



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**“EVALUACIÓN DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA  
EN PRESENCIA DE *Poecilia reticulata* PETERS, 1859  
(PISCES: POECILIIDAE) BAJO CONDICIONES DE  
MESOCOSMOS EN UN LAGO HIPERTRÓFICO”**

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
B I O L O G O  
P R E S E N T A:  
HERNÁNDEZ ECHEVESTE ROSA ANGÉLICA

DIRECTORA DE TESIS:  
M. EN C. MARÍA GUADALUPE OLIVA MARTÍNEZ



TLALNEPANTLA, ESTADO DE MÉXICO

2014



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de limnología tropical de la Unidad de Investigación Interdisciplinaria en Ciencias de la Salud y la Educación (UIICSE) y en el laboratorio de botánica de la Unidad de Morfofisiología y Función de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM.

Fue dirigido por la M. EN C. María Guadalupe Oliva Martínez

Revisado por el jurado siguiente:

M. EN C. María Guadalupe Oliva Martínez

Dr. Alfonso Lugo Vázquez

Dra. María del Rosario Sánchez Rodríguez

M. EN C. Laura Peralta Soriano

QFB. Esperanza del Socorro Robles Valderrama

Cabe señalar, que en la realización de esta Tesis se conto con el apoyo financiero del Proyecto PAPCA 2010-2011 de la FES Iztacala "Importancia del sedimento en el almacenamiento y liberación de nutrientes en un lago urbano hipertrófico".

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Iztacala por permitir ser parte de esta gran institución, así mismo de las personas que la conforman.

Al Laboratorio de Limnología Tropical ubicado en la Unidad de Investigación Interdisciplinaria en Ciencias de la Salud y la Educación (UICSE), así mismo al Laboratorio de Botánica de la Unidad de Morfofisiología y Función y a las personas que laboran en este sitio que facilitaron el acceso a sus instalaciones así como a los materiales necesarios para la realización de la tesis.

A mi directora de tesis la M. EN C. María Guadalupe Oliva Martínez muchas gracias por su apoyo, por su dedicación, por sus enseñanzas tanto académicas así como el hecho de compartir sus experiencias de vida durante esta última etapa de la carrera, se lo agradezco.

A mis sinodales que ayudaron a dirigir esta tesis y con los que convivido plenteramente, los admiro mucho y les agradezco su atención.

Al Dr. Alfonso Lugo Vázquez gracias por su tiempo y por sus comentarios que me ayudaron a mejorar esta tesis, también gracias por ser parte de mi formación académica, ya que me ayudo mucho a la interpretación de los resultados presentados en esta tesis.

A la Dra. María del Rosario Sánchez Rodríguez gracias por sus atenciones, por sus comentarios y por cantar cuando me encontraba contabilizando mis muestras, ya que hacia más ameno el trabajo.

A la M. EN C. Laura Peralta Soriano gracias por sus atinados y puntuales comentarios, reiterando mí respeto porque para hacer las diferentes técnicas que se utilizan en limnología se necesita de mucho esfuerzo y paciencia.

A la QFB. Esperanza del Socorro Robles Valderrama gracias por su esfuerzo y comentarios al revisar esta tesis y por también formar parte de mi enseñanza académica.



## **DEDICATORIAS**

- ❖ A mis padres, Mónica Echeveste y José Martín Hernández a quienes les dedico esta tesis, gracias por ser mis guías, mi ejemplo y mi apoyo para lograr concluir una de las principales metas de mi vida.
- ❖ A mis hermanos, Adrian y Jesús con los que siempre he compartido muchos momentos bonitos.
- ❖ A mis tíos, María y Felipe Echeveste a quienes admiro por su dedicación y esfuerzo que demuestran a la hora de realizar su trabajo, son emprendedores y por eso son un ejemplo a seguir.
- ❖ A mis abuelos, Enrique Hernández y Jesús Echeveste con los cuales comparto muchos recuerdos placenteros y gracias por sus convivencias y consejos enriquecedores.
- ❖ A mi familia por estar siempre conmigo y por compartir momentos inolvidables.
- ❖ A mis amigos por compartir los buenos momentos que hemos pasado juntos durante toda la carrera.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
ANTECEDENTES.....	4
OBJETIVOS.....	8
ÁREA DE ESTUDIO.....	9
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
Parámetros ambientales.....	16
Disco de Secchi.....	22
Nutrientes.....	23
Clorofila <i>a</i> .....	27
Fitoplancton.....	29
Especies dominantes del fitoplancton.....	33
Análisis estadístico de ANOVA del fitoplancton.....	45
Peces.....	47
Correlación de Pearson.....	48
CONCLUSIONES.....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	56
ANEXO 1.....	62
ANEXO 2.....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lista de las especies fitoplanctónicas presentes en el lago del parque Tezozomoc durante la temporada de lluvias.....	31
Tabla 2. Densidad promedio de las especies dominantes en el lago y en los mesocosmos.....	40
Tabla 3. Densidad de <i>P. reticulata</i> al final del experimento en los mesocosmos con peces.....	47
Tabla 4. Correlaciones negativas con valor entre fitoplancton, parámetros ambientales, nutrientes, clorofila <i>a</i> y zooplancton.....	50
Tabla 5. Correlaciones positivas con valor entre fitoplancton, parámetros ambientales, nutrientes, clorofila <i>a</i> y zooplancton.....	52
Tabla 6. Promedios, valor mínimo, máximo y desviación estándar (d.e) de los parámetros ambientales, nutrientes y clorofila <i>a</i> .....	62
Tabla 7. Presencia (√) y categorización de las especies fitoplanctónicas. Especies dominantes (D), Raras (R), Temporales (T) y Constantes (C) en el lago y los mesocosmos durante la temporada de lluvias.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1. Mapa del Distrito Federal señalando el lago urbano ubicado dentro del Parque recreativo Tezozomoc en la Delegación Azcapotzalco (Modificado de Arzate, 2002).....	10
Figura 2. Ubicación de los mesocosmos dentro del lago urbano del Parque recreativo Tezozomoc.....	11
Figura 3. Material utilizado para la elaboración del mesocosmos; a) estructura metálica cilíndrica; b) bolsa de plástico.....	12
Figura 4. Mesocosmos con peces y sin peces, para los tratamientos con peces se utilizaron 10 guppys (5 machos y 5 hembras) en cada repetición.....	12
Figura 5. Gráfica de frecuencia <i>versus</i> abundancia.....	14
Figura 6. Promedios de la temperatura en la columna de agua dentro del lago y de los mesocosmos.....	16
Figura 7. Promedios de las concentraciones de oxígeno disuelto en la columna de agua de los mesocosmos y del lago.....	18
Figura 8. Promedios de conductividad en los mesocosmos a lo largo de la columna de agua.....	20
Figura 9. Promedios de pH en los mesocosmos y del lago en la columna de agua.....	21
Figura 10. Promedios de visibilidad registrados por el disco de Secchi durante el experimento en los mesocosmos y en el lago.....	22
Figura 11. Diagrama de caja y bigote con las concentraciones de fósforo total de los mesocosmos y del lago.....	23
Figura 12. Diagrama de caja y bigote con las concentraciones de nitrógeno total de los mesocosmos y del lago.....	25
Figura 13. Diagrama de caja y bigote de clorofila $\alpha$ en los mesocosmos y en el lago.....	27
Figura 14. Porcentajes que representan a cada uno de los grupos algales que se encontraron en el lago Tezozomoc durante la temporada de lluvias.....	30
Figura 15. Categorización (Conforme a García, 1988) de las especies de fitoplancton presentes en el lago durante la temporada de lluvias.....	34

