / Z_{max}$	$0.43 \pm 0.1$	$0.29 \pm 0.03$	$0.30 \pm 0.03$	$0.33 \pm 0.04$	0.072
Temperatura ( $^{\circ}C$ )	$26.6 \pm 0.9^a$	$26.1 \pm 1.3^a$	$24.5 \pm 1.1^b$	$22.6 \pm 0.7^c$	0.000
Oxígeno disuelto (mg/l)	$4.2 \pm 2.3^a$	$2.9 \pm 2.4^b$	$2.2 \pm 2.5^b$	$4.7 \pm 2.7^a$	0.003
Conductividad $K_{25}$ ( $\mu S/cm$ )	$128.5 \pm 6.0^a$	$111.9 \pm 4.5^b$	$104.7 \pm 3.2^b$	$107.6 \pm 2.7^b$	0.001
pH	$8.23 \pm 0.27$	$7.81 \pm 0.59$	$8.07 \pm 0.25$	$8.18 \pm 0.51$	0.697

**Temperatura.** La temperatura del agua en el embalse fluctuó entre el máximo de  $29.3^{\circ}C$  de agosto de 2005 (superficie) y los  $21.3^{\circ}C$  de febrero de 2004 (fondo) (Fig. 7). La temperatura promedio de la columna de agua fue significativamente más alta durante los periodos de nivel mínimo y llenado,

y más bajo durante el vaciado del embalse (Tabla 2). La máxima diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo se observó en agosto (4.8 °C) durante la fase de llenado. En cambio, la mínima diferencia entre superficie y fondo se registró en diciembre (0.3 °C), durante el vaciado, siendo el perfil de temperatura más homogéneo.

Por lo general la temperatura descendió gradualmente a lo largo de la columna de agua. En algunos meses como septiembre, octubre, febrero y abril del 2005 se observó una inflexión en el perfil de temperatura (un cambio  $\geq 0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ), coincidente con oxiclinas bien definidas (ver más detalles en la próxima sección). La correlación de la temperatura promedio del agua con la profundidad máxima del embalse fue  $r = -0.509$ ,  $P = 0.076$ , es decir, que la temperatura aumentó a medida que el embalse tenía menor profundidad.

**Oxígeno disuelto.** Durante la mayor parte del periodo de estudio se registraron altas concentraciones de oxígeno disuelto en la parte superior de la columna (hasta  $8.4 \text{ mgO}_2/\text{l}$ ) (Fig. 7), y condiciones de hipoxia o anoxia en el fondo, razón por la cual el promedio de la columna de agua en todas las etapas hidrológicas del embalse es bajo y las desviaciones estándar, amplias (Tabla 2).

El perfil de este gas en la columna de agua cambió a lo largo del tiempo:

- en los meses de febrero de ambos años, en septiembre y octubre de 2004, y en abril y mayo de 2005 se presentó un perfil clinógrado;
- en abril, mayo, junio, agosto y noviembre de 2004 la concentración disminuye paulatinamente hasta niveles de hipoxia o anoxia;
- en diciembre de 2004 y marzo de 2005 se registra una distribución casi homogénea desde la superficie al fondo (perfil ortógrado).
- Casos especiales son los meses de septiembre y noviembre, donde luego de una zona de anoxia, el oxígeno vuelve a aumentar cerca del fondo (perfil heterógrado). Este comportamiento no tiene su paralelo en la temperatura.

En conjunto, el promedio de oxígeno disuelto fue más alto en las etapas de nivel mínimo y de vaciado, y más bajo durante el llenado y el nivel máximo (Tabla 2) porque la zona anóxica ocupó buena parte de la columna de agua en estas dos últimas etapas (entre el 15 y el 58%). La correlación

del promedio del oxígeno en la columna de agua con la profundidad máxima del embalse fue negativo ( $r = -0.543, P = 0.055$ ).

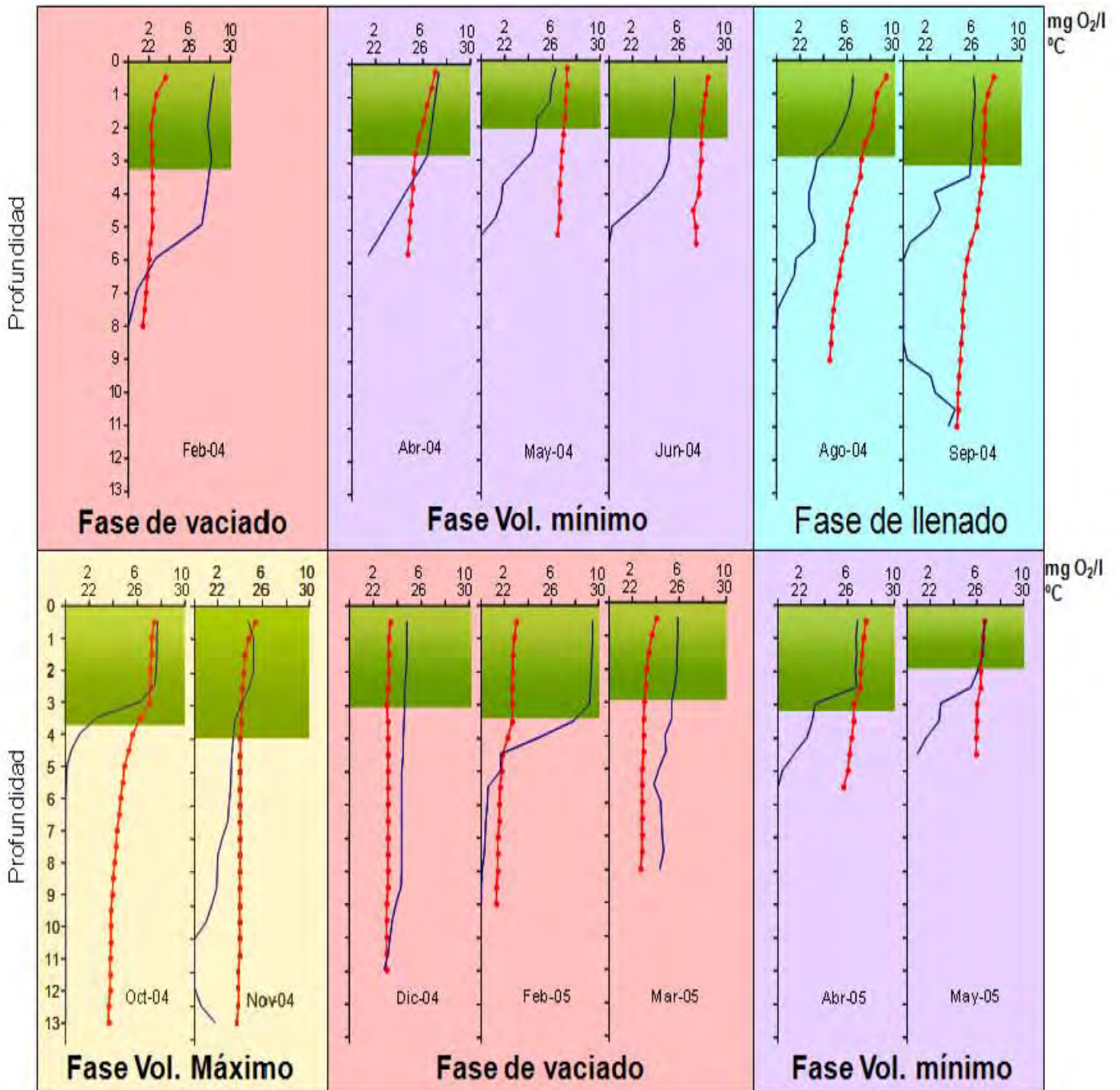


Fig. 7. Variación de la temperatura y el oxígeno disuelto, y amplitud de la zona eufótica en la columna de agua del embalse El Rodeo.

Temperatura —●— Oxígeno disuelto —■— Zona eufótica ■■■■

**Conductividad.** La conductividad ( $K_{25}$ ) del agua del Rodeo osciló a lo largo de las fases hidrológicas del embalse (Tabla 2, Fig. 8), con valores máximos durante la etapa de nivel mínimo (136.6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en junio 2004), y disminuyendo conforme se incrementaba el volumen del cuerpo de agua hasta alcanzar el valor más bajo cuando el embalse alcanzó su máximo nivel en octubre (99.4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). A medida que el embalse disminuyó su volumen, la conductividad nuevamente aumentó de modo claro y continuado. La conductividad promedio de la columna de agua se correlacionó negativamente con  $Z_{\text{max}}$  ( $r = -0.891$ ,  $P < 0.000$ ).

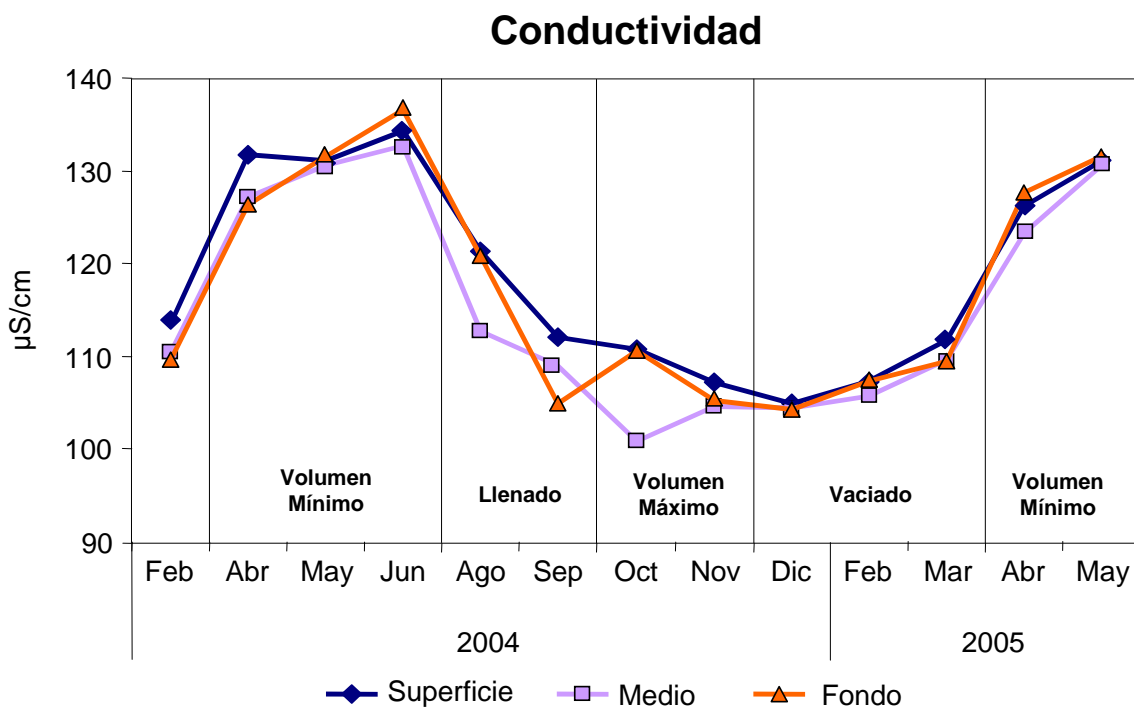


Fig.8. Conductividad en la columna de agua del embalse El Rodeo.

**pH.** El pH del agua de El Rodeo fluctuó entre niveles cercanos a la neutralidad y alcalinos. El mayor valor se registró en febrero de 2004 (8.9) y a partir de ahí descendió y se mantuvo más o menos constante (8.3 - 8.4) en los meses en que el embalse tenía un mínimo de agua. Durante la fase de llenado osciló ampliamente, registrándose el promedio más bajo en agosto, con 7.4. Entre septiembre y abril fluctuó entre 7.8 y 8.3 y descendió nuevamente en mayo. En general, el pH promedio más alto fue cuando el embalse tenía su mínimo nivel y el más alto durante el llenado, aunque la diferencia no fue significativa (Tabla 2); tampoco se correlacionó con la profundidad.

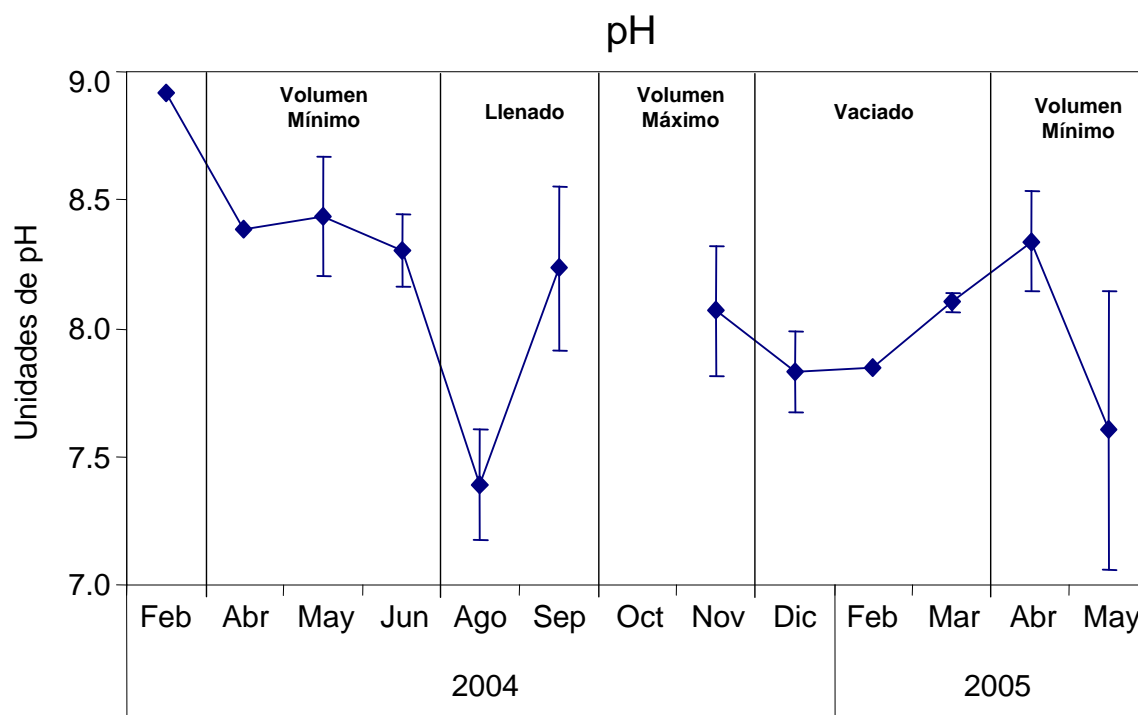


Fig. 9. Valores de pH en la columna de agua del embalse El Rodeo. Se muestra la desviación estándar.

**Sílice.** Este nutriente comenzó a medirse en mayo de 2004. La concentración de  $\text{SiO}_2$  presentó fluctuaciones en cada muestreo pero con pocas diferencias a lo largo de la columna de agua salvo en marzo de 2005, cuando la concentración en el fondo se elevó abruptamente respecto a los meses anteriores, y la concentración en el resto de la columna descendió dramáticamente (Fig. 10). Por ello, en este mes se observaron simultáneamente el valor máximo (46.4 mg  $\text{SiO}_2/\text{l}$ ) y el mínimo (6.3 mg  $\text{SiO}_2/\text{l}$ ). El resto del periodo de estudio, este nutriente fluctuó entre los 25.5 y 40.4 mg  $\text{SiO}_2/\text{l}$ .



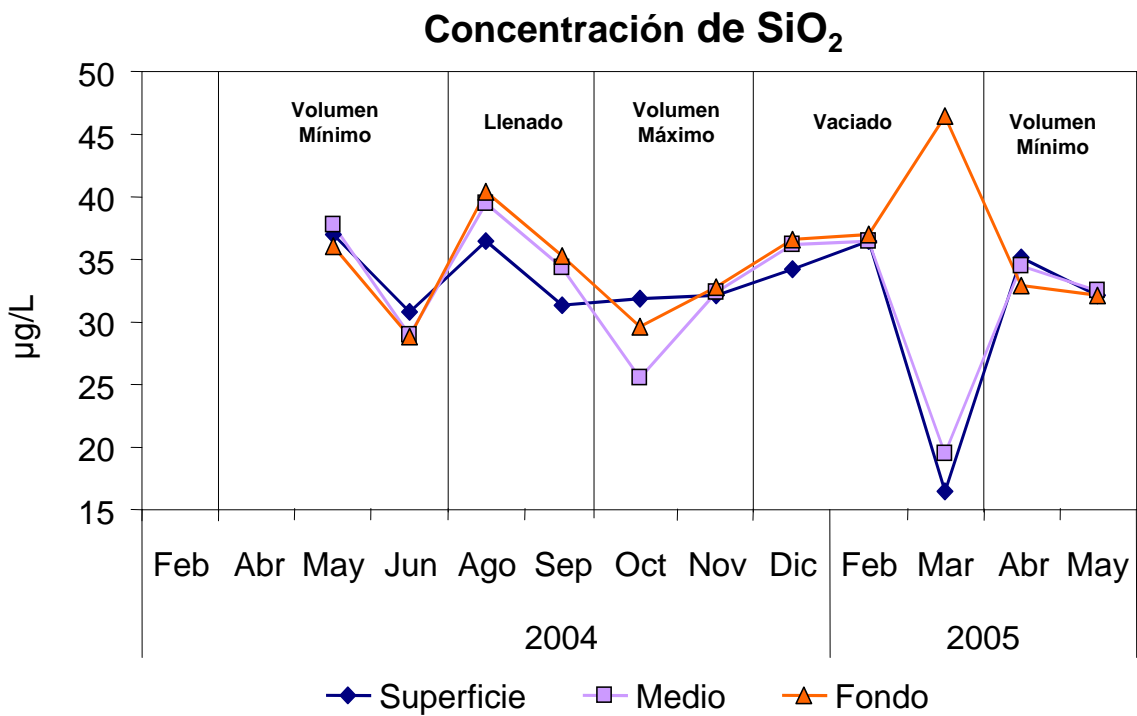


Fig. 10. Sílice en tres estratos de la columna de agua del embalse El Rodeo.

### 3. FITOPLANCTON

#### 3.1 COMPOSICIÓN ESPECÍFICA

En el fitoplancton del Rodeo se identificaron 96 morfoespecies pertenecientes a los grupos de microalgas continentales más comunes. La División con mayor número de morfoespecies fue Chlorophyta con 56, seguido por Cyanobacteria con 14, Heterokontophyta con 12 (9 de los cuales son diatomeas), Euglenophyta con 10, Cryptophyta con 3, y por último, Dinophyta con sólo un representante (Tabla 3).

Tabla 3. Listado de los taxa fitoplanctónicos identificados en el Embalse El Rodeo.

<b>Cyanobacteria</b>	
<i>Anabaena</i> sp.	<i>Microcystis smithii</i>
<i>Chroococcus</i> sp.	<i>Microcystis botrys</i>
<i>Cylindrospermopsis</i> cf. <i>philippinensis</i>	<i>Myxobaktron</i> cf. <i>hirundiforme</i>
<i>Coelomoron pusillum</i>	<i>Oscillatoria</i> sp.
<i>Cyanothece</i> cf. <i>aeruginosa</i>	<i>Planktolyngbya limnetica</i>
<i>Merismopedia tenuissima</i>	<i>Pseudoanabaena</i> spp.
<i>M. punctata</i>	
<b>Heterokontophyta</b>	
<i>Achnantheidium</i> sp.	<i>Fragilaria</i> sp.
<i>Amphora</i> sp.	<i>Isthmochloron</i> sp.
<i>Aulacoseira</i> sp.	<i>Mallomonas</i> sp.
<i>A. granulata</i>	<i>Navicula</i> sp.
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	<i>Ophiocytium capitatum</i>
<i>C. stelligera</i>	
<b>Cryptophyta</b>	
<i>Cryptomonas</i> spp .	<i>Rhodomonas</i> sp.
<b>Dinophyta</b>	
<i>Peridinium</i> sp.	
<b>Euglenophyta</b>	
<i>Euglena</i> spp.	<i>P. horridus</i>
<i>Phacus</i> cf. <i>tortus</i>	<i>Trachelomonas</i> sp.
<i>P. pleuronectes</i>	<i>T. rotunda</i>
<b>Chlorophyta</b>	
<i>Actinastrum aciculare</i>	<i>Crucigeniella</i> cf. <i>lunaris</i>
<i>Ankistrodesmus bernardii</i>	<i>C. pulchra</i>
<i>Botryococcus braunii</i>	<i>C. rectangularis</i>
<i>Chlamydomonas</i> spp.	<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i>
<i>Chlorella</i> sp.	<i>Didymocystis fina</i>
<i>Closteriopsis</i> spp.	<i>Elakatothrix gelatinosa</i>
<i>Closterium</i> spp.	<i>Euastrum</i> sp.
<i>Coelastrum microporum</i>	<i>Kirschneriella irregularis</i>
<i>C. proboscideum</i>	<i>K. contorta</i>
<i>C. reticulatum</i>	<i>Micractinium</i> sp.
<i>Cosmarium</i> sp.	<i>Monoraphidium</i> sp.
<i>C. bioculatum</i>	<i>M. arcuatum</i>
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	<i>M. cf. tortile</i>
<i>Oocystis</i> spp.	<i>Sphaerocystis</i> sp.
<i>Pediastrum duplex</i>	<i>Staurastrum</i> sp.
<i>P. simplex</i>	<i>Tetraedron caudatum</i>
<i>P. tetras</i>	

Tabla 3. Continuación.