Figura 16. Categorización (García, 1988) de las especies de fitoplancton presentes en PA durante la temporada de lluvias.....	35
Figura 17. Categorización (Conforme a García, 1988) de las especies de fitoplancton presentes en PC durante la temporada de lluvias.....	36
Figura 18. Categorización (Conforme a García, 1988) de las especies de fitoplancton presentes en SA durante la temporada de lluvias.....	37
Figura 19. Categorización (Conforme a García, 1988) de las especies de fitoplancton presentes en SC durante la temporada de lluvias.....	38
Figura 20. Especies dominantes en la temporada de lluvias.....	39
Figura 21. Diagrama de caja y bigote de las densidades fitoplanctónicas de los tratamientos bajo condiciones de mesocosmos y del lago durante la temporada de lluvias.....	46

## RESUMEN

En la ciudad de México los lagos urbanos se caracterizan por presentar condiciones hipertróficas como las del lago del Parque Tezozomoc donde las especies fitoplanctónicas se han desarrollado considerablemente, causando serios problemas de anoxia, malos olores y en casos más severos afectar a otros organismos del sistema. Dada la importancia del fitoplancton como primer eslabón de la red trófica, es la principal fuente de alimento para diferentes organismos como el zooplancton y los peces. De estos últimos *Poecilia reticulata* es un pez omnívoro que puede servir como control para el fitoplancton. El objetivo de este trabajo fue evaluar la comunidad fitoplanctónica en presencia de *P. reticulata* bajo condiciones de mesocosmos durante la temporada de lluvias del 2010. Los muestreos se realizaron semanalmente, tomando muestras del lago y de los mesocosmos que se dividieron en 4 tratamientos con peces y sin peces abiertos y cerrados al sedimento, cada uno con tres repeticiones. Se midieron las variables ambientales de temperatura, oxígeno disuelto, conductividad ( $K_{25}$ ), pH, disco de Secchi, fósforo total (P- $PO_4$ ), nitrógeno total (N- $NO_3$ ) y clorofila *a*. El fitoplancton se cuantificó con el método de Uthermöl, las especies dominantes se determinaron mediante gráficas de frecuencia *versus* abundancia. Para el análisis estadístico se utilizó ANOVA y la correlación de Pearson. Los parámetros ambientales en los tratamientos con y sin peces abiertos se comportaron de manera similar mientras que los cerrados fueron diferentes a los abiertos pero similares entre sí. En los mesocosmos aumentó la visibilidad del disco de Secchi en comparación con el lago. Se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de fósforo entre el lago y los mesocosmos ( $P=0.000$ ) y entre sistemas abiertos y cerrados ( $P=0.000$ ). No hubo diferencias entre los tratamientos con y sin peces ( $P=0.285$ ). Respecto al Nitrógeno no se encontraron diferencias significativas en ningún caso ( $P>0.05$ ). Para la clorofila *a* solo hubo diferencias significativas entre el lago y los mesocosmos ( $P=0.015$ ). Se determinaron 43 especies de fitoplancton, la mayoría compuesta por clorofitas como *Golenkinia radiata*, *Scenedesmus dimorphus* y *Kirchneriella obesa*, 11 especies fueron dominantes, la más abundante fue *Microcystis flosaquae*. La ANOVA aplicada a las densidades fitoplanctónicas, mostró que el lago fue diferente de los mesocosmos, de igual manera entre sistemas abiertos y cerrados ( $P= 0.000$ ). No se encontraron diferencias entre mesocosmos con peces y sin peces ( $P>0.05$ ). *M. flosaquae* presentó correlaciones positivas con el oxígeno disuelto y el pH mientras que con la conductividad y el disco de Secchi fueron correlaciones negativas. Por lo que se concluyó que *P. reticulata* no tiene impacto negativo sobre la comunidad fitoplanctónica.

## **INTRODUCCIÓN**

El agua es una sustancia esencial para el desarrollo de la vida, cubre casi las tres cuartas partes de la superficie de la Tierra (71%), de este porcentaje el 97% es agua salada y sólo el 3% es agua dulce (Arriaga *et al.* 1999), una parte del agua dulce la encontramos en los sistemas acuáticos epicontinentales que desempeñan un papel fundamental desde el punto de vista ecológico (Aguilar, 2003) y pueden clasificarse como sistemas lóticos (ríos, arroyos, esteros y manantiales) y lénticos como lagos, lagunas y presas.

Entre los lagos, existen los urbanos que estructural y funcionalmente difieren del común de los naturales, representando un desafío en su manejo ambiental sostenible (Barica, 1992; Birch y McKaskie, 1997). Son generalmente muy someros, de origen artificial, de tamaño relativamente pequeño, altamente eutrofizados y con los cuales mucha gente entra en contacto (Quirós, 2007). Actualmente los lagos urbanos han adquirido gran importancia, por su atractivo estético, recreativo y cultural.

En la ciudad de México la carencia y problemática de estos cuerpos de agua, ha propiciado que sean llenados con agua tratada, así mismo, las acciones antropogénicas establecen condiciones ecológicas especiales que permiten el desarrollo de algunas especies (Fernández *et al.* 2006), tal es el caso de la comunidad fitoplanctónica, compuesta de microorganismos fotosintéticos y por tanto autótrofos (producen su propio alimento), que se encuentran suspendidos en la columna de agua. Su importancia en los sistemas acuáticos radica en que estos producen oxígeno, fijan CO<sub>2</sub> atmosférico y sirven como bioindicadores del sistema (Mora-Navarro *et al.* 2004; Barocio-León *et al.* 2007).

Sin embargo, en los sistemas acuáticos hipertróficos como los lagos urbanos, el crecimiento inmoderado del fitoplancton por el exceso de nutrientes puede provocar problemas de anoxia y pueden producir sustancias que imparten mal olor al cuerpo de agua (Alcocer *et al.* 1998) y en casos extremos pueden llegar a afectar a otros organismos con los que interactúan.

Dada la importancia del fitoplancton como primer eslabón en la red trófica, es la principal fuente de alimento para los diferentes organismos, como el zooplancton y los peces, entre los cuales encontramos al grupo de los poecílidos que viven en una amplia gama de hábitats, ocupando zonas tropicales de aguas marinas, salobres o dulceacuícolas (Gómez-Márquez *et al.* 2008).

Los Poecílidos son peces omnívoros que se alimentan de una gran diversidad de organismos tales como el fitoplancton, zooplancton, insectos acuáticos, macroalgas, entre otros. El “guppy” *Poecilia reticulata* es un pez pequeño que pertenece a este grupo y está presente en el lago urbano Tezozomoc. Esta especie es utilizada como un modelo biológico en una gran variedad de estudios incluido los de comportamiento, evolución de la historia de vida, calidad de agua y ecotoxicología (García *et al.* 2008).

En condiciones hipertróficas como las del lago urbano Tezozomoc, *P. reticulata* al ser un pez con un amplio espectro trófico de hasta 40 tipos de organismos (Arzate, 2002) puede ser un control para las poblaciones de fitoplancton, aunque también existe la posibilidad de un control descendente sobre el zooplancton de mayor tamaño. El efecto con respecto a estas dos posibilidades depende de las características particulares de cada cuerpo de agua.

Para entender las interacciones presentes en el lago urbano Tezozomoc se recurrió a la utilización de mesocosmos. Estas unidades experimentales sirvieron como un modelo que encierra a un ecosistema (corrales ecológicos), siendo que el término *meso* hace referencia a un tipo de tamaño mediano (Kampichler *et al.* 2001).

La importancia del uso de los mesocosmos radica en que le permite al investigador manipular los diferentes parámetros que se desea evaluar en condiciones ambientales naturales (Crossetti y Bicudo, 2005).



## **ANTECEDENTES**

Existen algunas publicaciones extranjeras de lagos urbanos como la de Romo y Bécares (1998) en el que estudiaron por un año a dos de estos sistemas acuáticos de Madrid y en los cuales compararon datos físicos, químicos y biológicos, determinando que ambos lagos son someros, polimícticos, eutróficos; en cuanto a la flora se constituyó principalmente por especies de clorófitas mientras que la comunidad zooplanctónica fue diferente para cada uno de los lagos.

Novoa *et al.* (2006), estudiaron dos lagos urbanos al sur de la provincia de Córdoba en Argentina, comparando la composición algal y su relación con los parámetros ambientales y bacteriológicos, determinando un total de 275 especies de fitoplancton para los dos lagos, siendo las Bacillariophyceae las más abundantes.

Van Donk *et al.* (1994) realizaron un estudio en un lago eutrófico de Holanda para probar algunas medidas de restauración utilizando mesocosmos; las cuales consistían en primera instancia en la reducción de la resuspensión de materia del fondo, reducción peces planctívoros, floculación de materia suspendida usando  $\text{FeCl}_3$  y el dragado, midiendo la clorofila *a* y el disco de Secchi. Los resultados mostraron que el tratamiento de reducción de la resuspensión del sedimento en combinación con reducción de peces resultó en un decremento del seston e incremento de la visibilidad del disco de Secchi por la disminución de la clorofila *a*.

Van de Bund *et al.* (2004), estudiaron la respuesta del fitoplancton a la depredación de peces y a la carga de nutrientes en 6 lagos poco profundos de Europa utilizando mesocosmos, demostrando que la biomasa de fitoplancton responde principalmente a la carga de nutrientes y no a la depredación de los peces, sin embargo se observó que la depredación de los peces cambió la composición del fitoplancton hacia especies de tamaño pequeño y la concentración de la clorofila *a* fue un parámetro eficiente para la cuantificación de la biomasa de fitoplancton.

Crossetti y Bicudo (2005) evaluaron la técnica de eliminación de nutrientes como un método de la reducción de la eutrofización, mediante la dilución de agua eutrofizada, estableciendo tratamientos oligo, meso y eutróficos utilizando mesocosmos dentro de un estanque somero en São Paulo. El estudio mostró que el empobrecimiento de nutrientes causó la limitación de fósforo, reducción de la densidad algal, clorofila *a*, feofitina y la competencia por nutrientes llevó a cambios en la composición del fitoplancton.

Feresin *et al.* (2010) evaluaron la productividad primaria (PP) y los factores que influyen sobre esta en el lago tropical Monte Alegre, utilizando mesocosmos. Se realizaron 2 experimentos uno en invierno (1998) y el otro en verano (1999). La PP más alta ocurrió en la transición de periodos cuando la estratificación térmica era inestable y la más baja en la estación fría. La PP no estuvo influenciada por el zooplancton; mientras que las heces de los peces planctívoros tendieron a aumentarla, aunque se concluyó que los factores bióticos tienen un rol secundario en la PP.

En México hay algunos trabajos realizados en lagos urbanos como el de Alcocer *et al.* (1988) en el que evaluaron el efecto ejercido por el dragado en el lago de Chapultepec en la Ciudad de México como medida para restaurarlo, a través de la medición de nutrientes (fósforo y nitrógeno) y la clorofila *a* de julio (1984) a octubre (1985) y se reanudó en enero y febrero de 1986. Los resultados mostraron que después del dragado los nutrientes y la clorofila *a* aumentaron, además de que las fluctuaciones de los parámetros estuvieron enmascaradas por la dinámica del propio sistema.