<b>Chlorophyta (cont.)</b>	<i>Tetraedron regulare</i>
<i>Pediastrum tetras</i>	<i>T. triangulare</i>
<i>Pteromonas</i> sp.	<i>T. trigonum</i>
<i>Quadrigula</i> sp.	<i>Tetrallantos</i> sp.
<i>Q. closteroides</i>	<i>Tetrastrum</i> sp.
<i>Scenedesmus</i> spp.	<i>T. elegans</i>
<i>S. cuminatus</i>	<i>T. cf. komarekii</i>

A lo largo del tiempo, la riqueza específica fluctuó entre 41 y 78 (Tabla 4) especies, y en promedio fue más alta en los periodos de vaciado y nivel mínimo del embalse ( $61 \pm 13$  y  $65 \pm 9$  taxa, respectivamente) que durante el llenado y máximo volumen ( $52 \pm 3$  y  $51 \pm 2$ , respectivamente). Sin embargo, estos cambios no fueron significativos estadísticamente (ANOVA,  $P = 0.240$ ).

Tabla 4. Riqueza específica por División a lo largo del periodo de estudio.

División	2004									2005			
	Feb	Abr	May	Jun	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Feb	Mar	Abr	May
1. Cyanobacteria	5	7	6	9	8	8	10	8	11	11	13	11	14
2. Heterokontophyta	4	5	5	6	9	6	6	8	10	8	9	8	11
3. Cryptophyta	1	2	1	2	2	2	3	3	3	3	2	3	3
4. Dinophyta	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5. Euglenophyta	0	1	3	5	2	5	2	2	5	4	5	5	5
6. Chlorophyta	30	44	40	47	32	28	28	30	35	38	41	36	44
Total	41	59	56	69	54	50	49	52	65	65	71	64	78

Del total de morfoespecies observadas, 16 estuvieron presentes en todos los meses en que se tomaron muestras, y fueron las clorofitas *Closteriopsis* sp., *Closterium* sp., *Coelastrum microporum*, *Cosmarium bioculatum*, *Didymocystis fina*, *Elakatothrix gelatinosa*, *Kirschneriella irregularis*, *Oocystis* sp. 1, *Oocystis* sp. 2, *Staurastrum* sp. y *Tetraedron regulare*; las diatomeas *Achnantheidum* sp., *Aulacoseira granulata*, *Fragilaria* sp. y *Aulacoseira* sp., y finalmente la criptoficea *Cryptomonas* sp. Otras 44 especies tuvieron una frecuencia muy alta (presentes en al menos 10 de los 13 meses estudiados).

### 3.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS MORFOESPECIES MÁS ABUNDANTES

A continuación se describe la diagnosis de las 18 morfoespecies que aportaron al menos el 10% de la biomasa fitoplanctónica en por lo menos una muestra. Los grupos funcionales a los que fueron asignadas se detallan en la Tabla 6.

#### REINO EUBACTERIA

##### División Cyanobacteria

##### Clase Cyanophyceae

##### Orden Chroococcales

##### Familia Chroococcaceae

#### ***Coelomoron pusillum*** (Van Goor) Komárek 1988. (Fig. 11a)

Colonias semi-esféricas donde las células están embebidas en una matriz mucilaginosa, muy densa en las colonias más pequeñas. Sus células son casi esféricas o ampliamente ovoides, y están dispuestas en la periferia de la colonia, en distintos grados de compactación. No se observaron conexiones mucilaginosas internas. El tamaño de las células fue de 2.5-3  $\mu\text{m}$  x 2-3  $\mu\text{m}$ , y el diámetro de la colonia entre los 10-23  $\mu\text{m}$ .

Esta especie se presentó en el Rodeo con bajos números de manera continua desde noviembre hasta mayo, siendo generalmente más abundante en el fondo de la columna de agua. Su densidad máxima de 577 ind/ml fue observada en el fondo en el último mes de muestreo (Fig. 12a). Con esta densidad aportó el 24% al total de la biomasa fitoplanctónica, siendo la especie más importante en esa muestra, ya que las demás aportaron una biomasa inferior.

Esta especie común de aguas eutróficas estancadas o con flujo lento ya se ha reportado en zonas tropicales (Anagnostidis y Komárek, 1998).

#### ***Merismopedia punctata*** Meyen 1839. (Fig. 11b)

Colonia formada por 4-64 células, arregladas en un solo plano formando placas con escasa separación celular. Mucílago presente aunque poco perceptible. Células de esferoides a ampliamente

ovales, contenido celular color azul-verdoso; células de 1.2-2.3  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Se observó en 12 de los 13 meses de estudio, con densidades generalmente más elevadas en el fondo que en la superficie. Se registraron dos periodos de alta abundancia, uno entre agosto y septiembre de 2004, y el otro en abril de 2005. El pico máximo fue en septiembre, con 7 513 ind/ml (Fig. 12b), que representó el 50% de la biomasa fitoplanctónica del fondo.

Es una especie cosmopolita pero se encuentra distribuida más ampliamente en zonas tropicales y cálidas, en cuerpos de agua de meso- a eutróficos (Komárek y Anagnostidis, 1998; Komarková y Tavera, 2003; Wehr y Sheat, 2003). Sin embargo, Tavera y Martínez-Almeida (2005), la ha reportado en el lago Zirahuén, que es un ambiente oligotrófico.

#### ***Microcystis botrys*** Teiling 1942. (Fig. 11c)

Colonias de forma irregular, generalmente sub-esféricas, o bien alargadas antes de separarse en fragmentos, muy compactas y con mucílago difluente, amplio. Sus células son esferoides, con aerotopos visibles. Diámetro celular de 5-7  $\mu\text{m}$ . Colonias de 29–234  $\mu\text{m}$  x 29–105  $\mu\text{m}$ .

Se manifestó a lo largo del ciclo de muestreo en 11 de los 13 meses estudiados, presentando su mayor concentración en febrero de 2004 con 543 ind/ml en el fondo del cuerpo de agua, con lo que aportó el 99% de la biomasa fitoplanctónica. Al mes siguiente, en abril, la abundancia disminuyó drásticamente y se mantuvo por debajo de los 21 ind/ml de mayo en adelante (Fig. 12c). Sin embargo, debido al gran volumen de sus colonias, en varias ocasiones aportó una cantidad significativa a la biomasa fitoplanctónica.

Se ha encontrado en cuerpos de agua eutróficos templados (Cronberg *et al.*, 1999; Murphy *et al.*, 2003). Aunque coexiste con especies tóxicas (Murphy *et al.*, 2003) y se le considere potencialmente tóxica (Cronberg *et al.*, 1999; Sant'Anna y Azevedo 2000), no se ha comprobado que tenga esa propiedad (White *et al.*, 2003).

***Myxobaktron* cf. *hirundiforme*** G.S. West 1912. (Fig. 11d)

Células fusiformes rectas o ligeramente curvadas, con extremos redondeados, solitarias, sin mucílago. Algunos ejemplares con los bordes irregulares. Contenido celular con pequeñas granulaciones visibles al microscopio óptico. Células de de 9–28  $\mu\text{m}$  x largo x 1–2  $\mu\text{m}$  de ancho.

Anagnostidis y Komárek (1998) reconocen sólo tres especies bien definidas, de las cuales la más parecida morfológicamente a la encontrada en el Rodeo, es *M. hirundiforme*, que es metafítica. Sin embargo, las células encontradas no encajan en el intervalo dado en la descripción de esa especie (30-62  $\mu\text{m}$ ) por ser más pequeñas. El género ha sido citado muy escasamente a nivel mundial y no aparece en el texto de Wehr y Sheath (2003). En América, el único registro conocido es *M. salinum* Walsby in Komárek et Anagnostidis 1986, en Cuba (Popowski y Sánchez, 2001).

Este taxón fue común en el fondo de la columna de agua, presente en todo el periodo de estudio excepto en febrero de 2004; en la superficie apareció de modo discontinuo. Se observaron dos picos de abundancia en el fondo, el primero en abril de 2004, de 1473 ind/ml, y el segundo en marzo de 2005, de 1779 ind/ml (Fig. 12d). En este último mes fue la especie más importante del fitoplancton en términos de biomasa, aportando el 16%.

Los miembros de este género suelen presentarse en cuerpos de agua muy someros (charcas) o cerca del fondo (Anagnostidis y Komárek, 1998).

**Familia Synechococcaceae**

***Cyanothece* cf. *aeruginosa*** (Nägeli) Komárek 1976. (Fig. 11e)

Células solitarias, ovals muy amplias, con los extremos redondeados; de 11.7–18.7  $\mu\text{m}$  x 5.8–11.7  $\mu\text{m}$ . Muestra claramente su contenido celular querotomizado o con amplias granulaciones muy compactadas (tilacoides organizados de manera irregular en toda la célula). La población del Rodeo es similar a *C. aeruginosa*, excepto por el tamaño, ya que la aquí reportada es ligeramente más pequeña.

Fue una especie común en el fondo de El Rodeo, y presentó su máxima abundancia en agosto de 2004, con 654 ind/ml (Fig. 12e), contribuyendo con el 22% de la biomasa algal. Su presencia en la

superficie fue esporádica.

Este género tiene representantes en sistemas oligotróficos como el reservorio de Pao-Pichinche en Venezuela (González *et al.*, 2004). *C. aeruginosa* generalmente se encuentra en sitios muy someros, sobre sedimentos o incluso en ambientes semi-terrestres como rocas húmedas (Anagnostidis y Komárek, 1998)

## **REINO EUKARIOTA**

### **División Heterokontophyta**

#### **Clase Chrysophyceae**

#### **Orden Mallomonadales**

#### **Familia Synuraceae**

#### ***Mallomonas* sp. (Fig. 11f)**

Son células ovoides flageladas y solitarias. Espinas largas, escasas y únicamente en la parte anterior de la célula. Se observa un cloroplasto grande en la zona central. Su intervalo de tamaño es de 10.4-15.2  $\mu\text{m}$  x 7.02-10.4.

Se observó de modo continuo en El Rodeo a partir de agosto de 2004, predominantemente en la superficie. En ese mes, en la etapa de llenado del embalse, se registró su máxima abundancia, de 338 ind/ml (Fig. 12f), con lo que aportó el 10% de la biomasa fitoplanctónica. En septiembre su concentración disminuyó y se mantuvo en bajos números excepto en febrero, cuando la población tuvo un incremento puntual.

Durante mucho tiempo se consideró erróneamente que las crisofitas estaban restringidas a ambientes fríos y oligotróficos (Siver, 2003) pero en realidad muchas crisofitas, y en particular *Mallomonas*, tienen representantes especializados en distintos segmentos del espectro trófico. En México, este género se ha encontrado en ambientes oligotróficos como el Lago Zirahuén (Martínez-Almeida, 2005) y en ambientes eutróficos como el embalse Valle de Bravo (Cruz y Cruz, 2007).

## **Clase Bacillariophyceae**

### **Orden Centrales**

#### **Familia Aulacoseiraceae**

#### ***Aulacoseira granulata*** (Ehrenberg) Simonsen 1979. (Fig. 11g)

Es una diatomea central con una o dos espinas apicales claramente visibles al microscopio óptico. La colonia de *A. granulata* presente en el Rodeo tiene un intervalo de 23.4-76.94 x 2.9-8.2  $\mu\text{m}$ .

Esta especie se presentó durante todo el ciclo de muestreo, con densidades más altas en el fondo del cuerpo de agua. Los picos de abundancia se presentaron en mayo de ambos años, siendo el más alto el de 2005, con 241 ind/l (Fig. 12g), su aporte más alto a la biomasa fitoplanctónica fue de 15% en noviembre.

Esta especie se encuentra reportada en ambientes desde oligotróficos a eutróficos (Martínez Almeida, 2005; Cruz y Cruz, 2007; González *et al.*, 2004; Komarková y Tavera, 2003).

## **Orden Pennales**

### **Familia Fragilariaceae**

#### ***Fragilaria sp.*** (Fig. 11h)

Las frústulas de esta especie son lanceoladas y cuneiformes, con un pseudorafe ligeramente visible. Sus estrías son alternas y muy delgadas, en una densidad de 14-20 por cada 10  $\mu\text{m}$ . Presenta una rimopórtula apical que luce en forma de punto. Valvas de 41-60  $\mu\text{m}$  x 2-3  $\mu\text{m}$ .

Esta especie estuvo presente a lo largo del tiempo en el embalse de El Rodeo, siendo los meses de mayo y junio del 2004 donde tuvo su mayor abundancia con 1739 ind/ml y 2308 ind/ml respectivamente (Fig. 12h). En agosto, ya iniciada la etapa de llenado del embalse, la densidad disminuyó considerablemente, formando posteriormente un pequeño pico en noviembre y otro en mayo. Su mayor aporte a la biomasa fitoplanctónica fue en el periodo de máximo nivel del embalse en noviembre, con 37% en la superficie.



Es un género que se presenta en ambientes desde oligotróficos hasta hipertróficos (Caballero *et al.*, 2006; Cruz y Cruz, 2007; García-Rodríguez y Tavera, 2002; González *et al.*, 2004; Komarková y Tavera, 2003; Leitão *et al.*, 2003; Martínez Almeida, 2005; Wehr y Sheat, 2003). Sobresale en sistemas con altas concentraciones de fósforo y se considera dominante sobre las demás especies en los períodos secos, tendencia que se presentó en el Rodeo.

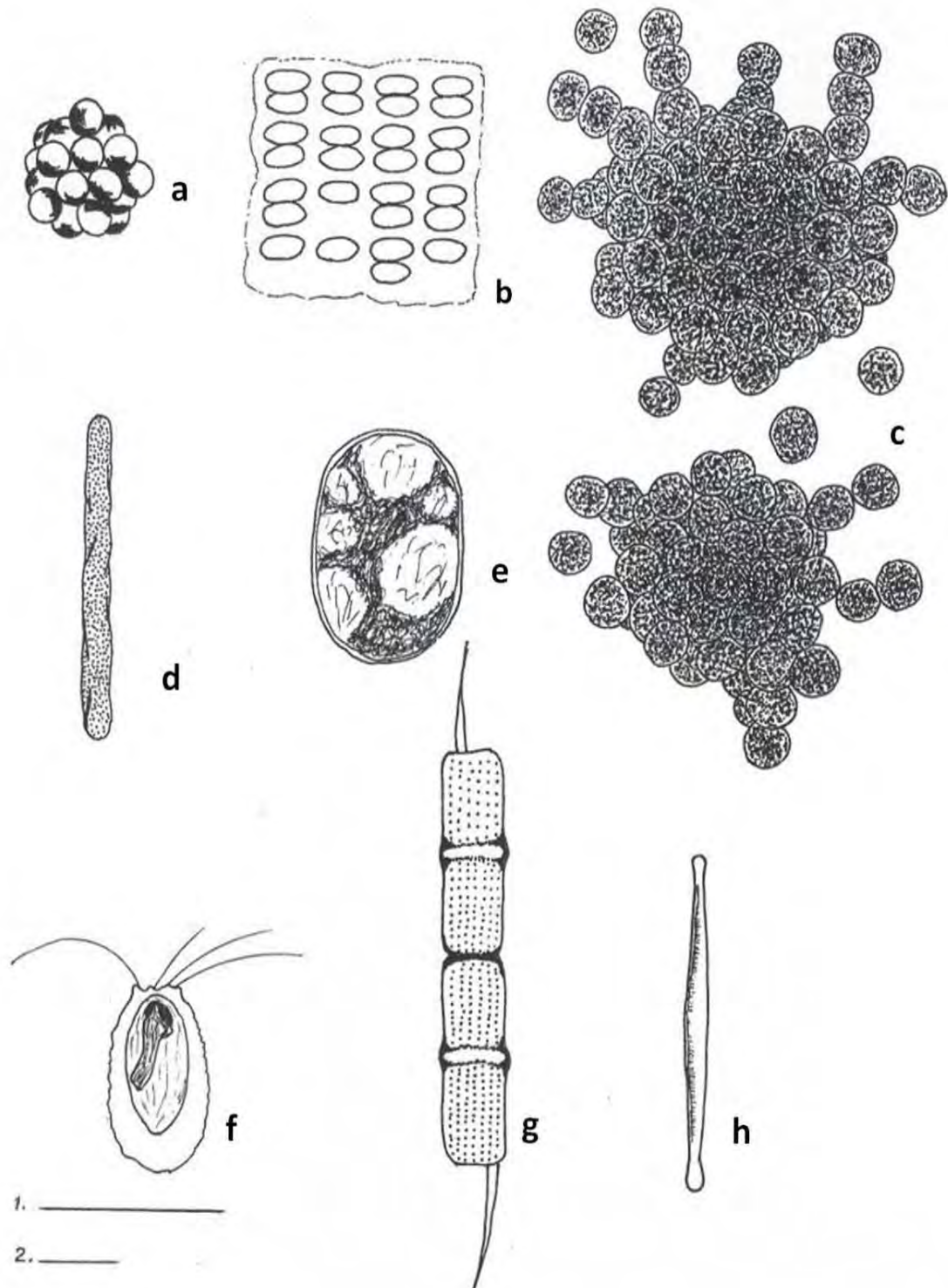


Fig. 11. **a**, *Coelomoron pusillum*; **b**, *Merismopedia tenuissima*; **c**, *Microcystis botrys*; **d**, *Myxobaktron* cf. *hirundiforme*; **e**, *Cyanothece* cf. *aeruginosa*; **f**, *Mallomonas* sp.; **g**, *Aulacoseira granulata*; **h**, *Fragilaria* sp. Escala de la barra: 1.XXX , 2.XXX

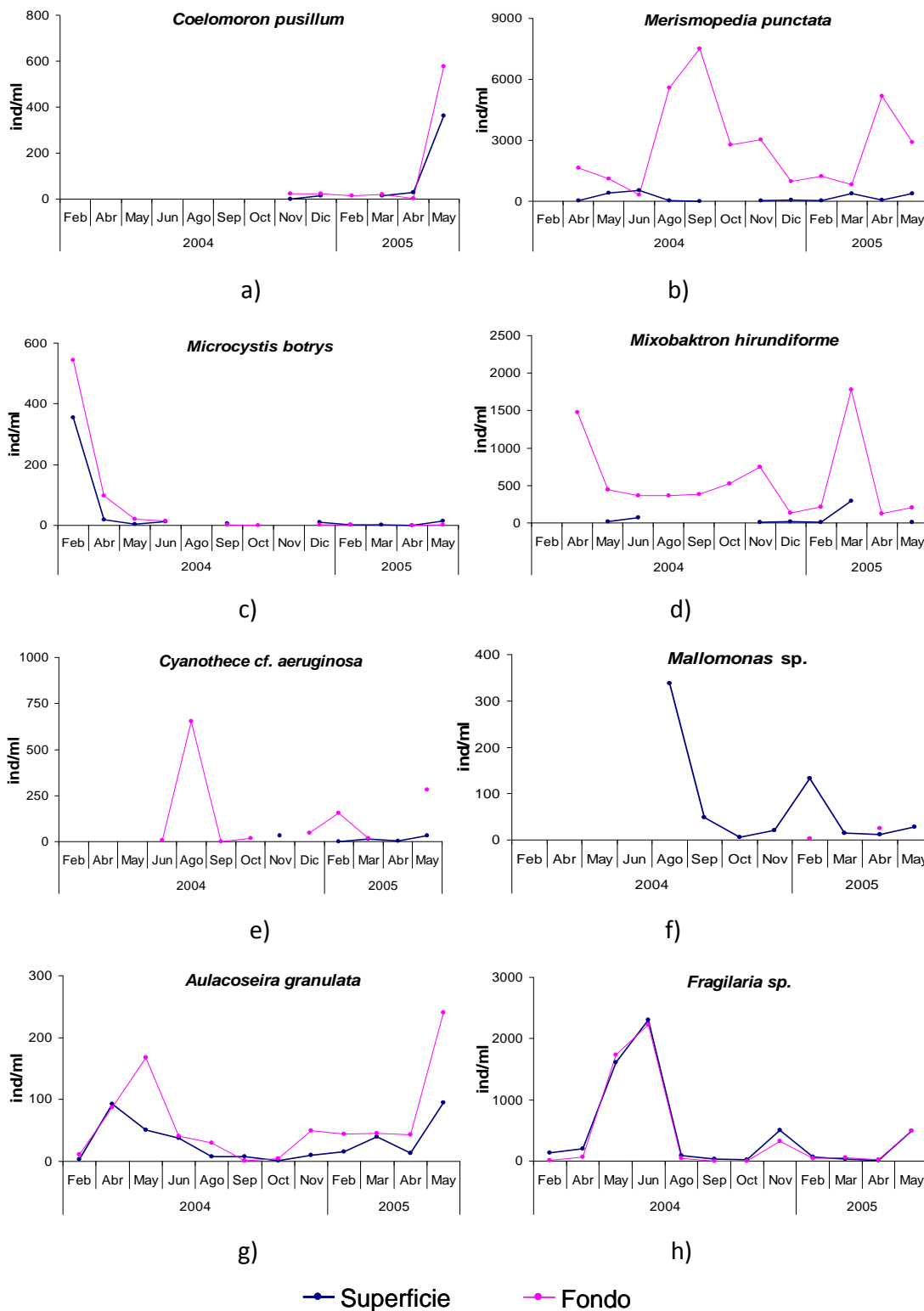


Fig. 12. Variación de la densidad (ind/ml) de algunas poblaciones de cianobacterias y heterocontofitas del embalse de El Rodeo

## División Cryptophyta

### Clase Cryptophyceae

#### Orden Cryptomonadales

#### Familia Cryptomonadaceae

#### ***Cryptomonas* sp. (Fig. 13a)**

Células cuneiformes semejantes a una pera, en su extremo posterior emergen dos flagelos de igual longitud, los cuales tienen longitud similar a la de la célula. Eje transapical de 12.8-15.2  $\mu\text{m}$  y el dorso-ventral de 7-9.3  $\mu\text{m}$ .