Cruz y Martínez (1999) revisaron la respuesta de la irradiación de la luz con respecto a la fotosíntesis del nanoplancton de dos sistemas acuáticos urbanos en la Ciudad de México, en el lago de Chapultepec se obtuvieron las tasas máximas de fotosíntesis y también las concentraciones de clorofila *a*, así mismo su mayor producción se registro durante la temporada de lluvias, mientras que en el lago de Xochimilco la producción más alta se registró en la temporada de sequía, adicionalmente las tasas más altas de fotosíntesis ocurrieron cuando las cianobacterias dominaron en estos sistemas.

Específicamente para el lago Tezozomoc, existen algunos estudios previos, tales como los de Arzate (2002) que estudió la alimentación de *P. reticulata* y su relación con algunos parámetros ambientales, en el cual se obtuvo que el valor más alto del factor de condición del pez (crecimiento), se presenta en diciembre con 9.3%, así mismo, el espectro trófico mostró que el guppy consume 40 tipos de organismos. En este mismo trabajo se comparan dos métodos para conocer la preferencia alimenticia de *P. reticulata*, el volumétrico y el de frecuencias, en el primero sobresalen *Hyaella azteca*, *Chironomus* huevos de insecto y *Cyclotella*, por el contrario en el segundo se encontró a *Microcystis*, *Cyclotella*, *Fragilaria* y *Scenedesmus*.

Botello (2002) y Solano (2002) estudiaron aspectos reproductivos de *P. reticulata* en diferentes épocas del año, determinando que el lago es de tipo hipertrófico y bajo estas condiciones se desarrolla *P. reticulata*, presentando un crecimiento alométrico (cuando las proporciones corporales cambian durante su ciclo de vida).

Verver y Vargas (2005) evaluó la dinámica espacio-temporal de la clorofila *a* durante la temporada de lluvias, de mayo a octubre del 2004, concluyendo que las concentraciones elevadas de clorofila *a* están relacionadas con los nutrientes y con los parámetros físicos y químicos característicos de sistemas acuáticos hipertróficos.

Oliva-Martínez *et al.* (2008) estudiaron la composición y dinámica de la comunidad del fitoplancton durante septiembre del 2003 hasta agosto del 2004. Con las variables físicas y químicas medidas en este trabajo se determinaron dos épocas en el lago, seca-fría y cálida-lluviosa, por otro lado encontraron 50 especies de fitoplancton, siendo el grupo más abundantes y con mayor cantidad de especies las Chlorococcales, en cuanto las especies dominantes fueron *Selenastrum minutum*, *Monoraphidium caribeum*, *Chlorella minimum* y el picofitoplancton.

Morlán (2010) evaluó la producción primaria del fitoplancton en la época de sequía, confirmando que las condiciones fisicoquímicas son propias de

sistemas hipertróficos, mientras que las tasas de producción primaria neta y bruta tuvieron una correlación positiva con la radiación solar y la clorofila *a*, alcanzando valores extremadamente elevados.

Debido a lo anterior y que en México existen pocos trabajos del efecto que puedan tener los peces pequeños omnívoros (*Poecilia reticulata*), sobre la comunidad fitoplanctónica de lagos urbanos hipertróficos como el de Tezozomoc y para obtener información más realista de las condiciones ambientales naturales del sitio, se procedió a realizar el trabajo utilizando mesocosmos.

## **OBJETIVOS**

General:

- Evaluar la Influencia que puede tener la presencia de los peces pequeños omnívoros *P. reticulata* (guppy) sobre la comunidad fitoplanctónica en condiciones de mesocosmos en un lago urbano hipertrófico ubicado dentro del parque recreativo Tezozomoc, Azcapotzalco, D.F. durante la temporada de lluvias.

Particulares:

- ❖ Medir y analizar los parámetros ambientales de temperatura, oxígeno disuelto, pH, disco de Secchi, fósforo total, nitrógeno total y clorofila *a* dentro del lago y en los mesocosmos.
- ❖ Determinar la estructura y abundancia de la comunidad fitoplanctónica en condiciones de mesocosmos, ubicados dentro del Lago urbano Tezozomoc durante la época de lluvias.
- ❖ Determinar los cambios de la comunidad fitoplanctónica en el lago y en los mesocosmos en presencia de *P. reticulata* en la época de lluvias.
- ❖ Correlacionar las variables ambientales, nutrientes, clorofila *a*, con la comunidad fitoplanctónica.
- ❖ Correlacionar la comunidad fitoplanctónica y el zooplancton para evaluar de manera indirecta, si *P. reticulata* influye positiva, negativamente o nulamente a los productores primarios del lago.

## ÁREA DE ESTUDIO

El lago Tezozomoc se localiza al noreste de la Delegación Azcapotzalco, D.F. colindando al norte y al noreste con el municipio de Tlalnepantla y al oeste con el municipio de Naucalpan entre las coordenadas 19°29'05''N y 99°12'36''O a los 2250 m.s.n.m. (Fig.1) con una extensión de 27 hectáreas, su clima es de tipo C(W<sub>0</sub>) templado subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual oscila entre los 12 y 16°C, mientras que la temperatura más cálida se presentó en mayo entre 11 y 12 °C, la precipitación del mes más seco menor de 40 mm (García, 2004). La vegetación del parque está constituida por tres estratos: herbáceos, arbustivos y arbóreo. El lago se ubica en la parte central del parque, posee una superficie de 17,000 m<sup>2</sup> con una capacidad de 38,000 m<sup>3</sup> (Fig. 1). La profundidad mínima es de 0.5 m y la máxima de 2.40 m (Arzate, 2002). La planta de papiro (*Cyperus papyrus* Linnaeus) es la única macrofitia acuática que se encuentra en el lago. El agua que abastece al parque proviene de la planta de tratamiento de aguas residuales “El Rosario” operada por la Dirección General de Operación Hidráulica (DGOH) el abastecimiento es diario a razón de 6 Ls<sup>-1</sup> (Solano, 2002). El único pez que habitaba en el lago hasta el 2010 fue el “guppy” (*Poecilia reticulata*), además se podían observar un número importante de tortugas de orejas rojas (*Trachemys spp.*) y diferentes especies de aves acuáticas como en zambullidor pico tinto (*Podylimbus podiceps* Linnaeus), el pato de pekin o blanco (*Anas platyrhynchos* Linnaeus), el pato golondrino (*Anas acuata* Linnaeus) y el pato tepalcate (*Oxyura jamaicensis* Gmelin), entre otros (Ramírez, 2000).

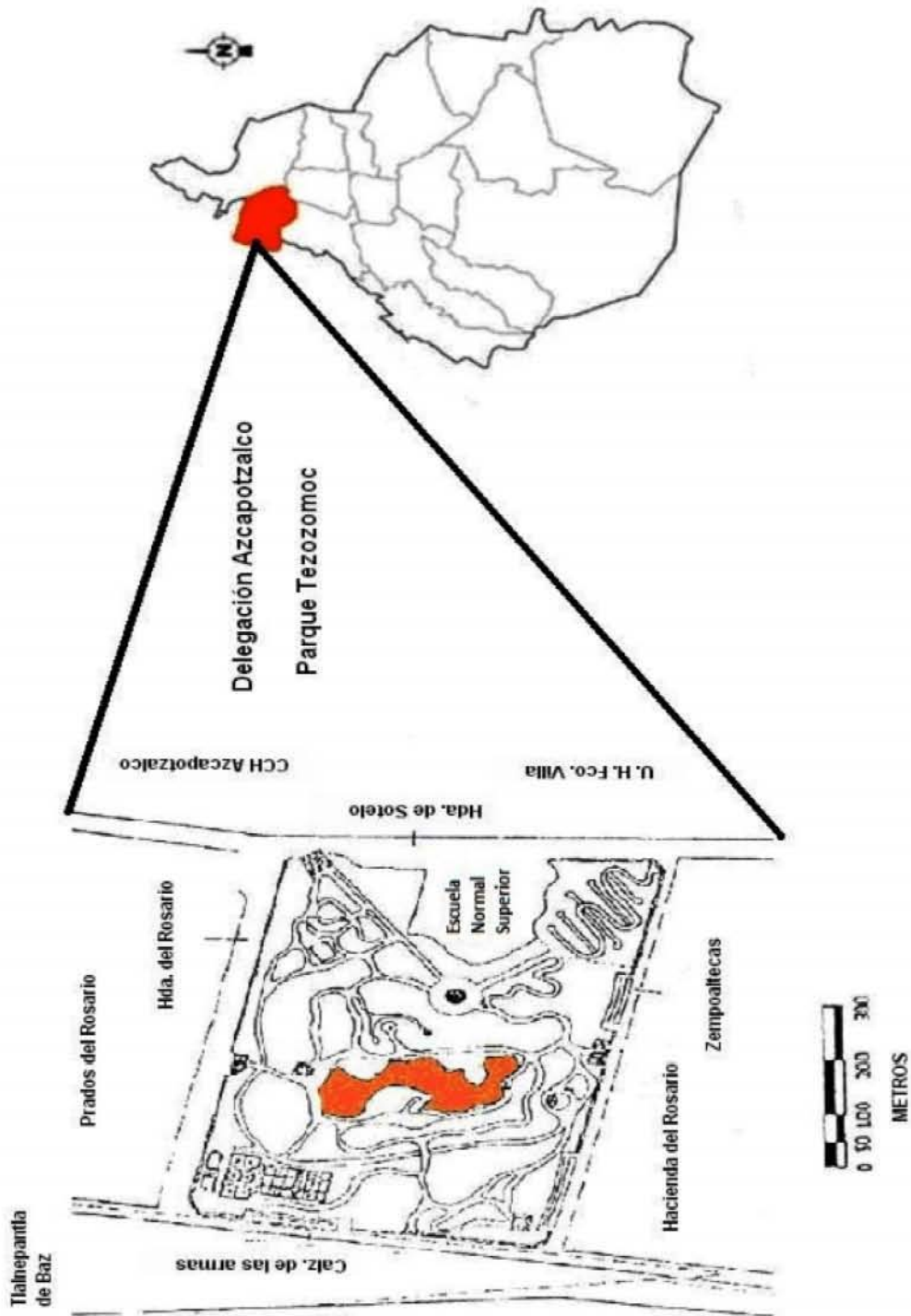


Figura. 1. Mapa del Distrito Federal señalando el lago urbano ubicado dentro del Parque recreativo Tezozomoc en la Delegación Azcapotzalco (Modificado de Arzate, 2002).



## MATERIALES Y MÉTODOS

En el lago se instalaron, 12 mesocosmos de 100 L de capacidad (Fig.2), llenándose con 80 L de agua del sitio. Los mesocosmos se construyeron previamente a partir de una estructura metálica de forma cilíndrica, que rodeaba a una bolsa de plástico de alto calibre, sujeta a esta estructura (Fig.3); los mesocosmos se dividieron en 4 tratamientos y un control representado por el lago (Fig.4).