*Cryptomonas* sp. se presentó de modo continuo en la superficie y su abundancia osciló amplia y frecuentemente a lo largo del periodo de estudio, con picos en febrero y mayo de ambos años, y en septiembre de 2004. En el fondo su presencia fue intermitente. Su abundancia máxima se observó en febrero de 2004 (533 ind/ml) (Fig. 14a), pero por coincidir entonces con el florecimiento de *M. botrys*, su aporte a la biomasa fitoplanctónica fue insignificante. Sin embargo, su máxima contribución a la biomasa fue de 20% en noviembre (superficie), cuando el embalse tuvo su mayor nivel de agua.

Las especies de este género son muy conspicuas en todo tipo de hábitat (Klaveness, 1988b), y pueden tener representantes desde hábitat oligotróficos como la *C. erosa* (González *et al.*, 2004) hasta eutróficos (Leitão *et al.*, 2003). Y este género en asociación con las *Rhodomonas* se presentan generalmente al final de del invierno y de la primavera en latitudes templadas (Olrik, 1994). Sin embargo en El Rodeo, *Cryptomonas* se encontró casi todo el año.

#### ***Rhodomonas* sp. (Fig. 13b)**

Las células de este grupo algal son cuneiformes, de 9  $\mu\text{m}$  x 5.4  $\mu\text{m}$ . Tiene dos flagelos cortos, de distinta longitud.

Como *Cryptomonas* sp., se encontró con mayor abundancia y continuidad en la superficie. Su concentración máxima fue de 2169 ind/ml en febrero de 2005 (Fig. 14b), lo que significó el 10% de la biomasa fitoplanctónica. Sin embargo, su mayor aporte a la biomasa algal fue de 26% en octubre, durante el máximo nivel de agua.

Al igual que el género *Cryptomonas*, este género se caracteriza por estar presente en una amplia diversidad de ambientes tanto oligotrófico como eutróficos, como es el caso de la *R. lacustris* (Leitão *et al.*, 2003).

## **División Euglenophyta**

### **Clase Euglenophyceae**

#### **Orden Euglenales**

#### **Familia Mastigophora**

#### ***Trachelomonas* sp. (Fig. 13c)**

Células globulares, de 14-20  $\mu\text{m}$  de diámetro. Cloroplastos visibles distribuidos en todo el citoplasma. Presenta una superficie lisa, con un poro sobresaliente por donde se extiende un flagelo no muy largo.

Esta especie se presentó a partir de diciembre de modo discontinuo en superficie y fondo sólo durante la segunda parte del muestreo. Se registró en ambos estratos simultáneamente sólo en mayo. Su abundancia más alta fue de 22 ind/ml en diciembre en el fondo (Fig. 13c). Su contribución más importante al fitoplancton en términos de biomasa fue en abril (superficie), con 10%.

## **División Chlorophyta**

### **Clase Chlorophyceae**

#### **Orden Chlorococcales**

#### **Familia Dictyosphaeriaceae**

#### ***Botryococcus braunii* Kützing 1849 (Fig. 13d)**

Células esferoides ligeramente irregulares unidas por un mucílago o restos de la membrana de la célula madre. Las células están organizadas de modo muy compacto dentro de la colonia. Éstas tienen forma de esferoides alargados, irregulares, de 7- 23  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Esta especie tuvo densidades relativamente altas de abril a agosto de 2004, con un máximo de

322 ind/ml en mayo (fondo) (Fig. 14d). Su mayor aporte a la biomasa fitoplanctónica fue de 31% en agosto (fondo). De septiembre en adelante su presencia fue intermitente y su población escasa.

Es una especie que se encuentra en el fitoplancton y en el metafiton (Wetzel, 1981) de lagos y estanques, desde oligo- hasta eutróficos (Reynolds, 1997; Naselli-Flores y Barone, 2000; Cruz y Cruz, 2007; González *et al.*, 2004). Su distribución geográfica es amplia pero rara vez es abundante (Werh y Sheath, 2003).

#### ***Dictyosphaerium ehrenbergianum* Nägeli 1849**

Células esféricas, ovaladas y en forma de gota agrupadas en racimos de 4 y unidas entre sí restos de la célula madre. Forma colonias de 8 a 46 células. Presentan cloroplastos parietales en forma de copa que llenan casi la mitad de la célula. Éstas tienen un diámetro de 2.3-4.6  $\mu\text{m}$  (Fig. 13e).

Se presentó de modo intermitente en los dos estratos estudiados, con un máximo de densidad en diciembre de 2004, con 1298 ind/ml en la superficie (Fig. 14e), lo que representó el 24% de la biomasa fitoplanctónica.

Es una especie muy común en lagos, estanques y ríos y se presenta desde ambientes oligotróficos (Martínez Almeida, 2005; González *et al.*, 2004) hasta eutróficos (Werh y Sheath, 2003; Cruz y Cruz, 2007).

#### **Familia Scenedesmaceae**

#### ***Coelastrum microporum* Nägeli 1855 (Fig. 13f)**

Son colonias esféricas compuestas desde 3 hasta 32 células con diámetros de 1.7-7  $\mu\text{m}$ , y colonias de 4-23  $\mu\text{m}$  de diámetro. Las células están interconectadas entre sí por puentes o protuberancias de la misma matriz que envuelve a las células formando una colonia compacta, con un cloroplasto parietal en forma de copa.

*C. microporum* se presentó con bajas densidades, pero tuvo un abrupto crecimiento en octubre de 2004. En este mismo mes El Rodeo presentó en el fondo una concentración de 3300

ind/ml (Fig. 14f), siendo la especie dominante con un 85% de la biomasa fitoplanctónica.

Es un miembro común del fitoplancton meso- y eutrófico en estanques y lagos (Komarková y Tavera, 2003; Leitão *et al.*, 2003).

***Elakatothrix gelatinosa* Wille 1898 (Fig. 13g)**

Células en forma de huso envueltas en un mucílago con la misma morfología; célula de bordes irregulares suavizados. El contenido celular no es claro, pero su superficie denota una apariencia ligeramente arrugada. Las dimensiones celulares son de 11.7-19.8  $\mu\text{m}$  x 1.9-3.5  $\mu\text{m}$ .

Esta especie se encontró en El Rodeo en todos los meses de muestreo. En octubre, en el periodo de máximo nivel de agua tuvo un pico de 612 ind/ml en la superficie (Fig. 14g). Aporta el 14% de la biomasa fitoplanctónica.

Existen reportes de esta especie en ambientes oligotróficos (Chen y Shieh, 1981; Martínez Almeida, 2005; González *et al.*, 2004), mesotróficos (Leitão, *et al.*, 2003) y eutróficos (Wtrojsova *et al.*, 2003).

**Orden Volvocales**

**Familia *Chlamydomonadaceae***

***Chlamydomonas* sp. 2 (Fig. 13h)**

Célula ovoide con una pequeña protuberancia en la parte anterior, con dos flagelos de igual longitud. Células de 5.8-11.7  $\mu\text{m}$  x 2.3-8.1  $\mu\text{m}$ , flagelos de 9.5  $\mu\text{m}$  de longitud.

Esta especie se presentó a lo largo del periodo de estudio sobre todo en la superficie, pero de modo muy discontinuo. Su importancia radica que en febrero del segundo ciclo anual presentó 1082 ind/ml. (Fig. 14h), aportando el 25% de la biomasa fitoplanctónica en ese período.

Este género se encuentra comúnmente en las capas superficiales de la columna de agua, principalmente en el plancton de estanques y lagos someros eutrofizados (Cruz y Cruz, 2007; Werh y

Sheath, 2003).

**Clase Zygnematophyceae**

**Orden Desmidiiales**

**Familia Desmidiaceae**

***Cosmarium bioculatum* Brébisson 1848 (Fig. 13i)**

Células solitarias y pequeñas, con una constricción en el medio que las divide en dos hemicélulas ovaladas. Las dimensiones de la célula completa son de 4.6-9.3  $\mu\text{m}$  x 2.3-3.5  $\mu\text{m}$ .

Esta especie se presentó de modo discontinuo en el fondo y la superficie de El Rodeo, aunque considerando ambos estratos, estuvo presente en todos los meses en que se tomaron muestras. En la etapa de nivel mínimo de la presa se observó un crecimiento de la población que se mantuvo hasta mayo, cuando alcanzó 9708 ind/ml (Fig. 14i), el pico más alto para una clorofita en este embalse. Con ello contribuyó con el 22% de la biomasa fitoplanctónica. Ese crecimiento no se repitió en el 2005.

Esta es una especie cosmopolita y ampliamente distribuida, desde estanques y lagos oligo- a eutróficos (Wehr y Sheath, 2003; Martínez Almeida, 2005), dominando parcialmente durante el periodo seco, característica que presenta en el Rodeo.

***Staurastrum* sp. (Fig. 13j)**

La célula de esta especie presenta una constricción central dividiéndola en dos hemicélulas, cada una con dos a tres apéndices a cada lado dispuestos en forma radial, provistos de pequeños dientes.

*Staurastrum* sp. se observó en El Rodeo a lo largo de todo el periodo de estudio, con un comportamiento de su densidad muy similar en los dos estratos muestreados. Su población más numerosa se presentó en abril de 2004, con 107 ind/ml en el fondo (Fig. 14j). El resto del año fluctuó con bajos números y mostró una tendencia creciente nuevamente en abril y mayo de 2005. En abril de 2005 tuvo su mayor aporte a la biomasa, con 10 %.



*Staurastrum* es un género cosmopolita; sus especies se pueden hallar tanto sobre el sedimento como entre el perifiton de lagos oligotróficos ácidos como de ambientes eutróficos (Cruz y Cruz 2007; García-Rodríguez y Tavera 2002; González *et al.*, 2004; Komarková y Tavera, 2003; Leitão *et al.*, 2003; Martínez Almeida, 2005; Wehr y Sheath, 2003). Se presenta en los periodos secos, coincidiendo así con los ejemplares hallados en el Rodeo.

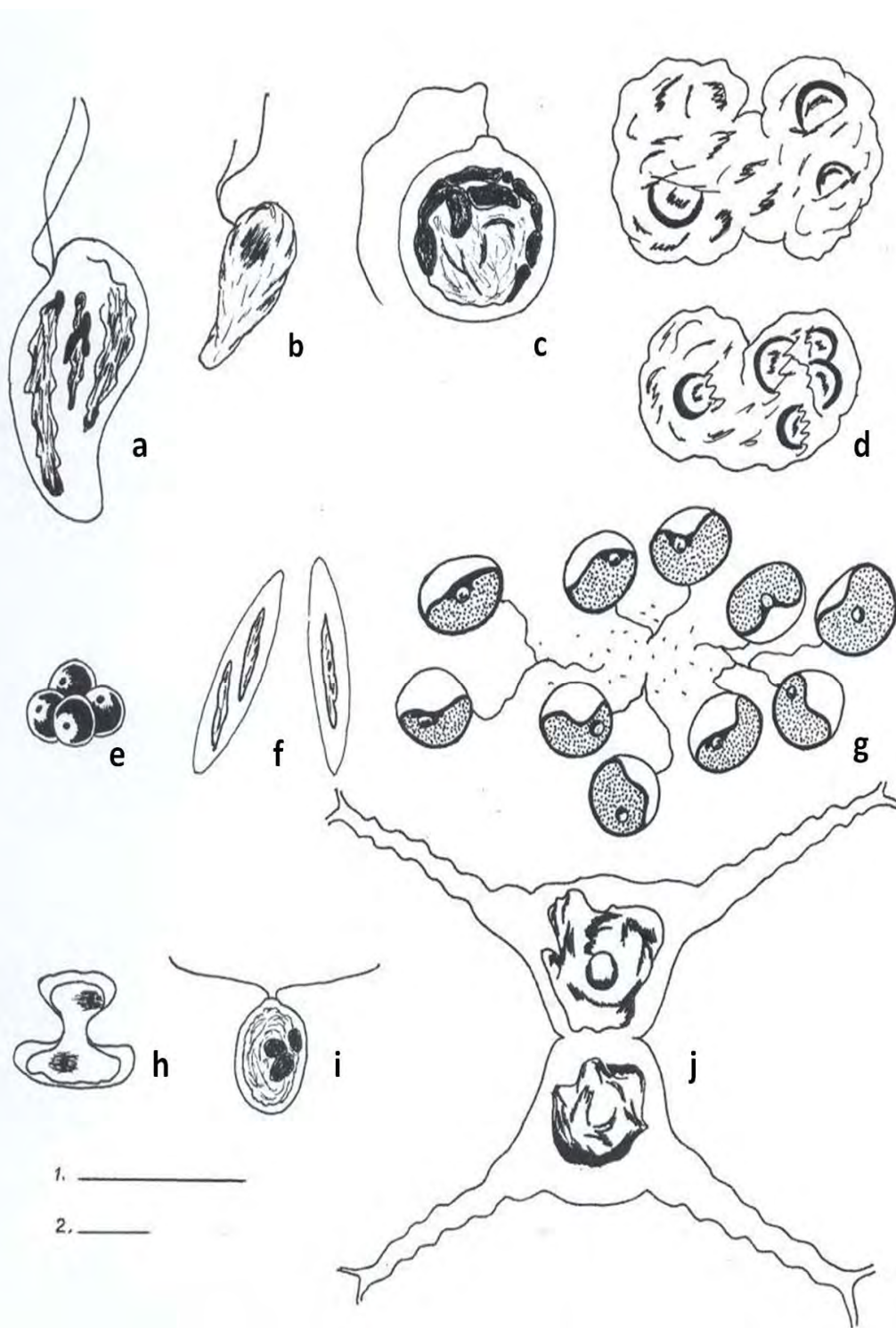


Fig. 13. **a**, *Cryptomonas* sp.; **b**, *Rhodomonas* sp.; **c**, *Trachelomonas* sp.; **d**, *Botryococcus braunii*; **e**, *Coelastrum microporum*; **f**, *Elakatothrix gelatinosa*; **g**, *Dictyosphaerium ehrenbergianum*; **h**, *Chlamydomonas* sp.; **i**, *Cosmarium bioculatum*; **j**, *Staurastrum* sp.

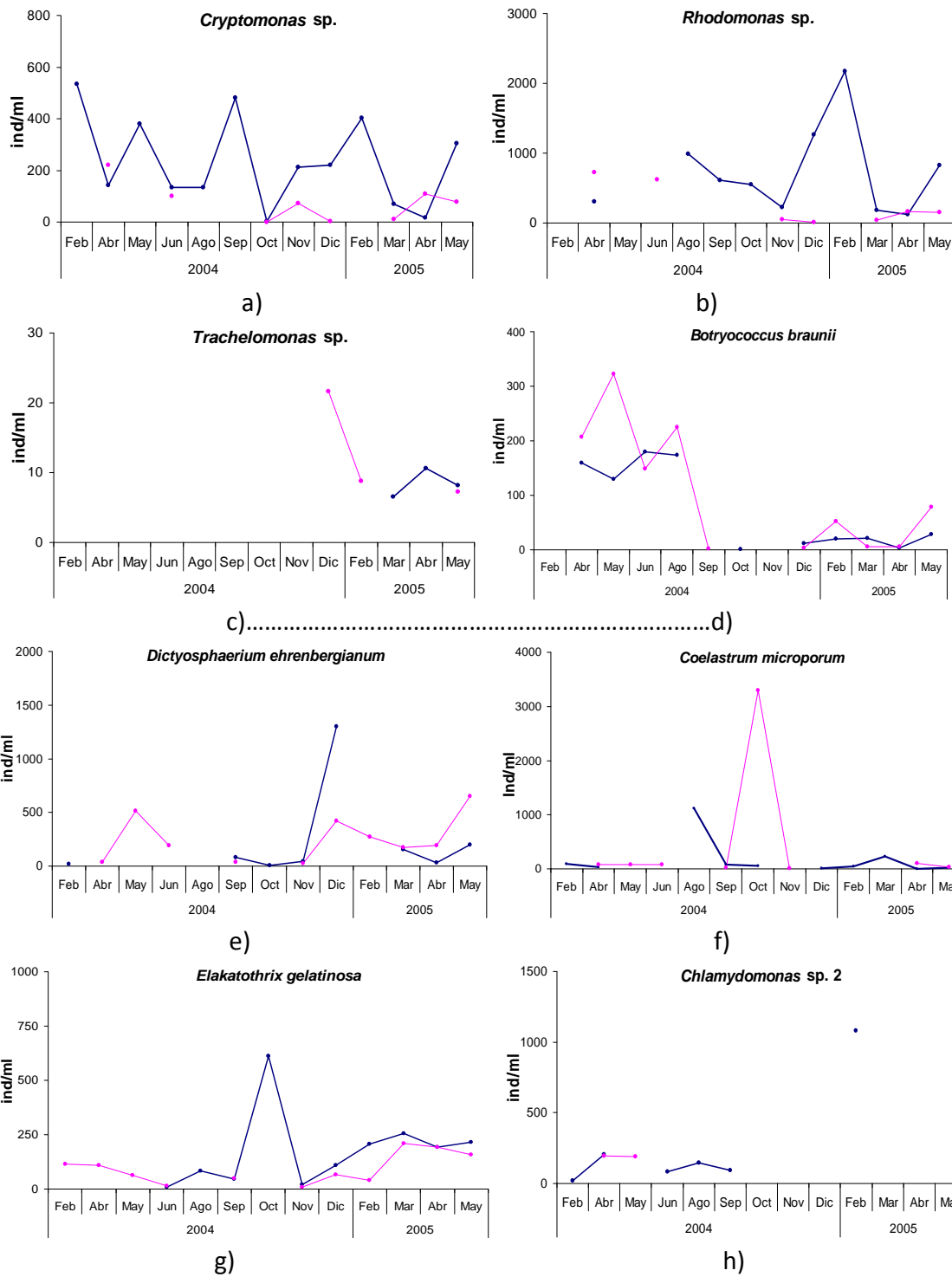


Fig. 14. Variación de la densidad (ind/ml) de algunas poblaciones de criptofitas y clorofitas del embalse El Rodeo. — Superficie — Fondo

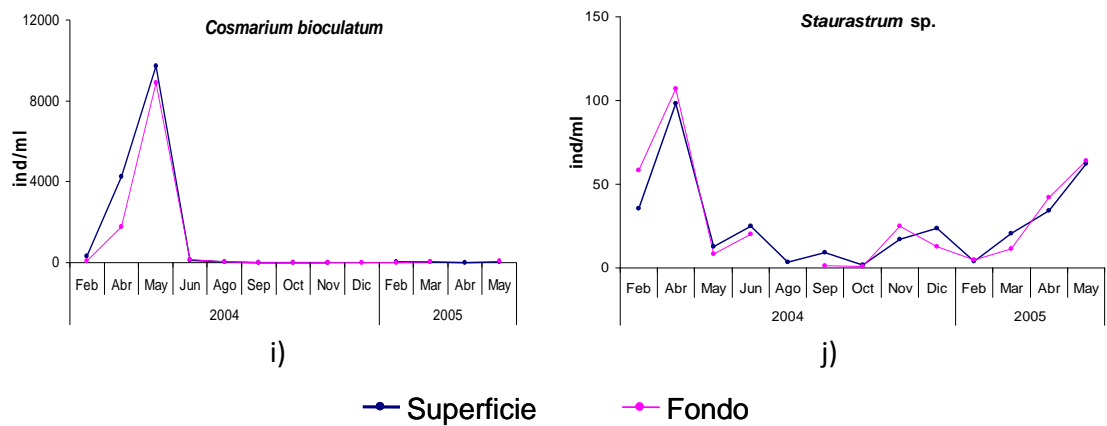


Fig. 14. (Continuación) Variación de la densidad (ind/ml) de algunas poblaciones de criptofitas y clorofitas del embalse El Rodeo.