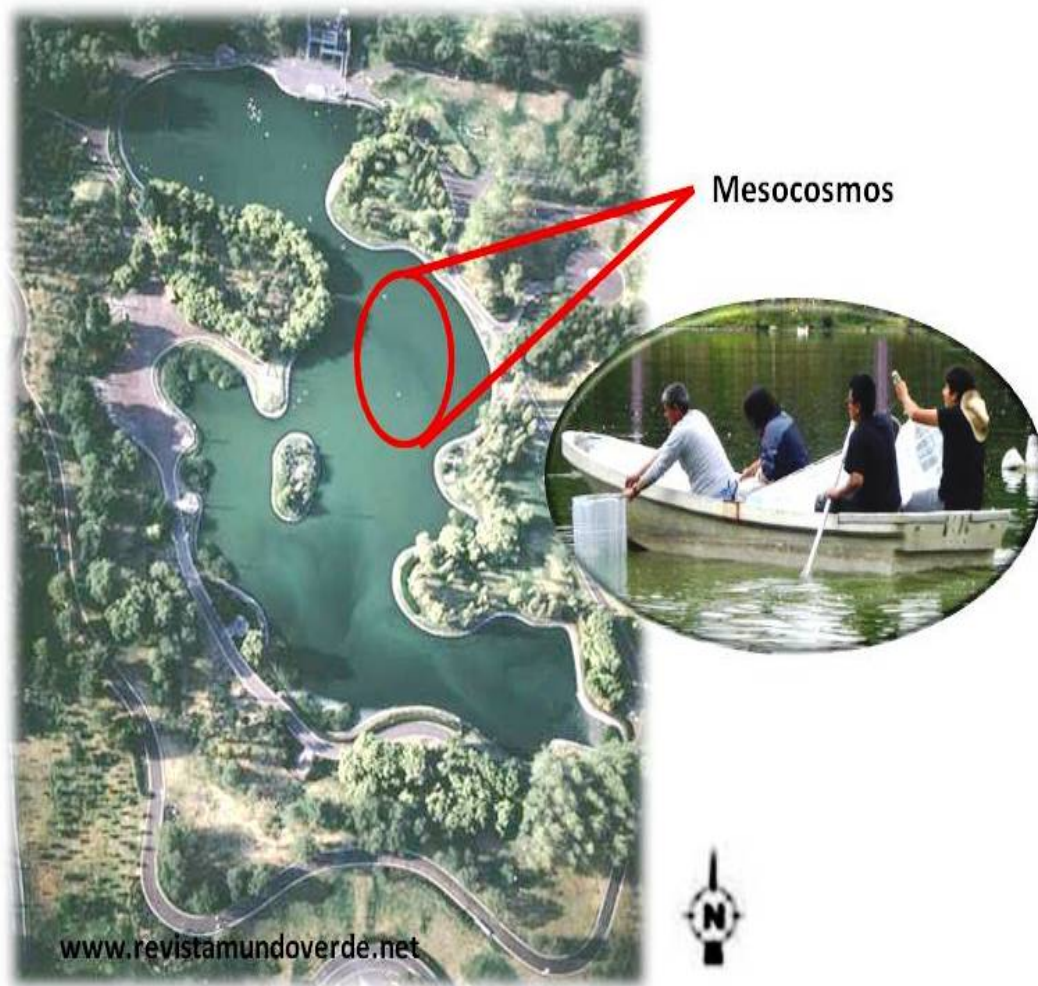


Figura 2. Ubicación de los mesocosmos dentro del lago urbano del Parque recreativo Tezozomoc.



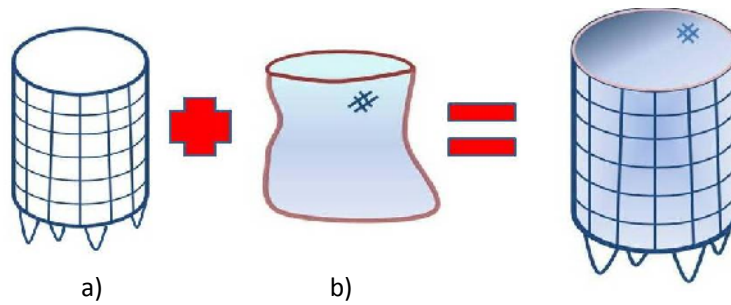


Figura 3. Material utilizado para la elaboración del mesocosmos; a) estructura metálica cilíndrica; b) bolsa de plástico.

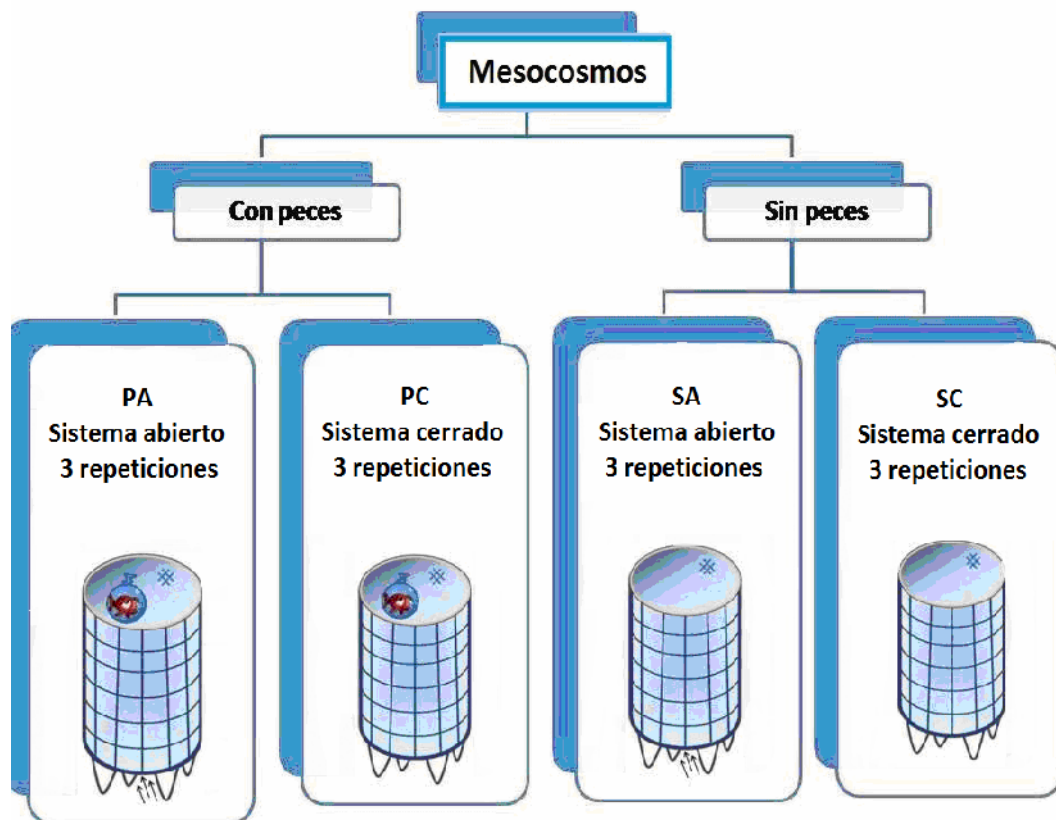


Figura 4. Mesocosmos con peces y sin peces, para los tratamientos con peces se utilizaron 10 guppies (5 machos y 5 hembras) en cada repetición.

Los parámetros físicos y químicos correspondientes del cuerpo de agua se registraron alrededor del medio día (oxígeno disuelto ( $\text{mg L}^{-1}$ ), temperatura del agua ( $^{\circ}\text{C}$ ), y conductividad  $K_{25}$  ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) midiéndose con una Sonda multisensor YSI modelo 85. se registro la visibilidad del disco de Secchi, el pH con un potenciómetro Conductronic pH 10. Se tomó una muestra integrada de la columna de agua en frascos de 50 ml por cada mesocosmos y del lago, de igual manera para los nutrientes y clorofila *a*. El experimento se inició el 31 de agosto y se terminó el 28 de septiembre del 2010 realizando los muestreos semanalmente.