### 3.3 VARIACIÓN DE LA DENSIDAD FITOPLANCTÓNICA

De febrero a junio de 2004, abarcando el final de la etapa de vaciado del embalse y la de mínimo nivel de agua, la densidad fitoplanctónica fue muy similar en los dos estratos muestreados. La densidad más alta se observó en mayo, y fue de 18 445 ind/ml en el fondo. *Cosmarium bioculatum* fue el alga responsable del 56 y el 48% de la densidad en superficie y fondo, respectivamente. En junio la concentración de algas disminuyó en superficie y fondo, y a partir de agosto, con el embalse aumentando en profundidad, la dinámica fue distinta en cada estrato. En la superficie la disminución continuó progresivamente y alcanzó números muy bajos cuando el embalse registró su mayor profundidad (octubre y noviembre). En la etapa de vaciado (diciembre-marzo) el fitoplancton de este estrato aumentó ligeramente pero luego disminuyó, alcanzando la densidad más baja observada en el embalse, que fue de 1 400 ind/ml. En contraste, en el fondo la disminución de fitoplancton desde junio hasta octubre fue muy lenta, y más pronunciada de noviembre a febrero. A partir de marzo se observó un incremento de la densidad algal (Fig. 15).

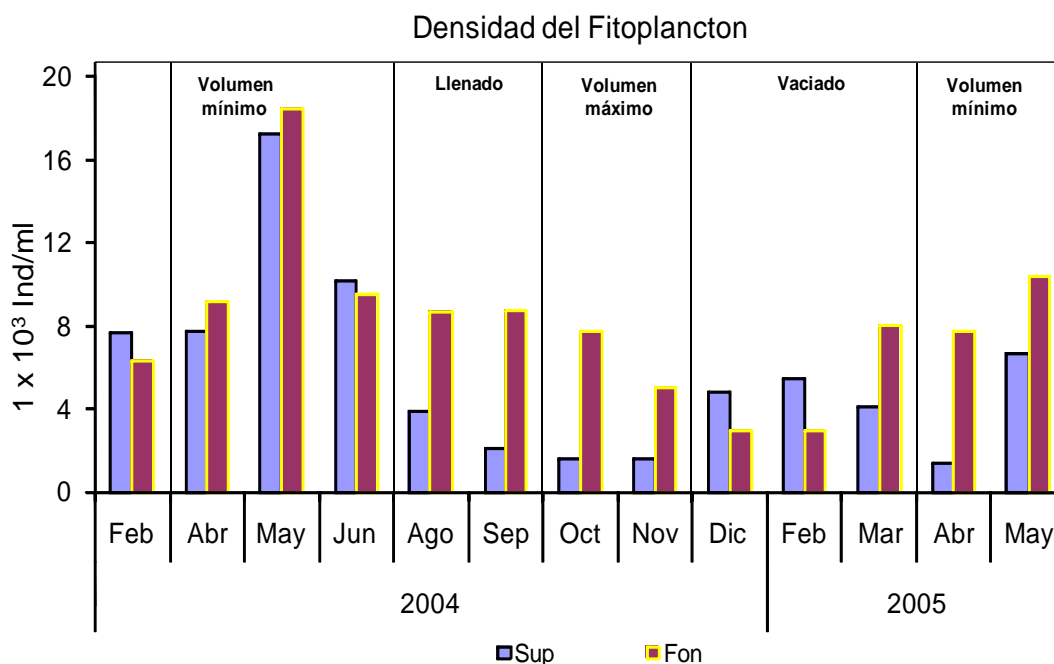


Fig. 15. Densidad total del fitoplancton en el embalse de El Rodeo

### 3.4 BIOMASA FITOPLANCTÓNICA TOTAL

La biomasa algal más elevada se registró en febrero de 2004, al inicio del ciclo de muestreo. En

este mes, en superficie y fondo la biomasa fitoplanctónica fue de 52.0 mg/l y 73.9 mg/l, respectivamente, debida a un florecimiento de *M. botrys* (Fig. 16a).

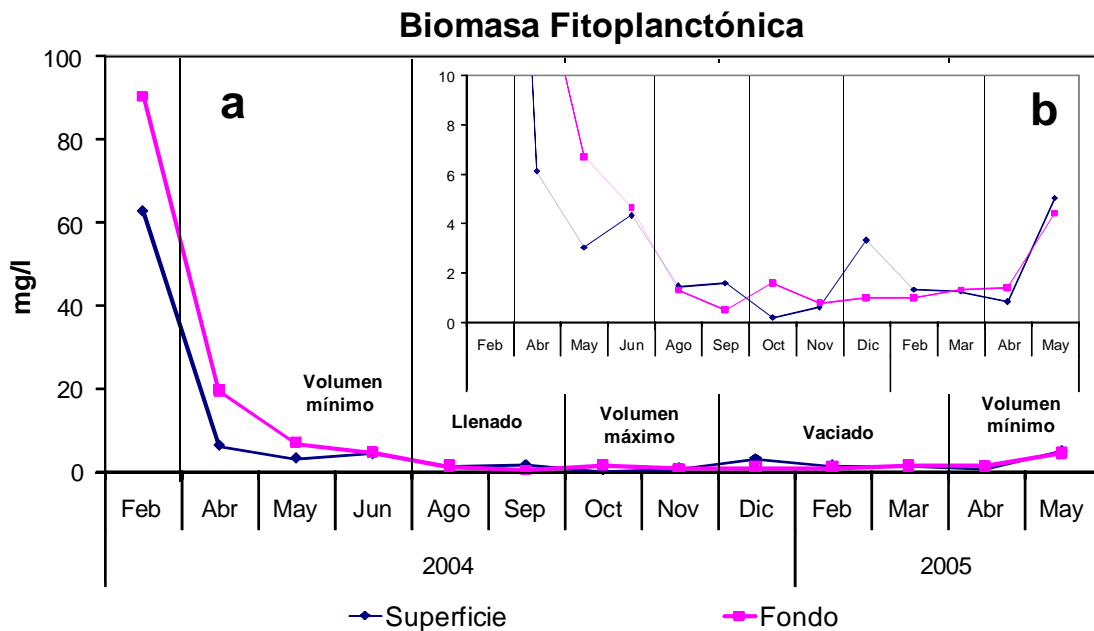


Fig. 16. a) Biomasa total del fitoplancton en el embalse de El Rodeo. Se observa el pico máximo dado por *Microcystis botrys* en febrero de 2004. b) El mismo gráfico, pero mostrando sólo el intervalo más bajo de la escala para mostrar el detalle de las variaciones.

Después de febrero de 2004 la biomasa disminuyó considerablemente, con una tendencia decreciente hasta septiembre, al final de la fase de llenado del embalse (Fig. 16b). En la etapa en que el nivel de agua era más alto –de octubre a diciembre- en cada estrato fluctuó de modo independiente: en el fondo hubo un crecimiento en el mes de octubre debido principalmente a *C. microporum*, y en diciembre ocurrió en la superficie causado en su mayor parte por *M. botrys*. En octubre se observó la biomasa más baja de todo el periodo de muestreo, y fue de 0.2 mg/l en la superficie. La biomasa fitoplanctónica se incrementó nuevamente en mayo (Fig. 16b), causada en la superficie por *M. botrys* y *Coelomonon pusillum*, y en el fondo por numerosas especies, entre las que sobresalen *C. pusillum* y *A. granulata*.

**Clorofila "a".** La clorofila "a" tuvo sus valores más altos durante los meses en que el volumen de agua era mínimo (Fig. 17). La concentración máxima de clorofila fue de 23.4 µg/L y se presentó en el fondo de la columna de agua en mayo de 2005 (la biomasa total más alta de fitoplancton se

presentó en febrero de 2004, pero no hay datos de clorofila "a" de ese mes). En la mayor parte de los meses la concentración fue similar en los tres estratos muestreados, aunque en algunas ocasiones fue en el fondo donde se observaron los valores más altos, sobre todo durante la fase de volumen mínimo (Fig. 17). La mínima concentración de clorofila se midió en la superficie en junio de 2004, y fue de 1.3 µg/l. Tomando en cuenta los tres niveles a lo largo del periodo de estudio, el promedio fue de  $7.9 \pm 6.1$  µg/l.

Considerando a los periodos hidrológicos en su conjunto, la clorofila "a" fue más elevada durante la fase de volumen mínimo y más baja cuando el embalse alcanzó su máxima profundidad (Tabla 5), pero esa diferencia no fue significativa debido a las amplias variaciones que se presentaron dentro de cada periodo hidrológico.

Tanto el promedio de la concentración de clorofila "a" como la biomasa fitoplanctónica total a lo largo del tiempo (de abril de 2004 a mayo de 2005, considerando los tres niveles) se correlacionaron negativamente con la profundidad total del embalse ( $r = -0.647$ ,  $P = 0.023$  y  $r = -0.56$ ,  $P = 0.058$ , respectivamente).

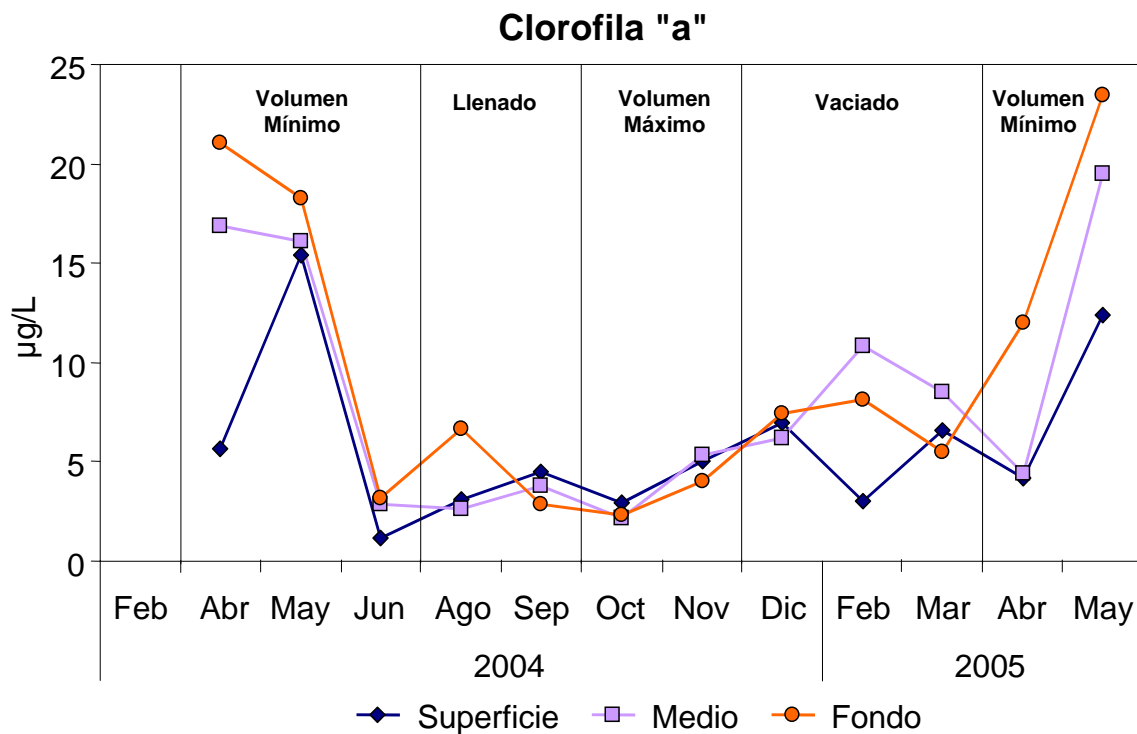


Fig. 17. Clorofila "a" en la columna de agua del embalse El Rodeo.

Tabla 5. Promedio y desviación estándar de la concentración de clorofila “a” y de la biomasa fitoplanctónica total en la columna de agua en cada una de las fases hidrológicas del Rodeo en el periodo estudiado. En ambos casos se utilizaron los datos de los meses de abril de 2004 a mayo de 2005. La última columna corresponde al valor de P obtenido en el análisis de varianza. Las diferencias se consideran significativas si  $P < 0.05$ .

Variable	Nivel mínimo	Llenado	Nivel máximo	Vaciado	P
Clorofila <i>a</i> ( $\mu\text{g/l}$ )	$11.77 \pm 7.56$	$3.93 \pm 1.50$	$3.63 \pm 1.66$	$7.02 \pm 2.16$	0.247
Biomasa total ( $\text{mg/l}$ )	$4.37 \pm 4.06$	$1.19 \pm 0.35$	$0.75 \pm 0.48$	$1.18 \pm 0.72$	0.189

### 3.5 COMPOSICIÓN DEL FITOPLANCTON POR GRUPOS TAXONÓMICOS

En conjunto, las cianobacterias y las clorofitas fueron los grupos taxonómicos que en términos de biomasa dominaron el fitoplancton de El Rodeo en el periodo estudiado. En la superficie, las cianobacterias aportaron en promedio el  $39 \pm 29\%$  de la biomasa fitoplanctónica, mientras que en el fondo tuvieron una importancia mayor, con el  $51 \pm 25\%$ . Las clorofitas tuvieron un promedio anual de  $35 \pm 22\%$  en la superficie y  $30 \pm 22\%$  en el fondo. Aunque en menor medida, las heterocontofitas también sobresalieron, con un promedio de  $14 \pm 11\%$  en ambos estratos. En la superficie las criptofitas tuvieron un promedio de  $10 \pm 9\%$ . Las euglenofitas fueron escasas, y tuvieron mayor representación en el fondo, con un promedio anual de  $2.5 \pm 3\%$ . La amplitud de las desviaciones estándar es un indicador de las grandes fluctuaciones que tuvo cada grupo taxonómico a lo largo del tiempo (Fig. 18); en varias ocasiones los cambios fueron abruptos y de un mes para el otro.

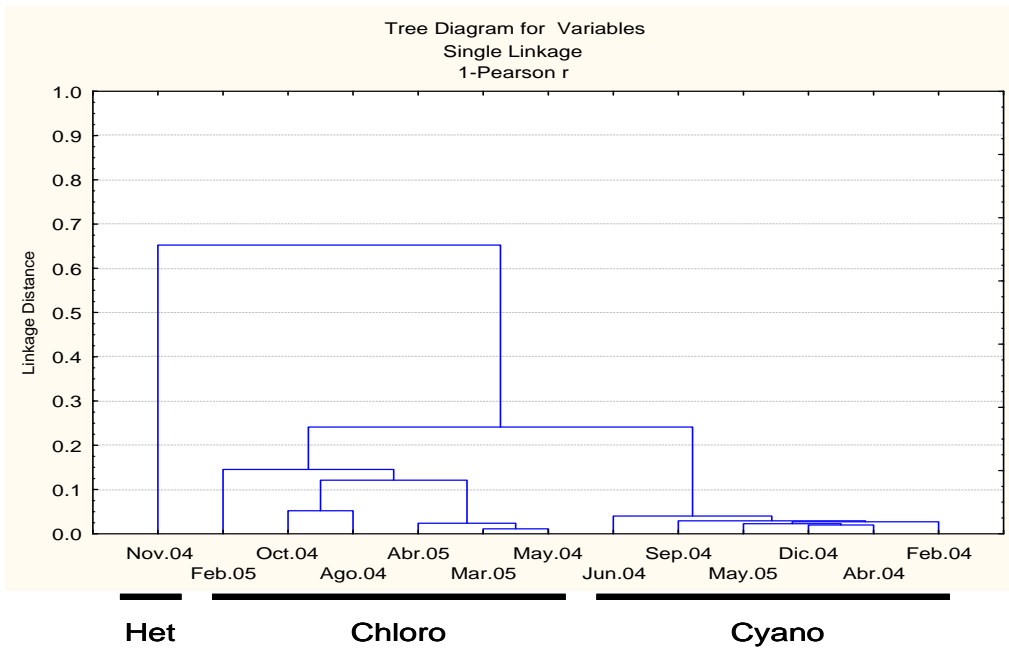
No se identificaron patrones temporales de cambio en la composición por grupos taxonómicos. Dentro de cada fase hidrológica del embalse, las cianobacterias y las clorofitas se alternaron como los grupos dominantes, sobre todo en la superficie, ya que en el fondo la composición fue relativamente más estable (Fig. 18).





De acuerdo con el análisis de cluster y considerando un punto de corte de 0.2 (equivalente a un coeficiente de correlación de Pearson de 0.8), en la superficie se formaron tres grupos de meses por la composición por grupos taxonómicos. El primer grupo lo formó noviembre de 2004, caracterizado por tener un alto porcentaje de biomasa de heterocontofitas (Fig. 19). El siguiente grupo corresponde a meses en que las clorofitas presentaron la mayor aportación a la biomasa (mayo, agosto y octubre de 2004; febrero, marzo y abril de 2005), mientras que el grupo restante está integrado por meses con preponderancia de cianobacterias (febrero, abril, junio, septiembre, diciembre de 2004; mayo de 2005) . Se observa que dentro de estos dos últimos grupos de meses se encuentran mezclados los pertenecientes a las cuatro etapas hidrológicas del embalse. El dendograma resultante del análisis de las muestras del fondo de la columna de agua muestra que la composición fue más estable a lo largo del año, ya que en 12 de los 13 meses muestreados el fitoplancton estuvo dominado por cianobacterias y formaron un solo grupo, separándose solamente octubre de 2004 por haber estado dominado ampliamente por clorofitas (Fig. 19).

### Superficie



### Fondo

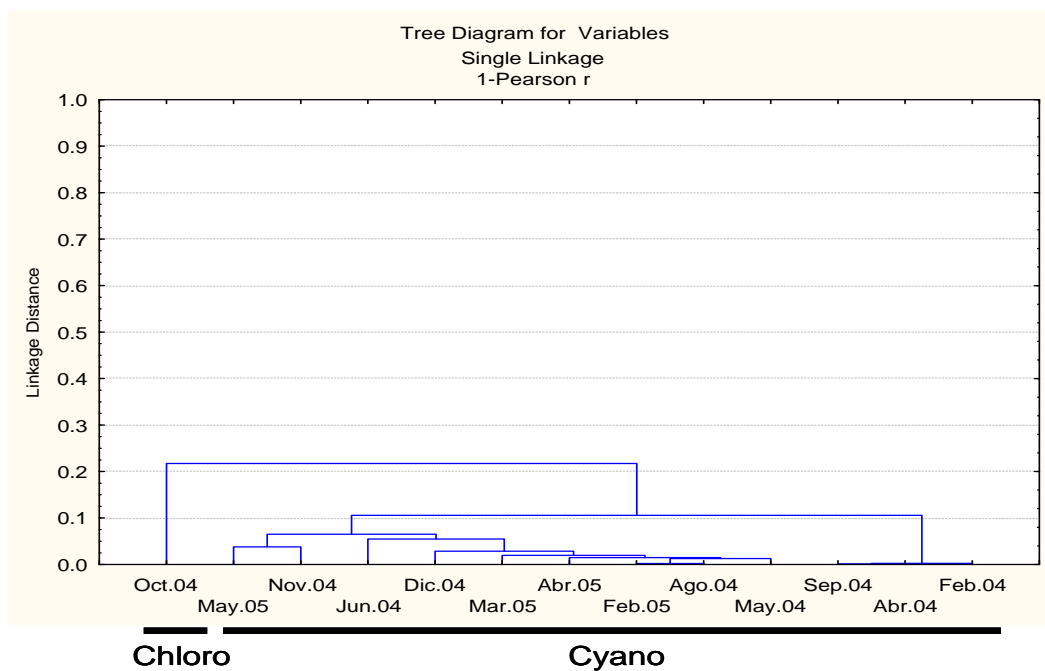


Fig. 19 Dendogramas que muestran los grupos formados por muestras con una correlación mínima de 80% en su composición a nivel de División. Se indican los grupos taxonómicos dominantes en cada conjunto. Cyano: Cyanobacteria; Het: Heterokontophyta; Chloro: Chlorophyta.

### 3.6 VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DEL FITOPLANCTON POR GRUPOS FUNCIONALES

De los 96 taxa fitoplanctónicos observados, 89 fueron clasificados en los grupos funcionales descritos por Reynolds *et al.* (2002) y Reynolds (2006), reconociéndose un total de 15 grupos (Tabla 6). Cinco especies no se asignaron a ninguno de ellos por varias razones: *Isthmochloron* sp. porque a pesar de ser pelágica no se ha propuesto en este sistema ningún grupo de crisofitas sin flagelos – probablemente porque no son especies comunes en el plancton-; las cianobacterias *Chroococcus* sp., *Cyanothece* cf. *aeruginosa*, *Mixobaktron* cf. *hirundiforme* y la xantofita *Ophiocytium capitatum* no son consideradas especies características ni componentes de ningún grupo funcional, por ser metafiticas o ticoplanctónicas. Debido a que se encontraron en el ambiente pelágico, aunque de probable origen bentónico, estas cinco especies se reunieron en un grupo al que se le denominó **tP** (ticoplancton), completando los 16 grupos que se describen a continuación.

Tabla 6. Principales características de los grupos funcionales de fitoplancton según Reynolds (2006), así como el promedio anual de la contribución relativa de cada grupo a la biomasa total fitoplanctónica (promedio  $\pm$  error estándar) y los taxa correspondientes encontrados en El Rodeo.

Grupo Funcional	Características Ambientales	Características de las algas	Porcentaje de la biomasa y taxa en El Rodeo
C	Lagos pequeños o medianos, eutróficos, mezclados	Diatomeas con tolerancia a deficiencias de luz y C, pero sensibles al agotamiento de Si y a la estratificación, ya que dependen de la turbulencia para permanecer en suspensión.	Superficie 0.8 $\pm$ 0.3 % Fondo 1.5 $\pm$ 0.6 % <i>Cyclotella</i>
D	Ambientes someros, enriquecidos, turbios, incluyendo ríos	Diatomeas que toleran la turbulencia pero son sensibles al agotamiento de nutrientes.	Superficie 1.3 $\pm$ 0.6 % Fondo 2.8 $\pm$ 1.3 % <i>Achnantheidium, Navicula,</i> diatomeas pennadas
E	Generalmente en lagos de oligotróficos a mesotróficos	Crisofitas flageladas que resisten bajas concentraciones de nutrientes (uso de la mixotrofia), sensibles al enriquecimiento de nutrientes.	Superficie 1.8 $\pm$ 0.8 % Fondo 0.1 $\pm$ 0.1 % <i>Mallomonas</i>
F	Epilimnia transparentes, lagos mesotróficos	Clorofitas coloniales con mucílago. Toleran bajas concentraciones de nutrientes y alta turbidez.	Superficie 16.7 $\pm$ 3.1 % Fondo 15.4 $\pm$ 3.4 % <i>Botryococcus,</i> <i>Dictyosphaerium,</i> <i>Elakathrix, Kirchneriella,</i> <i>Sphaerocystis, Tetrallantos,</i> <i>Oocystis</i>
J	Lagos y ríos someros y enriquecidos	Clorofitas coloniales no móviles, sin mucílago. Afectadas negativamente si sedimentan hacia estratos con poca luz.	Superficie 8.5 $\pm$ 3.3 % Fondo 10.1 $\pm$ 6.3 % <i>Actinastrum, Ankistrodesmus,</i> <i>Coelastrum, Crucigenia,</i> <i>Crucigeniella, Didymocystis,</i> <i>Micractinium, Pediasstrum,</i> <i>Quadrigula, Scenedesmus,</i> <i>Tetrastrum</i>

Tabla 6. (Continuación)

Grupo Funcional	Características Ambientales	Características de las algas	Porcentaje de la biomasa y taxa en El Rodeo
L <sub>M</sub>	Epilimnia de lagos eutróficos, durante el verano	Dinoflagelados y cianobacterias con capacidad para regular su posición en la columna de agua. Toleran concentraciones de C muy bajas, pero son sensibles a la mezcla y baja disponibilidad de luz total.	Superficie 3.1 ± 1.4 % Fondo 3.5 ± 1.8 %  <i>Coelomonon, Peridinium</i>
L <sub>O</sub>	Epilimnia de lagos mesotróficos durante el verano	Dinoflagelados y cianobacterias con capacidad para regular su posición en la columna de agua. Soportan bien la segregación espacial de nutrientes, pero son sensibles a la mezcla prolongada y profunda de la columna de agua.	Superficie 0.4 ± 0.2 % Fondo 11.5 ± 4.1 %  <i>Merismopedia</i>
M	Capa de mezcla de lagos eutróficos pequeños de bajas latitudes	Cianobacterias coloniales con capacidad para regular su posición en la columna de agua. Toleran una alta insolación; son sensibles a la mezcla ("flushing") y a dosis bajas de luz.	Superficie 34.6 ± 8.3 % Fondo 28.4 ± 9.3 %  <i>Microcystis</i>
P	Epilimnion de lagos eutróficos, o lagos someros eutróficos mezclados	Diatomeas y desmidias con tolerancia a bajas cantidades de luz y deficiencia de C. Sensibles a la estratificación y al agotamiento de Si.	Superficie 15.2 ± 4.3 % Fondo 12.8 ± 3.0 %  <i>Aulacoseira, Fragilaria, Closteriopsis, Closterium, Cosmarium, Euastrum, Staurastrum</i>
S1	Capas de mezcla turbias en cuerpos de agua enriquecidos, someros.	Cianobacterias oscilatorias. Toleran condiciones con alta deficiencia de luz, pero son desfavorecidas por el "flushing".	Superficie 0.1 ± 0.02 % Fondo 0.7 ± 0.2 %  <i>Pseudanabaena, Planktolyngbya</i>

Tabla 6. (Continuación)

Grupo Funcional	Características ambientales	Características de las algas	Porcentaje de la biomasa y taxa en El Rodeo
S <sub>N</sub>	Capas de mezcla cálidas en lagos ricos en fósforo	Cianobacterias nostocales. Tolerancia a condiciones deficientes en luz, nitrógeno. Sensibles al "flushing".	Superficie 0.9 ± 0.3 % Fondo 0.4 ± 0.2 % <i>Cylindrospermopsis</i>
W	Estanques y lagos someros mesotróficos	Principalmente euglenoides y algunas otras especies flageladas. Toleran altas concentraciones de materia orgánica disuelta.	Superficie 1.3 ± 0.8 % Fondo 2.5 ± 0.8 % <i>Euglena, Phacus, Trachelomonas</i>
X1	Capas de mezcla someras en lagos de eutróficos a hipertróficos	Organismos unicelulares nanoplanctónicos pequeños (volumen <10 <sup>3</sup> μm <sup>3</sup> ). Toleran bien la estratificación pero son desfavorecidas si hay deficiencia de nutrientes y una alta tasa de filtración.	Superficie 1.8 ± 0.4 % Fondo 1.5 ± 0.4 % <i>Chlorella, Monoraphidium, Tetraedron</i>
X2	Capas de mezcla someras en lagos de meso- a eutróficos	Células individuales flageladas de varios grupos taxonómicos (criptofitas, crisofitas, clorofitas), y por lo tanto capaces de regular su posición en la columna de agua. Toleran bien la estratificación pero no la mezcla ni la presión de herbivoría.	Superficie 7.7 ± 3.2 % Fondo 0.6 ± 0.1 % <i>Rhodomonas, Chlamydomonas, Pteromonas</i>
Y	Generalmente lagos pequeños y enriquecidos	Flagelados nanoplanctónicos de 10 <sup>3</sup> – 10 <sup>4</sup> μm <sup>3</sup> , principalmente <i>Cryptomonas</i> . Con tolerancia a una baja disponibilidad de luz, pero sensibles a la herbivoría.	Superficie 4.8 ± 1.6 % Fondo 1.1 ± 0.5 % <i>Cryptomonas</i>
tP	Principalmente en el estrato cercano al fondo en el Embalse El Rodeo	Especies asociadas a ambientes muy someros, que pueden ser de origen bentónico o perifítico	Superficie 1.2 ± 0.5 % Fondo 7.0 ± 2.4 % <i>Chroococcus, Cyanothece, Myxobactrum, Istmochloron, Ophiocytium</i>

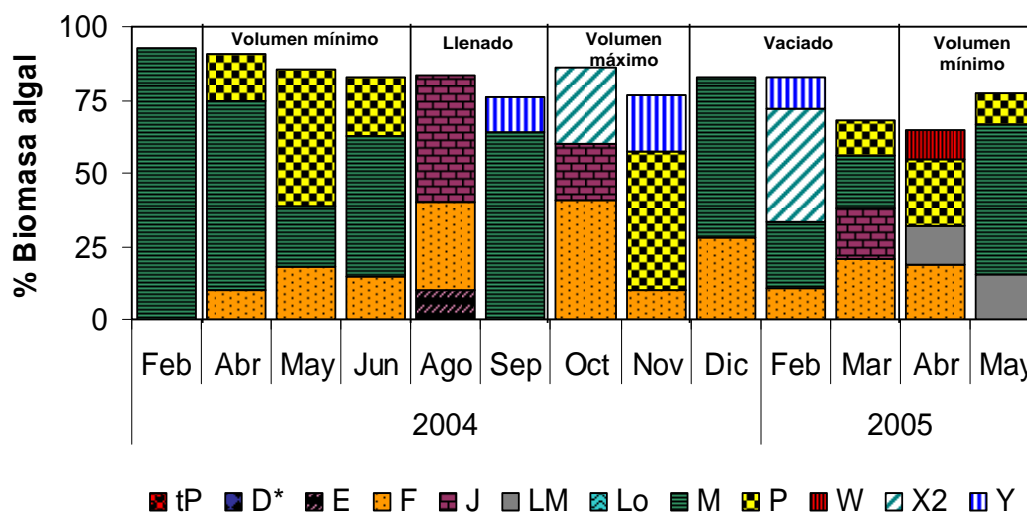
Cada mes el fitoplancton estuvo compuesto por 10 a 16 grupos funcionales. Ante el alto número de grupos que se presentaron simultáneamente, y con el fin de facilitar su análisis y descripción, en cada muestra se eliminaron aquellos que hubieran aportado menos del 10% de la biomasa algal, quedando fuera **C**, **S1**, **S<sub>N</sub>** y **X1** ya que su contribución no alcanzó ese porcentaje en ninguna ocasión. Del examen de los grupos restantes (Fig. 20) pueden hacerse las siguientes observaciones:

1. Los tres grupos más prominentes en las dos profundidades muestreadas fueron, en orden de importancia cuantitativa: **M**, **F**, y **P** (ver porcentajes en la Tabla 5). Otros grupos sobresalientes en ambas profundidades fueron **J**, **L<sub>M</sub>** y **W**. Estos seis grupos son comunes en ambientes mesotróficos y eutróficos de acuerdo con la literatura consultada.
2. Se distinguieron 3 grupos funcionales que fueron importantes sólo en la superficie (células individuales flageladas: **E**, **Y** y **X2**) y otras 3 que lo fueron sólo en el fondo del embalse (especies asociadas a ambientes muy someros, que pueden ser de origen bentónico o perifítico: **D**, **L<sub>O</sub>** y **tP**). Con la excepción del grupo funcional **E** que puede presentarse en ambientes oligotróficos, el resto es característico de cuerpos de agua eutróficos.
3. De los 16 grupos de algas, solamente tres aportaron el 50% o más de la biomasa en alguna ocasión, y fueron **M** (7 muestras en total), **J** y **L<sub>O</sub>** (1 muestra del fondo en ambos casos).
4. Al final del periodo de vaciado del embalse en 2004, el fitoplancton estuvo dominado por el grupo funcional **M**, y a lo largo de los meses de mínimo nivel del agua intervinieron también los grupos **P** y **F**. Esta estructura fue casi homogénea a lo largo de la columna de agua.
5. Durante los meses de llenado y de máximo nivel del agua (agosto-septiembre y octubre-noviembre, respectivamente) hubo grupos comunes en ambas profundidades (**F**, **M**, **P** y **J**), pero aparecieron los grupos característicos de cada estrato mencionados en el punto 2 (**E**, **X2** y **Y** en la superficie; **D**, **tP** y **L<sub>O</sub>** en el fondo), que hicieron que la estructura del fitoplancton fuera distinta a lo largo de la columna de agua.



6. Finalmente, en el periodo de vaciado del embalse y el de mínimo nivel de agua, el fitoplancton común estuvo repartido entre los grupos funcionales **M**, **F** y **P**, con apariciones alternadas y puntuales de **J**, **W** y **L<sub>M</sub>**. La dominancia de **M** observada en 2004 no se repitió en 2005.

### Superficie



### Fondo

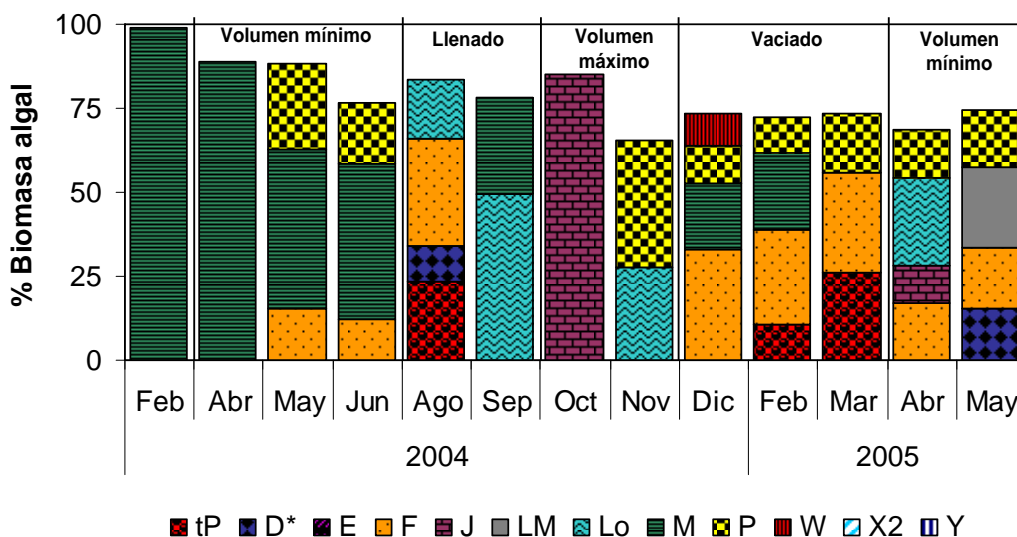
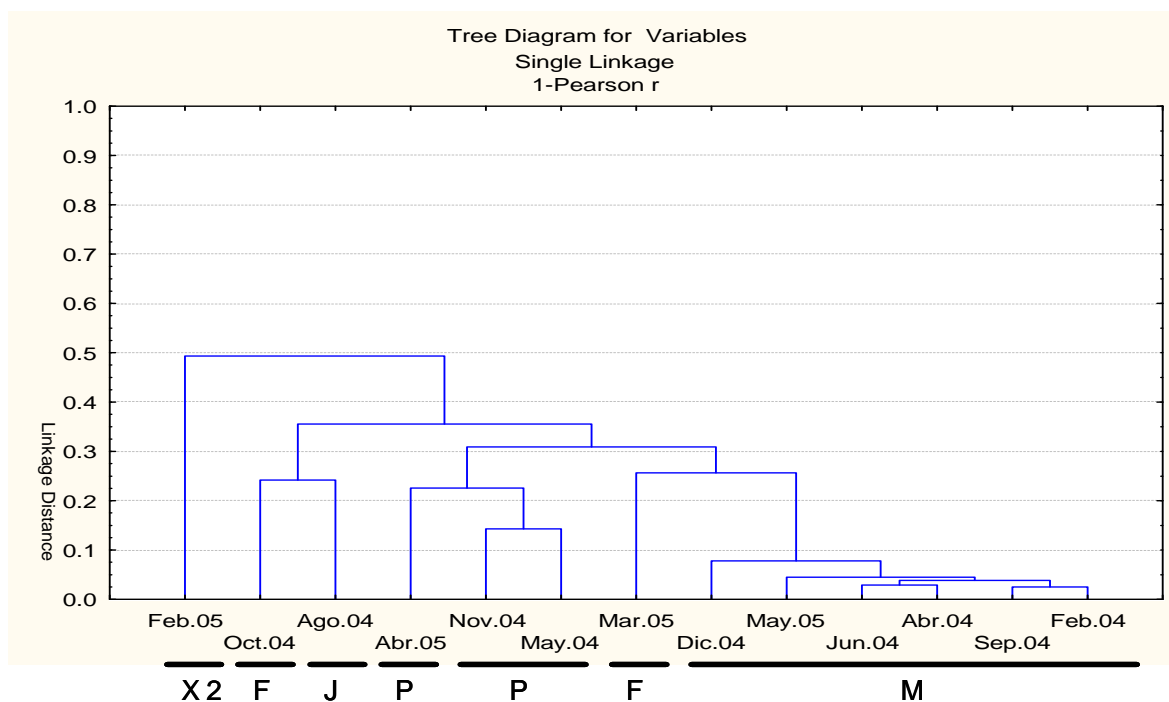


Fig. 20. Composición de la biomasa algal por grupos funcionales en la superficie (panel superior) y el fondo (panel inferior) del embalse El Rodeo.

En el dendograma (Fig. 21) se aprecia que de acuerdo a la composición de grupos funcionales, el fitoplancton no presentó un patrón de cambio claro a lo largo del tiempo ni siguiendo las fases hidrológicas del embalse. De acuerdo a los grupos funcionales dominantes, en superficie se formaron siete conjuntos homogéneos (con un coeficiente de Pearson de 0.8). El conjunto más grande se integró por muestras con dominancia de **M**, que se presentaron indistintamente en los periodos de vaciado, mínimo nivel e inicio de llenado del embalse. Otro conjunto fue el formado por las muestras de mayo y noviembre de 2004, en estrecha relación con abril de 2005, todas en torno a **P**. Estas muestras fueron de las etapas de mínimo nivel (abril y mayo) y de máximo nivel de agua (noviembre). El resto de los grupos correspondían a una sola muestra.

En el fondo del embalse el grupo más grande se compuso en torno a **M**, con muestras consecutivas de febrero a junio de 2004 (Fig. 21). Estas muestras tuvieron como grupo codominante a **F**, por lo que se relacionaron estrechamente con el siguiente conjunto, integrado por diciembre de 2004 y febrero de 2005, en el que dominó **F** con **M** como subdominante. Las muestras de estos dos conjuntos correspondieron a las etapas de vaciado y mínimo nivel de agua. Otro pequeño grupo fue el integrado por agosto de 2004 y marzo de 2005 –épocas de llenado y vaciado, respectivamente- en torno a **F** como grupo más abundante y **tP** como secundario. El grupo funcional **L<sub>0</sub>** fue el más importante en septiembre de 2004 (llenado) y abril de 2005 (mínimo nivel). Como en la superficie, las muestras correspondientes a la época de máximo nivel de agua no se asociaron entre sí.