En el laboratorio se obtuvieron las concentraciones en  $\text{mg L}^{-1}$  de nitrógeno ( $\text{N-NO}_3$ ) y fósforo total ( $\text{P-PO}_4$ ) por medio de la técnica de digestión básica con persulfato de potasio utilizando el laboratorio portátil de calidad del agua marca HACH modelo DREL/2000, la clorofila *a* se midió con un fluorómetro para fluorescencia *in vivo* marca Turner-Desings modelo Aquafluor.

La observación de las muestras biológicas se hicieron *in vivo* con un microscopio óptico Carl Zeiss con contraste de fases (10 y 40x), posteriormente se fijaron con acetato de lugol hasta obtener una coloración ámbar (Moreno, 2003). Los grupos algales se identificaron utilizando obras especializadas tales como: Comas (1996), Cox (1996), Håkansson (2002), Hegewald y Silva (1998), Komárek (1999) y Prescott (1982). La cuantificación del fitoplancton se realizó con el método de Uthermöhl (Wetzel y Likens, 2000) mediante una cámara de sedimentación de 10 ml y microscopio invertido marca Leica, modelo DMILL contando un mínimo de 400 organismos con el fin de obtener intervalo de confianza para la media de la estimación  $\pm 10\%$  (Wetzel y Linkens *op cit.*).

Con el fin de obtener el promedio de células por colonia del género *Microcystis*, fue necesario conocer el biovolumen de la colonia, así como el de la célula (utilizando la fórmula propuesta por Helmut *et al.* 1999) para posteriormente dividirlos (Volumen de la colonia / Volumen de la célula = células x colonia). En el caso de *Anabaena* y *Anabaenopsis* se obtuvo un promedio del número de células presentes en cada filamento tomando en cuenta heterocitos y acinetos, Con respecto a *Pseudanabaena* se midió el filamento completo y se dividió

entre 10 y el resultado de lo anterior se multiplico por 3 (ya que 3 células vegetativas ocupan 10  $\mu\text{m}$  del filamento). Por último para *Spirulina* se contaron filamentos, mientras que el picofitoplancton por colonias.

Después de obtener los resultados cuantitativos del fitoplancton, se procedió a la elaboración de las gráficas de frecuencia *versus* abundancia (Fig.5), con el fin de determinar las especies dominantes, temporales, constantes y raras, la frecuencia está representada por el porcentaje que se obtuvo a partir del número de muestras en las que se presentó cada especie por 100 entre el número total de muestras, mientras que para la abundancia se utilizó el logaritmo base 10 del número de células por ml más uno; por último para obtener las líneas que delimitan el tipo de especies se usó el promedio de la frecuencia y de la abundancia (García de León, 1988).

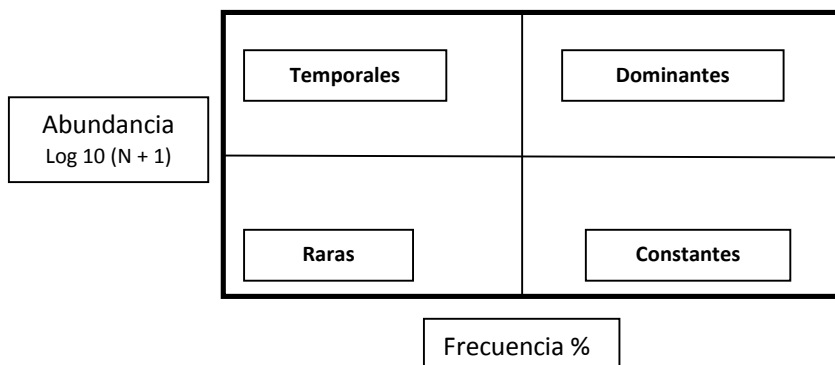


Figura 5. Gráfica de frecuencia *versus* abundancia la parte inferior izquierda representa las especies raras con poca frecuencia y poca abundancia; la inferior derecha las especies constantes con frecuencias altas pero poco abundantes; la superior izquierda es para las especies temporales con poca frecuencia y alta abundancia y la superior derecha, las especies dominantes con una alta frecuencia y alta abundancia.

Para los análisis estadísticos de los datos obtenidos en este trabajo se utilizaron los programas SPSS versión 13.0 y Excel, realizando un análisis de varianza de los tratamientos por repeticiones para determinar las diferencias

entre los mesocosmos (con peces y sin peces) y el lago, para hacer evidentes esas diferencias se elaboraron diagramas de caja y bigote.

Posteriormente se hizo la correlación de Pearson para determinar las relaciones entre el fitoplancton (solamente se tomaron en cuenta las especies dominantes resultantes de las gráficas de frecuencia *versus* abundancia), las variables fisicoquímicas y zooplancton (datos tomados de López, 2012), con el fin de observar de manera indirecta la red trófica del lago Tezozomoc y para complementar la información de este trabajo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Parámetros ambientales

#### Temperatura

En todos los parámetros ambientales se observó un patrón definido, ya que los tratamientos con y sin peces abiertos (PA y SA) se comportan de manera similar. Por otro lado, los sistemas cerrados (PC y SC) fueron diferentes a los abiertos pero similares entre sí. Estos dos casos se explicarían por el contacto directo o el no contacto de los sedimentos con la columna de agua de los mesocosmos (Anexo 1).

Los valores de temperatura registrados en la temporada de lluvias no expresaron grandes fluctuaciones, variando de 18.6 a 22.9°C, con valores máximos en la superficie y mínimos en la parte más profunda, además, los valores de este parámetro dentro de los mesocosmos y del lago disminuyen a partir de los 0.4 m de profundidad (Fig. 6).