### Superficie



### Fondo

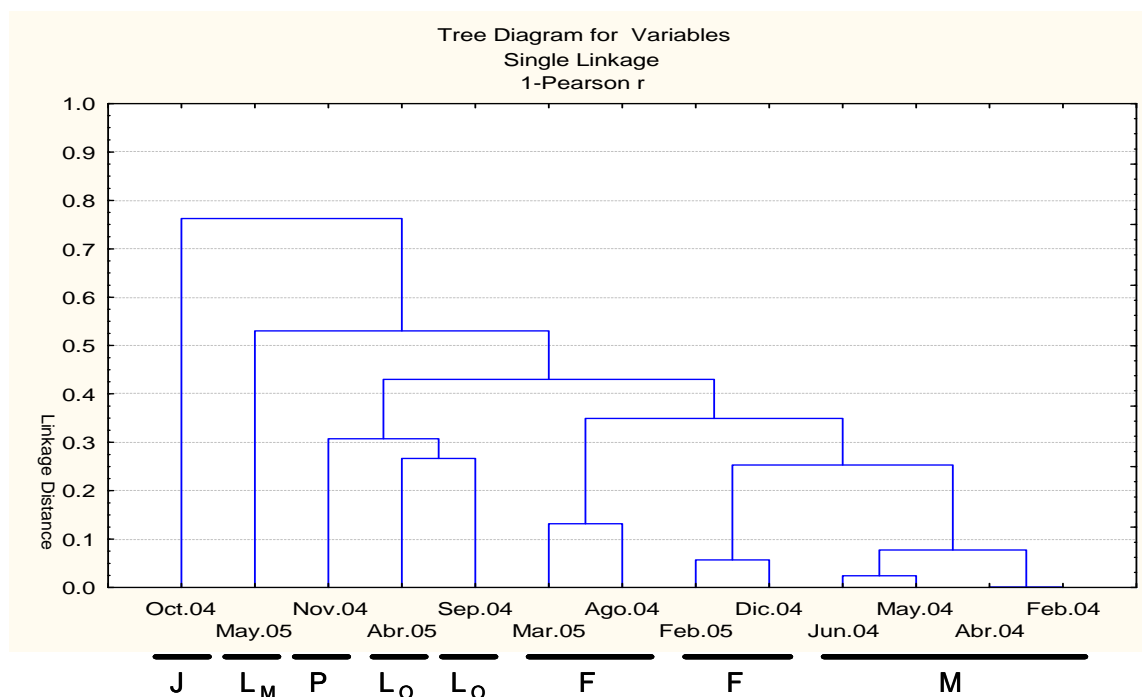


Fig. 21. Dendogramas que muestran los grupos formados por muestras con una correlación mínima de 80% en su composición por grupos funcionales sensu Reynolds. Las letras indican los grupos funcionales más abundantes en cada conjunto (ver Tabla 4).

# DISCUSIÓN

---

## 1. AMBIENTE ABIÓTICO

---

### 1.1. Oscilaciones hidrológicas

Las oscilaciones en el contenido de agua observadas en El Rodeo fueron las características de los embalses ubicados en regiones con temporada de lluvias bien marcada, en los que el cuerpo de agua aumenta considerablemente de profundidad en los meses de mayor precipitación pluvial, y disminuye durante el periodo seco debido a la acción conjunta de la evaporación y de la extracción para riego agrícola (Naselli-Flores, 2003). Sin embargo el aumento en el nivel de agua no fue inmediato al inicio del periodo lluvioso sino que tuvo un desfase temporal. Las lluvias comenzaron en mayo, pero en junio aún el nivel del embalse era mínimo; el aumento en el volumen de agua comenzó a notarse en agosto (no hay datos de julio). Así mismo, aunque en noviembre el periodo de lluvias ya había terminado, el cuerpo de agua aún tenía una profundidad considerable. A pesar de que el periodo con lluvias abundantes dura 4 meses, la fase de máximo nivel en realidad es corta: la curva en el gráfico correspondiente forma un pico y no una meseta; por lo tanto, la etapa de lluvias es un periodo muy dinámico en el que el embalse aumenta y disminuye de nivel; en cambio se mantiene relativamente estable en la época seca. Ya que la cantidad de agua que contiene el embalse en un momento determinado es resultado del balance entre la entrada y la extracción del líquido, puede suponerse que tanto el desfase temporal antes referido como el dinamismo observado en cada etapa están fuertemente influenciados por el manejo que la comisión de regantes ejerce.

Por otra parte, se observó que durante el periodo en el que se llevó a cabo este estudio la precipitación pluvial fue más intensa que el promedio de los 37 años anteriores. Probablemente ésta es la razón por la cual tanto la profundidad máxima como la mínima (13.5 y 4.8 m, respectivamente) fueron mayores a las registradas previamente (9.0 y 0.5 m en 1989, A. González-Schaff, datos no publicados).

## 1.2 Luz en la columna de agua

El grosor de la zona eufótica en el Rodeo es una de las variables más afectadas por las oscilaciones en el nivel de agua del embalse, como pudo constatarse por el alto coeficiente de correlación entre ambas series de datos: la zona eufótica fue más estrecha durante la fase de mínimo nivel y más amplia cuando el embalse alcanzó su máxima profundidad. Esta relación entre profundidad total y zona eufótica puede deberse a que la clorofila  $\alpha$ , cuyo aumento contribuye a disminuir la penetración de luz en la columna de agua (Geraldes y Boavida, 2007), tuvo una correlación negativa con  $Z_{\max}$ . Por lo tanto, la amplitud de la zona eufótica dependió en un alto grado de la abundancia de fitoplancton: a mayor concentración de clorofila  $\alpha$  (durante la fase de mínimo nivel), menor  $Z_{eu}$ ; y a menor concentración (durante la fase de máximo nivel), mayor  $Z_{eu}$ , tal como ha sido observado en otros cuerpos de agua similares (Barone y Naselli, 1994; Kruk *et al.*, 2002).

No se descarta que durante la temporada en que el embalse tuvo menor profundidad, la turbidez producida por la resuspensión de sedimentos, a causa del viento, contribuyera a la disminución de la penetración de la luz en la columna de agua (Scheffer, 1998), pero no contamos con datos para asegurarlo.

## 1.3 Temperatura y oxígeno

Los lagos tropicales pueden presentar patrones estacionales definidos y predecibles de estratificación térmica y mezcla (Lewis, 1983a, 1983b y 1984). Torres-Orozco *et al.*, (1994) reportan en lagos de afinidad tropical al sureste de México, las lagunas del Zacatal y La Escondida permanecieron estratificadas desde abril hasta octubre de 1986, mezclándose de noviembre a febrero. Otros ejemplos son los presentados por Marinho y Moraes (2002) para el embalse de Juturnaíba, Huszar *et al.* (1998) en Monte Alegre (Brasil), y Rivero (1991) en el lago Tequesquitengo (México).

En muchos lagos y embalses someros tropicales los procesos de estratificación de la masa de agua suceden de manera muy diferente a los sistemas templados (Esteves, 1988); en ellos se observa un patrón de estratificación y desestratificación térmica que se verifica en ciclos de 24 horas. Durante el día la columna de agua se estratifica y durante la noche se desestratifica debido a la pérdida de calor hacia la atmósfera. En el Rodeo la temperatura del embalse presentó pocas variaciones tanto

temporal como espacialmente. Para este sistema la mayor diferencia de temperatura entre superficie y fondo fue de 4.8°C (agosto), y aunque su disminución fue gradual (variaciones entre 0.1 y 1.4 °C/m), en varios de los meses muestreados lograron formarse pequeñas inflexiones las cuales pueden considerarse como termoclinas múltiples (Esteves, 1988; Lewis, 1973).

Por otra parte, en algunos meses en particular (febrero, junio, septiembre, octubre del 2004 y febrero, abril y mayo del 2005) estas finas inflexiones del perfil de temperatura se presentaron coincidiendo con una oxiclina muy bien definida, debajo de la cual se encontró un hipolimnion hipóxico o completamente anóxico. Esta situación en la que el perfil térmico refleja mínimas variaciones pero existe una marcada oxiclina, suele presentarse en cuerpos de agua tropicales debido a que la velocidad de la descomposición de la materia orgánica es muy elevada por las altas temperaturas del hipolimnion (generalmente > 20°C) (Esteves, 1988). Esta acción se basa en la ley de van't Hoff (la elevación de la temperatura de las soluciones acuosas en 10°C, puede duplicar o triplicar la velocidad de las reacciones), lo cual trae como consecuencia que la descomposición de la materia orgánica y el consumo de oxígeno en el hipolimnion de un sistema acuático tropical sean de 4 a 9 veces más rápidos que en un sistema templado (Esteves, 1988).

Cabe resaltar el incremento del oxígeno disuelto en el fondo de la columna de agua, cuando la parte intermedia era anóxica en los meses de septiembre y noviembre. Según Wetzel (1975) este fenómeno puede ser producido por el flujo de corrientes de agua que entran con mayor concentración de oxígeno disuelto al sistema, y que se desplazan hacia el fondo, evento que posiblemente se enfatiza en el periodo de lluvias. Otra posibilidad es que el origen de esa capa se deba a la circulación interna de las masas de aguas producida por la fuerza del viento que genera movimientos convectivos de las aguas oxigenadas en el epilimnion, desplazándolas hacia el fondo y a su vez empujando las aguas anóxicas del hipolimnion hacia la superficie dejando en medio del sistema una masa de agua anóxica y en el fondo un incremento de oxígeno disuelto (Edinger y Buchak, 1977).

#### **1.4 Conductividad.**

La conductividad específica del agua del Rodeo (99.4 – 136.6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) es baja comparada con otros sistemas acuáticos de alta actividad hidrológica como el lago Arancio (Sicilia) con 550-1130  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Naselli y Barone, 1998); el lago Soprano (Sicilia) con 1970  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Naselli y Barone, 2000); el

lago Tequesquitengo (México) con 1783 - 3420  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Rivero, 1991); pero es similar a la de algunos reservorios sudamericanos como el Juturnaíba, de 57 - 80  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Marinho y Moraes, 2002) y el Monte Alegre con 66 – 142  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Huszar *et al.*, 1998). En el Rodeo, la variabilidad hídrica del sistema se refleja en la dinámica de la conductividad en la columna de agua, ya que ambas variables se correlacionaron negativamente: la disminución en la conductividad puede ser resultado del proceso de dilución de los sólidos disueltos en el agua desde la entrada de las lluvias, y el aumento posterior puede deberse a la concentración de los mismos provocada por la evaporación durante el periodo cálido y seco.

### 1.5 pH.

El pH de las aguas del Rodeo osciló dentro de niveles ligeramente superiores a la neutralidad hasta los alcalinos, lo cual es un indicador de que en el embalse hubo tendencia a la deficiencia en las reservas de  $\text{CO}_2$  disuelto (Reynolds, 2006). Sin embargo, las variaciones temporales del pH no se asociaron de modo claro a los periodos hidrológicos del cuerpo de agua. El valor de pH más elevado (8.9) registrado en febrero de 2004 se presentó al mismo tiempo que una gran biomasa de *Microcystis botrys*, que como otras cianobacterias suele desarrollar florecimientos coincidentes con altos niveles de pH (Shapiro, 1990).

### 1.6 Sílica

Las concentración de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) en sistemas acuáticos presenta una amplia variación que puede ir desde 0.1 hasta 77.5 mg/l (Hutchinson, 1957) y de acuerdo a Deevy (1957, citado en Hutchinson, 1957) el intervalo en sistemas lacustres en México oscila entre 4 y 50 mg/l. Por lo tanto, el valor observado en El Rodeo durante este periodo está dentro del intervalo reportado por estos autores. Se ha observado con frecuencia que existe una marcada periodicidad estacional en la concentración de sílica, relacionada con la estacionalidad de las diatomeas (Hutchinson, 1957; Sommer y Stabel, 1983; Takano *et al.*, 2004; Raven y Waite, 2004; Carrick y Lowe, 2007; Goto *et al.*, 2007). Sin embargo, dicha relación no se observa en el Rodeo. El análisis de regresión entre la concentración de sílica y biomasa de las diatomeas dio un coeficiente de Pearson no significativo, con lo cual puede interpretarse que la variación de la biomasa de las diatomeas en El Rodeo no dependió de la concentración de ese compuesto en el agua, y por lo tanto no es un factor limitante.

### 2.1 Composición específica del fitoplancton

De acuerdo con los registros bibliográficos, la mayor parte de las especies fitoplanctónicas identificadas en este embalse suelen ser comunes en ambientes mesotróficos y/o eutróficos. Algunas de las especies se han encontrado en ambientes desde oligotróficos hasta eutróficos, como *Botryococcus braunii*, *Dictyosphaerium ehrenbergianum*, *Elakatothrix gelatinosa* y *Cosmarium bioculatum*. Un caso distinto lo constituye *Cyanothece* cf. *aeruginosa*, ya que los pocos reportes que existen de la especie son de ambientes oligotróficos (González *et al.*, 2004).

Algunos de los individuos de varias especies encontradas en el Rodeo tienen tamaños más pequeños que los indicados en la bibliografía, como *Myxobaktron* cf. *hirundiforme*, la ya citada *C.* cf. *aeruginosa*, y muchos otros taxa –sobre todo de clorofitas- que fueron designados únicamente con su género porque el tamaño de las células no concordaba con las especies descritas, o bien por no corresponder el tipo de hábitat. Por lo menos en el caso de las cianobacterias, en México existe una gran proporción de especies “no identificables” (entre el 63% y el 90% de las morfoespecies en tres áreas geográficas del centro del país; Komárek, 2000), razón por la cual se considera necesario revisar con mayor profundidad el estatus taxonómico de estas poblaciones ya que es posible que en algunos casos se trate de nuevas especies.

Respecto al número de taxa fitoplanctónicos del Rodeo, las 96 morfoespecies identificadas lo ubican como un cuerpo de agua de riqueza específica intermedia, si lo comparamos por ejemplo con los 23 taxa observados por García-Rodríguez y Tavera (1998) en el lago templado Zempoala (México) y los 203 taxa encontrados en el lago Batata (lago de inundación amazónico, Melo y Huszar, 2000), ambos eutróficos. Comparado con otros cuerpos de agua artificiales, la riqueza específica de El Rodeo fue similar a la reportada en embalses eutróficos como Valle de Bravo, México (95 taxa; Cruz y Cruz, 2007) y Arancio, Italia (93 taxa, Naselli y Barone, 1998). A una escala más global, esta riqueza puede considerarse también intermedia, ya que fue mayor a las 46 del embalse mesotrófico Rosamarina (Naselli y Barone, 1998) pero ligeramente menor a la del embalse oligotrófico Jurumirim ubicado en Brasil con 102 taxa) (Gómez Nogueira, 2002) y más baja que la de los embalses eutróficos Barra



Bonita, Brasil, con 139 taxa (Dellamano-Oliveira *et al.*, 2008), Salto Grande, entre Argentina y Uruguay, con 187 taxa (De León y Chalar, 2003) y Garças en Brasil con 236 taxa (Fonseca y Bicudo 2008).

En El Rodeo más de la mitad de los taxa fitoplanctónicos observados correspondieron a la División Chlorophyta, siendo en su mayor parte Chlorococcales. Chlorophyta es un grupo cosmopolita que puede hallarse en cualquier sistema acuático ya que su alta diversidad morfológica y adaptativa le permite presentarse en un amplio espectro trófico (Sandgren, 1988; Scheffer, 1998; Reynolds, 2006). Otros estudios en los que este grupo de algas fue la que aportó el mayor número de especies son los de Naselli y Barone (1998), Zalocar *et al.* (1998), Naselli y Barone (2000), Gómez Nogueira (2000), de León y Chalar (2003) y Fonseca y Bicudo (2008).

## **2.2 Variación espacio-temporal de la biomasa fitoplanctónica**

La concentración de clorofila “a” en El Rodeo osciló ampliamente (entre 1.13 y 23.45  $\mu\text{g/l}$ ) y se correlacionó negativamente con el nivel del agua, como ocurre en embalses con oscilaciones hidrológicas similares (Naselli Flores, 2003; Geraldés y Boavida, 2007). De acuerdo con los criterios de la OCDE (1982), el promedio anual de esta variable ( $7.9 \pm 6.1 \mu\text{g/l}$ ) sitúa al Rodeo en el límite entre los sistemas mesotróficos y eutróficos. Hay que recalcar, sin embargo, que la clorofila “a” no se midió en febrero de 2004, durante el pico máximo de biomasa fitoplanctónica. Dada la magnitud de ese pico, es probable que de incluirse el promedio de clorofila a hubiera aumentado, ubicando a El Rodeo dentro de la zona francamente eutrófica.

Por otra parte, la biomasa algal calculada a partir del biovolumen en el embalse El Rodeo presentó un intervalo de 0.2 – 73.9 mg/l, siendo similar a los valores reportados para sistemas tropicales como el embalse de Juturnaiba, el cual presenta concentraciones entre 0.2 - 83.5 mg/l, (Marinho y Moraes, 2002) sistema eutrófico con una alta variabilidad hidrológica.

## **2.3 Variación temporal de la biomasa por períodos hidrológicos**

### **2.3.1 Grupos taxonómicos**

Las cianobacterias fueron el grupo fitoplanctónico más importante con respecto a su biomasa, hecho observado en otros sistemas acuáticos como los reportados por Naselli y Barone (1998),

Zalocar *et al.* (1998), Lindholm y Eriksson (1990), Gómez Nogueira (2000), Marinho y Moraes, (2002), Naselli (2003) y Fonseca y Bicudo (2008). Este grupo de organismos se asocia principalmente a sistemas eutróficos aunque habita desde lagos oligotróficos hasta hipereutróficos; árticos, alpinos, tropicales, así como en embalses someros y profundos (Sandgren, 1988, Scheffer, 1998).

Según Reynolds (1997) y Barone y Naselli-Flores (1994) en sistemas pequeños de bajas latitudes se observa la dominancia de *M. botrys*, debido a la capacidad de controlar su flotabilidad en la columna de agua dándole ventaja sobre las otras especies de aprovechar los nutrimentos del fondo y la mayor cantidad de luz (Reynolds *et al.*, 2002); lo que se refleja en el embalse el Rodeo ya que su concentración siempre fue mayor en el fondo del sistema. Esta distribución se observó también en las cianobacterias *Merismopedia tenuissima*, *M. punctata*, *Myxobaktrum hyrundiforme*, y *Cylindrospermopsis cf. phillipinensis*.

Las Chlorophyta fueron el segundo grupo taxonómico que presentó una proporción relevante en la biomasa. Las Chlorophyta son un grupo algal ampliamente distribuido en diferentes ambientes, estados tróficos y periodos estacionales (Sandgren, 1988). Asimismo la alta diversidad morfofisiológica, que va desde nano – picoplanctónicas de sistemas oligo –eutróficos, flagelados unicelulares y coloniales, desmidias y filamentosas, le da al grupo una alta ubicuidad.

El siguiente grupo taxonómico importante por su contribución a la biomasa fue Bacillariophyta, que se reporta en sistemas desde oligo a eutróficos. Este grupo está relacionado directamente con la concentración de silicio y la relación Si: P para su desarrollo. Por tener una alta tasa de sedimentación están sujetos a los procesos de mezcla y turbulencia del sistema. En lagos de ambientes templados, durante el periodo de verano dominan en la zona eufótica pero durante la estratificación térmica decrecen por la disminución de la concentración de Si (Sandgren, 1988).

### **2.3.2 Grupos funcionales**

Los grupos funcionales que se presentaron en este sistema son comunes a los encontrados en otros reservorios tropicales y algunos ríos (Melo y Huszar, 2000; Manzi y Huszar, 2002; Farrell *et al.*, 2003; Devercelli, 2006; Nabout *et al.*, 2006; Fonseca y Bicudo, 2008).

El número de grupos funcionales reconocidos en el Rodeo fue mayor que en otros reservorios eutróficos comparados, aunque en los otros casos dentro de cada grupo se presentó un mayor número de especies (más del 50% de diferencia en promedio).

Los grupos funcionales que caracterizaron al Rodeo por su aparición constante a lo largo del tiempo fueron **M**, **P**, y **F**, los cuales se reportan en otros sistemas acuáticos tropicales como grupos constantes y a la vez dominantes a lo largo del tiempo (Manzi y Huszar, 2002; Melo y Huszar, 2000; Fonseca y Bicudo, 2008; O'Farrell *et al.*, 2003; Devercelli, 2006; Nabout *et al.*, 2006). Tanto **M** como **P** son característicos de ambientes eutróficos, mientras que **F** se considera típica de ambientes mesotróficos según Reynolds (2006).

En el Rodeo, **M**, **P**, y **F** constituyeron casi el total de la biomasa fitoplanctónica durante la fase de mínimo nivel de 2004, tanto en la superficie como en el fondo del sistema, lo cual indica que la columna de agua se encontraba mezclada. Posteriormente, a partir del inicio de las lluvias, otros grupos funcionales cobraron importancia, y se observó una clara diferenciación entre la superficie y el fondo del embalse. Por ejemplo, en la superficie aparecieron los grupos **X<sub>2</sub>**, **Y** y **E**, flagelados con capacidad de regular su posición en la columna de agua y que toleran bien la estratificación. En contraste, en el fondo fueron importantes **Lo** y algas asociadas a sustratos, como las diatomeas pennadas **D** y el grupo que aquí se denominó **tP**.

El grupo **X<sub>2</sub>** se presentan generalmente en la superficie de sistemas estratificados con alto nivel de nutrientes y de luminosidad (Reynolds *et al.*, 1988, 1998; Reynolds, 1997). En el Rodeo se encontró en circunstancias similares, durante el periodo en que se observó la mayor amplitud de la zona eufótica y la columna de agua probablemente permitió la formación de estratificaciones térmicas más o menos estables.

Cabe resaltar al grupo funcional **E**, compuesto por crisofitas del género *Mallomonas*. De acuerdo con Reynolds las especies de este grupo son caracterizadas por presentarse en ambientes de poca concentración de nutrientes, baja alcalinidad y conductividad (Hutchinson, 1967; Rodhe, 1948). Sin embargo, Sandgren (1988) menciona la aparición de este género en ambientes desde oligotróficos

hasta lagos hipertróficos, por lo cual es evidente que no es válido considerarlo como grupo funcional representativo de ambientes oligotróficos.

En la parte inferior se presentó el grupo funcional **Lo**, el cual, de acuerdo con la literatura se caracteriza por encontrarse en ambientes no enriquecidos, muy someros y con bajo nivel de fósforo, propios de sistemas oligo a mesotróficos (Kruk *et al.*, 2002; Reynolds *et al.*, 1988, 1998; Reynolds, 1997). Sin embargo en el Rodeo este grupo apareció con el inicio de las lluvias, la entrada de agua del río Tembembe y el flujo de la escorrentía al embalse. Estos eventos sugieren un estrés ambiental en la columna de agua, y no coincide con el tipo de ambientes para el que han sido reportados estos grupos funcionales. Fonseca y Bicudo (2008) lo reportan como un grupo importante en el reservorio Garças descrito como eutrofico – hipertrófico.

En la fase de vaciado la temperatura y el oxígeno reflejan una columna de agua homogénea. En este periodo aparece el grupo funcional **W**, el cual está representado por las euglenas, especies que responden positivamente a altas cargas de materia orgánica (Reynolds *et al.*, 1988, 1998; Reynolds, 1997). El proceso de mezcla que se observó en esta fase, pudo propiciar la resuspensión de la MO en descomposición trayendo consigo el aumento de este particular grupo. En esta fase se presentó una alta demanda de oxígeno debida por los procesos de descomposición lo que provocó, probablemente la hipoxia y la anoxia desde el metalimnion hasta el hipolimnion, resultando un ambiente propicio para este grupo (Reynolds *et al.*, 1988, 1998; Reynolds, 1997).

La segunda la fase de mínimo volumen correspondiente al año 2005 no repite exactamente el patrón del año anterior en lo que respecta a la estructura funcional algal, a pesar de que las condiciones ambientales fueron similares. En esta fase se repitieron algunos de los grupos funcionales pero con otras especies, y se observaron nuevos grupos que vinieron a conformar una estructura funcional más diversa.

En general, la mayor parte de los grupos funcionales presentes en El Rodeo son comunes en ambientes enriquecidos, sin embargo algunos se encontraron en condiciones distintas a las reportadas por Reynolds (2006), por lo cual se hace evidente que el esquema de caracterización ambiental de estos grupos requiere un ajuste.

### **2.3.3 Cambios hidrológicos y composición taxonómica y funcional**

Las cianobacterias fueron el grupo más abundante en el fondo del sistema en 12 de los 13 muestreos, debido quizás a la poca luminosidad del estrato y a la carga de nutrientes disponibles, mientras que en la superficie la mayor penetración lumínica permitió la presencia, además de las cianofitas, de las clorofitas, intercalándose entre sí a lo largo del tiempo. Dado que ambos grupos fueron los dominantes a lo largo de todo el periodo de muestreo, no se encontraron cambios significativos en la composición taxonómica a nivel División, relacionados con los distintos periodos hidrológicos.

En cuanto a los grupos funcionales, la predominancia de tres grupos funcionales a lo largo de todo el estudio, y el gran número de grupos presentes en cada muestreo no permitieron la descripción de un patrón de sucesión temporal en el sentido descrito por Reynolds (2006). Sin embargo, es evidente que algunos grupos se asociaron al fondo o a la superficie, permitiendo diferenciar la estructura del fitoplancton en dos etapas: la de mínimo volumen (con tres grupos funcionales homogéneamente distribuidos) y las posteriores (con flagelados nanoplanctónicos en la superficie y diatomeas en el fondo).

De esta manera, aunque los cambios temporales en los grupos funcionales no se ajustaron al modelo de Reynolds, sí proporcionaron más información y permitieron describir a la comunidad con mayor detalle que los grupos taxonómicos.

### **2.4 Estado trófico del embalse**

La condición anóxica en la zona hipolimnética; la visibilidad del disco Secchi que discrimina la zona eufótica; la clorofila "a"; la densidad y biovolumen de cianobacterias, las especies y grupos funcionales fitoplanctónicos y finalmente la escasa profundidad de este sistema pueden tomarse como indicadores para describir al embalse de El Rodeo como un ambiente meso-eutrófico.

Sin embargo, con el paso del tiempo, la combinación entre la descomposición de la materia orgánica y la frecuente anoxia del fondo, propicia la liberación del fósforo desde los sedimentos (Watts, 2000), aumentando así la disponibilidad de este nutrimento para el fitoplancton. De tal

manera que esta condición puede acelerar el proceso de eutrofización y disminuir las posibilidades de recuperación del embalse. Sin embargo, es probable que la evacuación parcial y periódica de la capa hipolimnética anóxica debida a la apertura de las compuertas pueda disminuir la velocidad del proceso de eutrofización.

De tal manera que, de acuerdo a las características establecidas en este trabajo se podría ubicar al embalse de El Rodeo dentro de los reservorios tropicales con particularidades polimícticas, con un decremento parcial en su calidad de agua.

# CONCLUSIONES

---

El embalse El Rodeo es un cuerpo de agua que experimenta amplias fluctuaciones hidrológicas asociadas a los periodos de lluvias y secas característicos de la región central de México.

Dadas las fluctuaciones en su profundidad y a las características climáticas de la zona, su columna de agua se estratifica y desestratifica por periodos variables, por lo cual puede considerarse polimíctico cálido.

Por su concentración promedio de clorofila a, la biomasa fitoplanctónica, las especies encontradas y los grupos funcionales observados, se reconoce como un sistema meso-eutrófico con tendencia a la eutrofia.

La predominancia de tres grupos funcionales a lo largo de todo el estudio, y el gran número de grupos presentes en cada muestreo no permitieron la descripción de un patrón de sucesión temporal en el sentido descrito por Reynolds, sin embargo proporcionaron más información y permitieron describir a la comunidad con mayor detalle que los grupos taxonómicos.

# ANEXOS

**Anexo 1.** Fórmulas geométricas utilizadas y biovolumen promedio obtenido de las microalgas planctónicas de El Rodeo. En el caso de organismos no unicelulares, la fórmula geométrica se refiere a la empleada para calcular el volumen de las células que integran la colonia o filamento. Las fórmulas marcadas con (\*) indican que se utilizaron para calcular el volumen del individuo completo. El biovolumen promedio corresponde a individuos completos, ya sean unicelulares, coloniales o filamentosos.

División	Especie	Fórmula geométrica	Vol. prom.	SD	N
Cyanobacteria	<i>Anabaena</i> sp.	Esferas	725	0	1
	<i>Chroococcus</i> sp.	Esferas	210	225	20
	<i>Cylindrospermopsis</i> cf. <i>Phillipinensis</i>	Cilindro	351	189	20
	<i>Coelastrum pusillum</i>	Esferoides	1435	1324	20
	<i>Cyanothece ehrenbergianun</i>	Esferoide alargado	497	265	20
	<i>Merismopedia</i> cf. <i>hyalina</i>	Esferoides alargados	81	68	20
	<i>Merismopedia tenuissima</i>	Esferoides alargados	12	12	20
	<i>Microcystis smithii</i>	Esferas	1749	1668	20
	<i>Microcystis botrys</i>	Esferoides alargados	163721	152051	20
	<i>Myxobaktrum</i> sp.	Cilindro con 2 medias esferas	60	24	20
	<i>Oscillatoria</i> sp.	Cilindro con 2 medias esferas	1254	1301	2
	<i>Pseudoanabaena</i> sp. 1	Cilindro	66	54	20
	<i>Pseudoanabaena</i> sp. 2	Cilindro	59	39	20
	<i>Planktolyngbya limnetica</i>	Cilindro	9	3	20
	Heterokontophyta	<i>Achnantidium</i> sp.	Prisma de base elíptica	97	18
<i>Aulacoseira granulata</i>		Cilindro	1531	1046	20
<i>Aulacoseira</i> sp. 1		Cilindro	221	87	20
<i>Cyclotella meneghiniana</i>		Cilindro	447	135	20
<i>Diatomea stelligera</i>		Cilindro	380	193	20
<i>Diatomea pennada</i> sp.		Prisma de base elíptica	4749	729	20
<i>Fragilaria</i> sp.		Prisma de base elíptica	243	58	20
<i>Isthmochloron lobulatum</i>		Peso	4436	455	6
<i>Mallomonas</i> sp. 1		Esferoides alargados	417	93	20
<i>Navicula</i> sp.		Prisma de base elíptica	316	189	20
<i>Ophiocytium capitatum</i>		Huso	213	33	2



Anexo 1. (Continuación I)

División	Especie	Fórmula geométrica	Vol. prom.	SD	N
Cryptophyta	<i>Cryptomonas</i> sp. 1	Cono + media esfera	393	405	20
	<i>Cryptomonas</i> sp. 2	Elipsoide	1091	445	20
	<i>Rhodomonas</i> sp.	Cono + media esfera	73	28	20
Dinophyta	<i>Peridinium</i> sp.	Elipsoide	2404	1221	20
Euglenophyta	<i>Euglena</i> sp. 1	Esferoide alargado	373	184	20
	<i>Euglena</i> sp. 2	Cono truncado + cono	1931		1
	<i>Euglena</i> sp. 3	Cilindro	4387	1946	12
	<i>Euglena</i> sp. 4	Cono + media esfera	1113	0	1
	<i>Phacus horridus</i>	Elipsoide	2473	0	1
	<i>Phacus</i> cf. <i>pleuronectes</i>	Elipsoide	999	660	20
	<i>Phacus</i> cf. <i>tortus</i>	Elipsoide	3223	495	20
	<i>Thrachelomonas rotunda</i>	Esfera	1563	0	1
	<i>Thrachelomonas</i> sp.	Esferoides alargados	3063	1057	20
Chlorophyta	<i>Actinastrum aciculare</i>	Conos	24	7	20
	<i>Ankistrodesmus bernardii</i>	Husos	45	6	20
	<i>Botryococcus braunii</i> sp.	Uno o dos esferoides	2067	1302	20
	<i>Chlamydomonadaceae</i> sp. 1	Esferoide alargado	114	123	20
	<i>Chlamydomonadaceae</i> sp. 2	Esferoide alargado	273	0	1
	<i>Chlorella</i> sp.	Esferas	103	51	20
	<i>Closteriopsis</i> sp. 1	Huso	88	15	20
	<i>Closteriopsis</i> sp. 2	Huso	36	10	20
	<i>Closterium</i> sp. 1	Huso	566	61	20
	<i>Closterium</i> sp. 2	Huso	541	221	20
	<i>Coelastrum microporum</i>	Esferas	522	948	20
	<i>Coelastrum reticulatum</i>	Esferas	117	101	20
	<i>Cosmarium bioculatum</i>	Dos elipsoides	60	15	20
	<i>Cosmarium</i> sp.	Dos elipsoides	1919	286	20
	<i>Crucigenia tetrapedia</i>	Caja rectangular	53	15	20
	<i>Crucigeniella</i> cf. <i>pulcra</i>	Esferoides alargados	72	45	20
	<i>Crucigeniella rectangularis</i>	Esferoides alargados	69	52	20
	<i>Dyctiosphaerium</i> sp.	Esferoides	491	602	20

<i>Didymocystis fina</i>	Esferoides alargados	26	15	20
<i>Elakatotrix gelatinosa</i>	Husos	37	16	20
<i>Euastrum</i> sp.	2 Elipsoides + 4 prismas de base paralelograma	898	66	20
<i>Kirschneriella irregularis</i>	Cilindro con 2 medias esferas	60	54	20
<i>Kirschneriella contorta</i>	Cilindro con 2 medias esferas	60	52	20
<i>Micractinium</i> sp.	Esferas	170	125	20
<i>Monoraphidium arcuatum</i>	Huso	12	2	20
<i>Monoraphidium</i> cf. <i>tortile</i>	Huso	11	2	20
<i>Oocystis</i> sp. 1	Esferas	667	1013	20
<i>Oocystis</i> sp. 2	Esferoide alargado	130	99	20
<i>Oocystis</i> sp. 3	Esferoide alargado	114	75	20
<i>Oocystis</i> sp. 4	Esferoide alargado	244	139	20
<i>Pediastrum duplex</i>	Peso	2446	471	6
<i>Pediastrum simplex</i>	Peso	3621	8185	3
<i>Pediastrum tetras</i>	Caja rectangular	196	117	20
<i>Phacotaceae</i> sp.	Cono + media esfera	52	34	20
<i>Quadrigula closteroides</i>	Huso	112	74	20
<i>Quadrigula</i> sp.	Cilindro con 2 medias esferas	117	38	20
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	Huso curvo + huso	170	152	20
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	Elipsoide	94	61	20
<i>Scenedesmus</i> sp. 1	Elipsoide	32	24	20
<i>Scenedesmus</i> sp. 2	Elipsoide	114	97	20
<i>Scenedesmus</i> sp. 3	Elipsoide	115	65	20
<i>Scenedesmus</i> sp. 4	Elipsoide	91	52	20
<i>Sphaerocystis</i> sp.	Esfera	618	203	20
<i>Staurastrum</i> sp.	2 Conos truncados	15515	9180	20
<i>Tetraedron caudatum</i>	Peso	78	23	3
<i>Tetraedron regulare</i>	Prisma con base triangular	381	101	12
<i>Tetraedron triangulare</i>	Prisma con base triangular	30	8	20
<i>Tetraedron trigonum</i>	Prisma con base triangular	88	0	1
<i>Tetrallantos</i> sp.	Esferoide alargado	15	12	20
<i>Tetrastrum elegans</i>	Elipsoide	84	29	20
<i>Tetrastrum</i> cf. <i>komarekii</i>	Elipsoide	40	12	20
<i>Tetrastrum</i> sp.	Peso	66	0	1

# LITERATURA CITADA

---

- Akbay, N., Anul, N., Yerli, S., Soyupak, S. y Yurteri, C. 1999. Seasonal distribution of large phytoplankton in the Keban Dam reservoir. *Journal of Plankton Research* 21: 771-78
- Arar, E. J. y Collins G. B. 1997. Method 445 in Vitro determination of Chlorophyll a and pheophytin a in marine and freshwater algae by fluorescence. National Exposure Research Laboratory. Office of Research and Development. U.S. Environmental Protection Agency
- Barone, R. y Naselli-Flores, L. 1994. Phytoplankton dynamics in a shallow, hypertrophic reservoir (Lake Arancio, Sicily). *Hydrobiologia* 289:199-214
- Beaver, J. R., Miller, A. M. y Acton, J. K. 1999. Midsummer zooplankton assemblages in four types of wetland in de the upper Midwest, USA. *Hydrobiologia* 380: 209-220
- Bergquist, A. M., Carpenter, S. R. y Latino, J. C. 1986. Shifts in phytoplankton size structure and community composition during grazing by contrasting zooplankton assemblage. *Limnology and Oceanography* 30: 1037-1045
- Bonecker, C. C. y Lansac, F. A. 1996. Community structure of rotifers in two environments of the upper River Paraná floodplain (MS)-Brazil. *Hydrobiologia* 5: 35-150
- Braun-Blanquet, J. 1964. *Pflanzensociologie*. Springer. Wien
- Brock, T. D. y Brock, M. L. 1966. Temperature optima for algal development in Yellowstone and Iceland Hot springs. *Nature* 209: 733-734
- Calijuri, M. C, Dos Santos, A. C. A. y Jati, S. 2002. Temporal Changes in the phytoplankton community structure in tropical and eutrophic reservoir (Barra Bonita, S.P. Brazil). *Journal of Plankton Research* 24: 617-634
- Carreño, A. O. 1938. Estudio hidrológico preliminar del vaso de El Rodeo. Morelos. Informe Técnico núm. 2-15. Archivo del agua Caja 457. Exp.4247
- Chen, J. C. y Shieh, Y. C. 1981. Primary investigation on plankton distribution of several lakes and reservoirs in Taiwan. *Journal of the Fisheries Society of Taiwan*. 8: 70-88
- Cholnoky, B. J. 1968. *Die Ökologie der Diatomeen in Binnengewässern*. Cramer, ehre, Stuttgart
- Chow, F. P., Loughheed, V., Le Thiec, V., Crosbie, B. y Lord, J. 1998. Long-term response of the biotic community to fluctuating water levels and changes in water quality in coots Paradise Marsh, a

- degraded coastal wetland of lake Ontario. *Wetland Ecology and Management* 6: 19-42
- Cole, G. A. 1975. *Textbook of limnology*. Saint Louis, MO, USA
- Comas, A. 1983. *Las Chlorococcales dulceacuícolas de Cuba*. J Cramer. Berlin, Stuttgart
- Comisión Nacional del Agua. 2004. Lámina de lluvia mensual, estatal y anomalía. Diciembre de 2004.  
[http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12&Itemid=77](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=77).  
Ultimo acceso 31 de enero 2011.
- Comisión Nacional del Agua. 2005. Lámina de lluvia mensual, estatal y anomalía. Diciembre de 2005.  
[http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12&Itemid=112](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=112).  
Ultimo acceso 31 de enero 2011.
- Cruz y Cruz, I. 2007. Biomasa y composición del fitoplancton de un embalse tropical de altura: Valle de Bravo, México, de febrero a noviembre de 2002. Tesis de maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México
- De León, L. y Chalar, G. 2003. Abundancia y diversidad del fitoplancton en el embalse de Salto Grande (Argentina - Uruguay). Ciclo estacional y distribución espacial. *Limnética* 22: 103-113
- Dellamano-Oliveira, M. J., Vieira, A.A.H., Rocha, O., Colombo, V. y Sant'Anna, C.L. 2008. Phytoplankton taxonomic composition and temporal changes in a tropical reservoir. *Fundamental and Applied Limnology* 171: 27-38
- Devercelli, M. 2006. Phytoplankton of the middle Paraná River during an anomalous hydrological period: a morphological and functional approach. *Hydrobiologia* 563: 465-478
- Esteves, F. A. 1988. *Fundamentos en Limnología*. Interciencia Ltda. Rio de Janeiro. Brazil
- Foog, G. E. y Thake, B. 1987. *Algal cultures and phytoplankton ecology*. The University of Wisconsin Press, Ltd. England
- García-Rodríguez, J. y Tavera, R. 1998. Fitoplancton del Lago Zempoala. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Botánica México* 63: 85-100
- García-Rodríguez, J. y Tavera, R. 2000. Phytoplankton composition and biomass in a shallow monomictic tropical lake. *Hydrobiologia* 467: 91-98
- Geraldes, A. M. y Boavida, M.J. 2007. Zooplankton assemblages in two reservoirs: one subjected to accentuated water level fluctuations, the other with more stable water levels. *Aquatic Ecology* 41 :273-284
- Germain, H. 1981. *Flores des Diatomees: eaux douces et saumâtres*. Ed. Boubée, Paris
- Gibson, C. E. y Foy, R. H. 1983. The photosynthesis and growth efficiency of a planktonic blue-green

- alga, *Oscillatoria redekei*. Br. Phycology Journal 18: 39-45
- Gómez, L. C. y Miranda, L. E. 2001. Hydrologic and climatic regimes limit phytoplankton biomass in reservoirs of the upper Paraná River Basin, Brazil. *Hydrobiologia* 457: 205-214
- Gómez-Márquez, J. L., Guzmán-Santiago, J. L. and Olvera-Soto, A. 1999. Reproducción y crecimiento de *Heterandria bimaiculata* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) en la Laguna "El Rodeo", Morelos, México. *Revista de Biología Tropical* 47:581-592
- Gómez-Nogueira, M. 2000. Phytoplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River), São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia* 431: 115-128
- Grime, J. P. Plant strategies and vegetation processes. John Wiley, Chichester
- Grover, J. P. y Chrzanowski, T. H. 2006. Seasonal dynamics of phytoplankton in two warm temperate reservoirs: association of taxonomic composition with temperature. *Journal of Plankton Research* 28: 1-17
- Haslam, S. M., Sinker, C. A. y Wolseley, P.A. 1975. British water plants. *Field Studies* 4: 243-351
- Horne, A.J. y Goldman, C.R. 1994. *Limnology*. 2nd edition. McGraw-Hill. New York, EEUU
- Harris, G. P. 1980. Temporal and spatial scales in phytoplankton ecology. Mechanisms, methods, models and management. *Canadian Journal Aquatic Sciences* 37: 877-900
- Harris, G. P. y Baxter, G. 1996 Interannual variability in phytoplankton biomass and species composition in a subtropical reservoir. *Freshwater Biology* 35: 545-560
- Hillebrand, H., Dürselen, C. D., Kirschtel, D., Pollingher, U. y Zohary T. 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal Phycology* 35: 403-424
- Hutchinson, G. E. 1957. A treatise on limnology. Vol. I Geography, physics and chemistry. John Wiley and Sons, New York, USA
- Hutchinson, G. E. 1967. A treatise on limnology. Vol. II Introduction to lake biology and the limnoplankton. John Wiley and Sons, New York, USA
- Huszar, V. L. M., Silva, L. H. S., Domingos, P., Marinho, M. y Melo, S. 1998. Phytoplankton species composition is more sensitive than OECD criteria to the trophic status of three Brazilian tropical lakes. *Hydrobiologia* 369/370: 59-71
- Huszar, V. L., Silva, L. H., Marinho, M., Domingos, P. y Sant'Anna, C. L. 2000. Cyanoprokariote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. *Hydrobiologia* 424: 67-77
- Huszar, V. L., Kruk, C. y Caraco, N. 2003. Steady-state assemblages of phytoplankton in four temperate

- lakes (NE USA). *Hydrobiologia* 502- 97-109
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1995. Censo de población y de vivienda
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Anuario Estadístico de Morelos 2004.
- Jensen, J. P., Jeppesen, E., Olrik, K. y Kristensen, P. 1994. Impact of nutrients and physical factors on the shift cyanobacterial to chlorophyte dominance in shallow Danish lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 51: 1692-1699
- Jeppesen, E., Erlandsen, M. y Søndergaard, M. 1997. Can simple empirical equations describe the seasonal dynamics of bacterioplankton in lakes? An eight-year study in shallow hypertrophic and biologically dynamic lake Søbygård, Denmark. *Microbial Ecology*. 34: 11-26
- John, D. M y Moaggs, C. A, *In* Claridge, M. F, Dawah, H. A y Wilson, M. R. 1997. Species: The units of biodiversity. Chapman & Hall, London, UK
- Kagami, M., Yoshida, T., Gurung, T. B. y Urabe, J. 2002. Direct and indirect effects of zooplankton on algal composition *in situ* grazing Experiments. *Ecology* 133: 356-363
- Kilham, S. S., Kilham, S. y Hecky, R. E. 1986. Hypothesised resource relationship among African planktonic diatoms. *Limnology Oceanography* 31: 1169-1181
- Kimmel, B. L., Thornton, K. W. y Payne, F. E. 1990. Reservoir limnology: Ecological perspectives. USA
- Kimmel, B. L. y Groeger, A. W. 1984. Factors controlling primary production in lakes and reservoirs. A perspective. *Lake and Reservoir Management. Proceedings of the Third Annual Conference, October 18–20. Knoxville, Tennessee, U.S. EPA, Washington, DC: 277–281*
- Klaveness, D. 1988. Biology and ecology of the Cryptophyceae: Status and challenges. *Biological Oceanography* 6: 257-270
- Klemer, A. R. 1976. The vertical distribution of *Oscillatoria agardhii* var. *isothix*. *Archiv für Hydrobiologie* 78:343-362
- Komárek, J. 2000. Problems in cyanobacterial taxonomy: implication for most common toxin producing species. *Proceedings of the Workshop Le fioriture di alghe tossiche nelle acque dolci: emergenza sanitari e misure di controllo. Rapporti ISTISAN 02/09, p. 6-43*
- Komárek, J. 2001. Review of cyanoprokaryotic genus *Romeria*. *Czech Phycology* 1: 5-19
- Komárek, J. y Anagnostidis, C. 1998. Cyanoprokaryota. 1 Teil. Chroococcales. *Custav. Fisher. Jena stuttaart lubeck ulm*

- Komárek, J. y Fott, B. 1983. Chlorococcales. Das Phytoplankton der Binnengewässer. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- Komárek, J. y Fott, B. 1999. Cyanoprokariota I Chlorococcales. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Gustav Fischer Verlag, Jena
- Komarková, J. y Tavera, R. 2003. Steady-state of phytoplankton assemblage in the tropical lake Catemaco. *Hydrobiologia* 502: 187–196
- Kruk, C., Mazzeo, N., Lacerot, G. y Reynolds, C. 2002. Classification schemes for phytoplankton: a local validation of a functional approach to the analysis of species temporal replacement. *Journal Plankton Research* 24: 901-912
- Lavorel, S., McIntire, S., Landsberg, J y Forbes, T. D. A. 1997. Plant functional classifications: From general groups to specific groups based on response to disturbance. *TREE* 12: 474-478
- Leitão, M., Morata, M. S., Rodriguez, S. y Vergon, J. P. 2003. The effect of perturbations on phytoplankton assemblages in a deep reservoir (Vouglans, France). *Hydrobiologia* 502: 73 – 83
- Lewis, W. M. 1983a. A revised classification of labrets based on mixing. *Canadian Journal Fisheries Aquatic Sciences* 40: 1779-1787
- Lewis, W. M. 1983b. Temperature, heat and mixing in lake Valencia, Venezuela. *Limnology Oceanography* 28: 273-286
- Lewis, W. M. 1984. A Niece years record of temperature, mixing and stability for tropical lake (Lake Valencia, Venezuela). *Archiv für Hydrobiologie* 99:340-346
- Lund, J. W. G., Kipling, C. y Le Cren, E. D. 1958. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia* 11: 143-170
- Manzi, M. y Huszar, V. L. 2002. Nutrient availability and physical conditions as controlling factors of phytoplankton composition and biomass in a tropical reservoirs (Southeastern Brazil). *Archiv für Hydrobiologie* 153: 443 - 468
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Ed. Omega, Barcelona
- Martínez Martínez, F. J. 2004. Contribución a la taxocenosis fitoplanctónica de la laguna El Rodeo. Edo. de Morelos, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México
- Massol-Deyá, A. y Fuentes, F. 2002. *Manual de laboratorio: Ecología de microorganismos*. Universidad de Puerto Rico
- Matsumura-Tundisi, T. y Galizia Tundisi, J. 2005 Plankton richness in a eutrophic reservoir (Barra

- Bonita Reservoir, SP, Brazil) *Hydrobiologia* 542:367–378
- Melo, S. y Huszar, V. L. 2000. Phytoplankton in a Amazonian flood-plain lake (Lago Batata, Brasil): diel variation and species strategies. *Journal of Plankton Research* 22: 63-76
- Mitch, W. J. y Goselink, J. G. 1993. *Wetlands*. Van Nostrand Reinhold Company. New York
- Murphy, T. P., Irving, K., Guo, J., Davies, J., Murkin, H., Charlton, M. y Watson, S.B. 2003. New microcystin concerns in the lower great lakes. *Water Quality Research Journal of Canada* 38: 127-140
- Nabout, J. C., Nogueira, I. S. y Oliveira, L. G. 2006. Phytoplankton community of floodplain lake of the Araguaia River, Brazil, in the rainy and dry seasons. *Journal of Plankton Research* 28(2): 181 - 193
- Naselli-Flores, L. 2000. Phytoplankton assemblages in twenty-one Sicilian reservoirs: relationships between species composition and environmental factors. *Hydrobiologia* 424: 1-11
- Naselli-Flores, L. 2003. Man-made lakes in Mediterranean semi-arid climate: the strange case of Dr. Lake and Mr. Shallow lake. *Hydrobiologia* 506/509: 13-21
- Naselli, L. y Barone, R. 1998. Phytoplankton dynamics in two reservoirs with different trophic state (Lake Rosamarina and Arancio, Sicilia Italy). *Hydrobiologia* 369/370: 163-178
- Naselli, L. y Barone, R. 2000. Phytoplankton dynamics and structure: a comparative analysis in natural and man-made water bodies of different trophic state. *Hydrobiologia* 438: 65–74.
- Naselli, L., Pádisak, J., Dokulil, M. T. y Chorus, I. 2003. Equilibrium/steady state concept in phytoplankton ecology. *Hydrobiologia* 502: 395-403
- OCDE, 1982. *Eutrophication of water. Monitoring, assessment and control*. OCDE. Paris
- O'Farrell, I., Sinistro, R., Izaguirre, I y Unrein, F. 2003. Do steady assemblages occur in shallow lentic environments from wetlands?. *Hydrobiologia* 502: 197-209
- Olrik, K. 1994. *Phytoplankton ecology*. Miljoministeriet, Kobenhavn, Dinamarca
- Ortega-Mayagoitia, E. y Rojo, C. 2000. Fitoplancton del parque nacional de las Tablas de Daimiel II. Las cianofíceas, los dinofalgelados, las criptofíceas, las crisofíceas y las xantofíceas. *Anales del jardín Botánico de Madrid* 57: 251-266
- Ortega-Mayagoitia, E., Rojo, C. y Rodrigo, M. A. 2003. Controlling factors of phytoplankton assemblages in wetlands; an experimental approach. *Hydrobiologia* 502: 177-186
- Pádisak, J. y Reynolds, C. 1998. Selection of phytoplankton association in Lake Balaton, Hungary, in response to eutrophication and restoration measures, with special reference to the



Cyanoprokaryotes. *Hydrobiologia* 384: 41-53

- Padisak, J., Borics, G., Feher, G., Grigorszky, I., Oldal, I., Schmidt, A. y Zámbróné-Doma, Z. 2003. Dominant Species, functional assemblages and frequency of equilibrium phases in late summer phytoplankton assemblages in Hungarian small shallow lakes. *Hydrobiologia* 502: 157 – 168
- Piccinelli, B., Sunyer, M., Esteller, A. y Martínez, M. 2005. Estudio de la calidad del agua de la laguna de el Rodeo (Morelos, México) conflictos en el usos de los recursos naturales. Memorias del III Taller Internacional sobre Eutrofización en Lagos y Embalses. CYTED
- Popowski, G; Sanchez, M. 2001. A saline pond with environmental and technological deterioration. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras. Numero Especial*
- Powell, T. M. 1995. Physical and biological scales of variability in lakes, estuaries and coastal ocean. In Powell, T. M. y Steele, H. (eds), *Ecological time series*. Chapman & Hall, New York. 119-139
- Reynolds, C. S. 1984. *The ecology of fresh water phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge
- Reynolds, C. S. 1988. Functional morphology and the adaptative strategies of freshwater phytoplankton. En Sandgren, C. D. (ed) *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press. Cambridge
- Reynolds, C. S. 1994. The long, the short and the stalled: on the attributes of phytoplankton selected by physical mixing in lakes and rivers. *Hydrobiologia* 289: 9–21
- Reynolds, C. S. 1997. *Vegetation processes in the pelagic: A model for ecosystem theory*. Ecology Institute Oldendorf/Luhe, Germany
- Reynolds, C. S. 1998a. Functional morphology and the adaptive strategies of freshwater phytoplankton. En: Sandgren, C. D. (Ed.) *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press, pp 388-433
- Reynolds, C. S. 1998b. What factors influence the species composition phytoplankton in lakes of different trophic status?. *Hydrobiologia* 69/370: 11-26
- Reynolds, C. S. 1999. Modeling phytoplankton dynamics and its applications to lake management. *Hydrobiologia* 395/396: 123-131
- Reynolds, C. S. 1999a. Phytoplankton assemblages in reservoirs. – In: Marinho, M. M. y Moraes, V. L. 2002. Nutrient availability and physical conditions as controlling factors of phytoplankton composition and biomass in a tropical reservoir (Southeastern Brazil). *Archiv für Hydrobiologie*

153: 443-468

- Reynolds, C. S. 2000. Phytoplankton designer – or how predict compositional responses to trophic-state change. *Hydrobiologia* 424: 123-132
- Reynolds, C. S. 2006. *Ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press
- Reynolds, C. S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L. y Melo, S. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research* 24: 417- 428
- Reynolds, C. S. y Reynolds, J. B. 1985. The atypical seasonality of phytoplankton in Crose Mere, 1972: An independent test of the hypothesis that variability in the physical environmental regulates community dynamics and structure. *British Phycological Journal* 20: 227-242
- Rhew, K., Baca, R. M., Ochs, C. A. y Threlkeld, T. 1999. Interaction effects of fish, nutrients, mixing and sediments on autotrophic picoplankton and algal composition. *Freshwater Biology* 42: 99-109
- Rivero, G. C. 1991. Estudio de eutroficación del lago Tequesquitengo. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM
- Rodh, W. 1948. Environmental requirements of freshwater plankton algae: Experimental studies in the ecology of phytoplankton. *Symbolae Botanicae Upsalienses* 10:5 - 149
- Romo, S. y Villena, M-J. 2005. Phytoplankton strategies and diversity under different nutrient levels and planktivorous fish densities in a shallow Mediterranean lake. *Journal of Plankton Research* 27(12):1273 – 1286
- Romo, S., Miracle, M. R., Villena, M. J., Rueda, J., Ferriol, C. y Vicente E. 2004. Mesocosm experiments on nutrient and fish effects on shallow lake food webs in a Mediterranean climate. *Freshwater Biology* 49, 1593–1607
- Round, F. E., Crawford, R. M. y Mann, D. G. 1990. *The diatoms, biology and morphology of genera*. Cambridge University Press
- Rott, E. 1981. Some results from phytoplankton counting intercalibrations. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie* 43: 34-62
- Ryding, S. O y Rast, W. 1992. *The control of eutrophication of lakes and reservoirs*. UNESCO
- Salgado, M. 1989. Diagnóstico de la problemática de la contaminación del agua en el Estado de Morelos, México. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología
- Sant'Anna, C. L. y Azevedo, M. T. D. 2000. Contribution to the knowledge of potentially toxic Cyanobacteria from Brazil. *Nova Hedwigia* 71: 359-385
- Scheffer, M. 1998. *Ecology of shallow lakes*. Chapman & Hall

- Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). Comisión Nacional del Agua (CNA). 1999. Calidad del agua del lago El Rodeo conforme a parámetros físicos, químicos y biológicos (1990 –1998). Estadísticas del Medio Ambiente. México
- Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). Comisión Nacional del Agua (CNA). 1999a. Criterios ecológicos de la calidad de agua CE-CCA.001/89. México
- Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). Comisión Nacional del Agua (CNA). 1999c. Calidad del agua del Rodeo conforme a parámetros físicos, químicos y biológicos (1990-1998). Estadísticas de medio ambiente. México
- Shannon, C. E. y Weaver, W. 1963. The mathematical theory of communication. University Of Illinois Press
- Shapiro, J. 1990. Current beliefs regarding dominance by blue-greens: the case for the importance of CO<sub>2</sub> and pH. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung der Limnologie* 24:38-54
- Shimwell, D. W. 1971. Description and classification of vegetation. Sidgwick and Jackson, London
- Sieburth, J. M., Smetacek, V. y Lenz J. 1978. Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnology Oceanography* 23: 1256–1263
- Sommer, U., Gliwicz, M. Z., Lampert, W. y Duncan, A. 1986. The PEG- model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archiv für Hydrobiologie* 106: 433-471
- Sommer, U. 1989. Plankton ecology: Succession in plankton communities. Springer-Verlag, Berlin
- Sousa, W. P., 1984. The role of disturbance in natural communities. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 15: 353–391
- SPSS Inc. 2008. SPSS for Windows, rel. 17.0. Chicago.
- Smith, G. 2005. Smith's Statistical Package (SSP) ver. 2.80. Pomona College, California.
- Stockner, J. G. and Antia, N. J. 1986. Algal picoplankton from marine and freshwater ecosystems. A multidisciplinary perspective. *Canadian Journal Fisheries Aquatics Sciences* 43: 2472-2503
- Straskraba, M. y Tundisi, J. G. 1999. Reservoir ecosystem functioning: Theory and applications. In Tundisi, J. G and Straskraba, M. (eds), *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications*. Backhuys Publishers, Leiden 565-597
- Sun, J. y Liu, D., H. 2003. Geometric models for calculating cell biovolumen and surface area for phytoplankton. *Journal of Plankton Research* 25: 1331-1346
- Talling, J. F. 1969. The incidence of vertical mixing, and some biological and chemical consequences in tropical african lakes. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung der Limnologie* 17: 998-

- Tansley, A. G. 1935. The British Isles and their vegetation. Cambridge University Press, Cambridge
- Tavera, R. y Martínez-Almeida, V. 2005. Atelomixis as a possible driving force in the phytoplankton composition of Zirahuen, a warm-monomictic tropical lake. *Hydrobiologia* 533: 199–208
- Tell G. y Conforti V. 1986. Euglenofita pigmentadas de la Argentina. J. Cramer. Stuttgart
- Tillman, D., Kilham, S. S. y Kilham, P. 1982. Phytoplankton community ecology: the role of limiting nutrients. *Annual Rev. Ecol. Syst*, 13: 349-372
- Tolotti, M., Thies, H., Cantonati, M., Hansen, C. M. E. y Thaler, B. 2003. Flagellate algae (Crysoophyceae, Dynophyceae, Cryptophyceae) in 48 high mountain lake of the northern and southern slope of the Eastern alps: Biodiversity, taxa distribution and their driving variables. *Hydrobiologia* 502: 331-348
- Torres-Orozco R., Jiménez-Sierra, C. y Buen-Abad, J. 1994. Caracterización limnológica de dos cuerpos de agua tropicales de Veracruz, México. *Anales del instituto de ciencias del mar y limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México. México
- Torres-Orozco, R. y García-Calderón, J. L, 1995. Introducción al manejo de datos limnológicos. Universidad Autónoma metropolitana. México
- Thornton, K.W., Kimmel, B. L. y Payne, F. E. (eds), 1990. *Reservoir Limnology: Ecological Perspectives*. John Wiley & Sons, New York. 246 pp
- Tundisi, J. G.; Rocha, O.; Matsumura-Tundisi, T. y Braga, B. 1998. Reservoir management in South America. *Water Resources Development* 14(2): 141–155
- Tüxen, R. 1955. Das systeme der nordwestdeutschen pflansengesellschaft. *Mitt. Florist-sociol. Arbeitsgemeinschaft*. 5: 1-119
- Vardaka, E., Moustaka-Gouni, M., Cook, C. M. y Lanaras, T. 2005. Cyanobacterial blooms and water quality in Greek waterbodies. *Journal of Applied phycology* 17: 391-401
- Verdum, J. 1957. Daytime variations in phytoplankton photosynthesis. *Limnology Oceanography*. 2: 333-336
- Vollenweider, R. A. 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris
- Wetzel, R. G. 1981. *Limnología*. Ed. Omega, Barcelona

- Wetzel, R. G. 1990. Reservoir ecosystems: conclusions and speculations. En Thornton, K.W., Kimmel, B. L. y Payne, F. E. (eds), 1990. Reservoir Limnology: Ecological Perspectives. John Wiley & Sons, New York, pp. 237-238
- White S.H., Fabbro L.D y L.J. Duivenoorden. 2003. Changes in cyanoprokariote populations, *Microcystis* morphology, and microcystin concentrations in Lake Elphinstone (Central Queensland, Australia). Environmental Toxicology 18: 403-412
- Wtrojsova, A., Vrba, J., Nedoma, J., Komarkova, J., & Znachor, P. 2003. Seasonal study of extracellular phosphatase expression in the phytoplankton of a eutrophic reservoir. European Journal of Phycology 38: 295-306
- Zalocar, L. G. 1998. Variaciones espaciales y temporales del fitoplancton en un lago subtropical de argentina. Revista Brasileira Biológica 58: 359-382