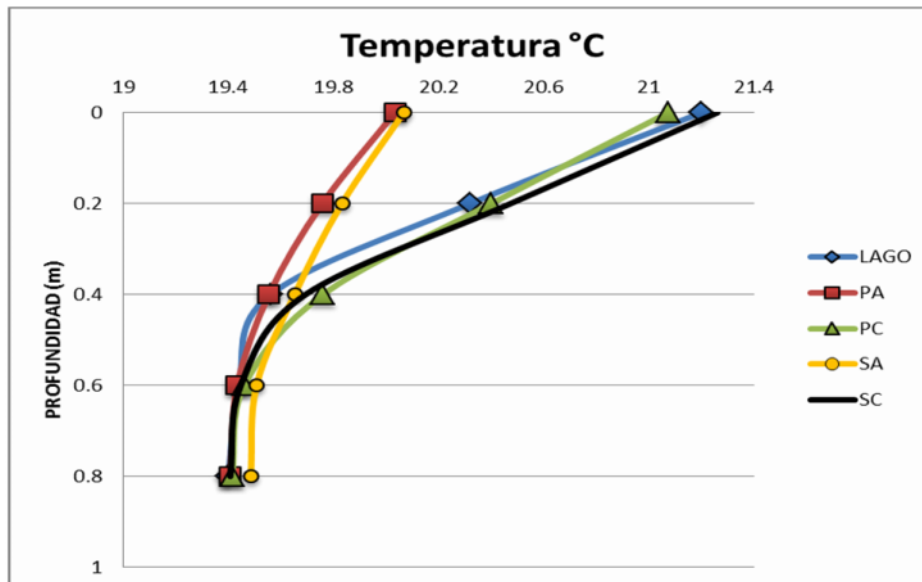


Figura 6. Promedios de la temperatura en la columna de agua dentro del lago y de los mesocosmos.

Con relación a la disminución de temperatura presentada en los mesocosmos y en el lago, se debe a que conforme la luz penetra y es absorbida, se convierte en calor, por lo que su intensidad disminuye exponencialmente con la profundidad, a su vez la luz que es absorbida, está determinada por las diferentes partículas y moléculas que componen el medio acuoso, que además dan las características del color y turbidez del cuerpo de agua (Gama *et al.* 2010), este comportamiento ya fue observado por Oliva-Martínez *et al.* (2008) en el que se menciona que el lago tiene una estratificación térmica débil y lo clasifican como polimictico, ya que durante la noche el enfriamiento de la atmósfera rompe dicha estratificación (Roldán y Ramírez, 2008), recordando que la temperatura es un factor muy importante en los sistemas acuáticos, porque regula las tasas de reacción química y procesos biológicos (Gama *op cit.* ).

## Oxígeno disuelto

Las concentraciones de oxígeno disuelto obtenidas del lago y de los tratamientos bajo condiciones de mesocosmos, presentaron un intervalo de 0.5 a 17.5 mg L<sup>-1</sup>. Los valores más altos de este parámetro se encontraron en la superficie y los más bajos en el fondo (Fig.7).

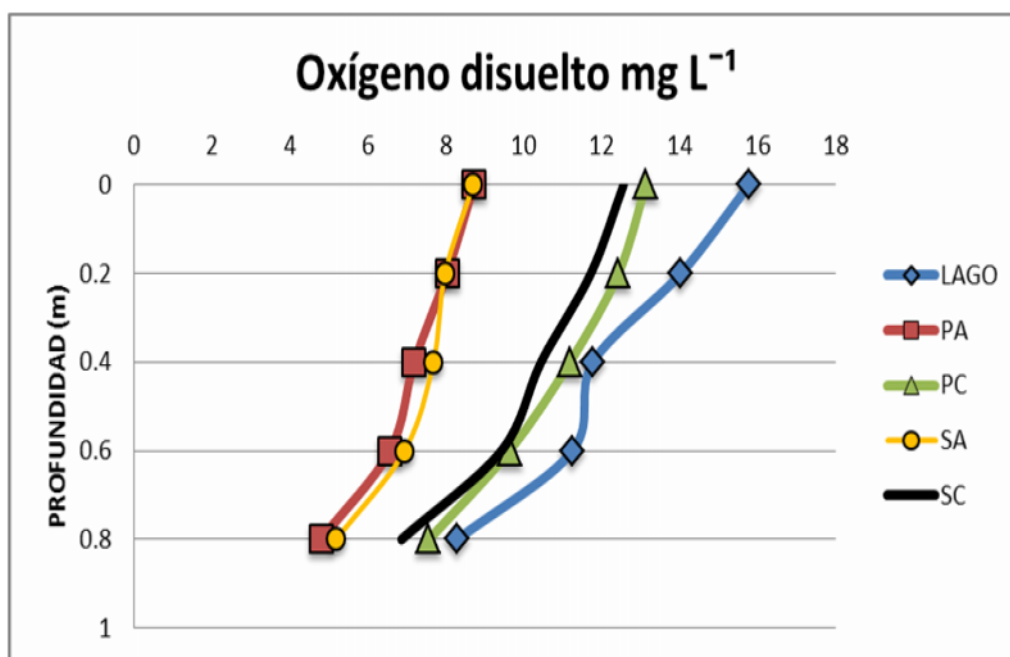


Figura 7. Promedios de las concentraciones de oxígeno disuelto en la columna de agua de los mesocosmos y del lago.

Para el oxígeno disuelto los sedimentos juegan un papel importante, porque en este sitio se lleva a cabo la descomposición de la materia orgánica, proceso que demanda una gran cantidad de oxígeno disuelto, por lo que el fondo del lago y de los mesocosmos se va convirtiendo de forma gradual en un ambiente anaerobio (Moreno *et al.* 2010).

Por otro lado, el descenso de las concentraciones de oxígeno disuelto conforme la profundidad aumenta, es un comportamiento anteriormente registrado en el mismo lago (Tezozomoc) por Verver y Vargas (2005) y Morlán

(2010), en los cuales se observa que este patrón se mantiene en todo el lago, de igual manera, el estudio de Cruz y Martínez (1999), realizó en dos lagos con características similares al Tezozomoc, en el lago Chapultepec y en el de Xochimilco durante la temporada de lluvias, en el primero se registraron concentraciones del fondo y de la superficie de 6.40 a 3.50 mg L<sup>-1</sup> respectivamente, mientras que en el segundo lago se registraron 12.40 mg L<sup>-1</sup> en la superficie y en el fondo 3.50 mg L<sup>-1</sup>.



### Conductividad ( $K_{25}$ )

La conductividad registró valores de 810 a 966  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , los valores más altos se presentaron el último día del experimento en el lago y en los tratamientos abiertos (PA y SA), mientras que los valores más bajos se presentaron en el fondo al inicio del experimento en los sistemas cerrados (Fig.8).

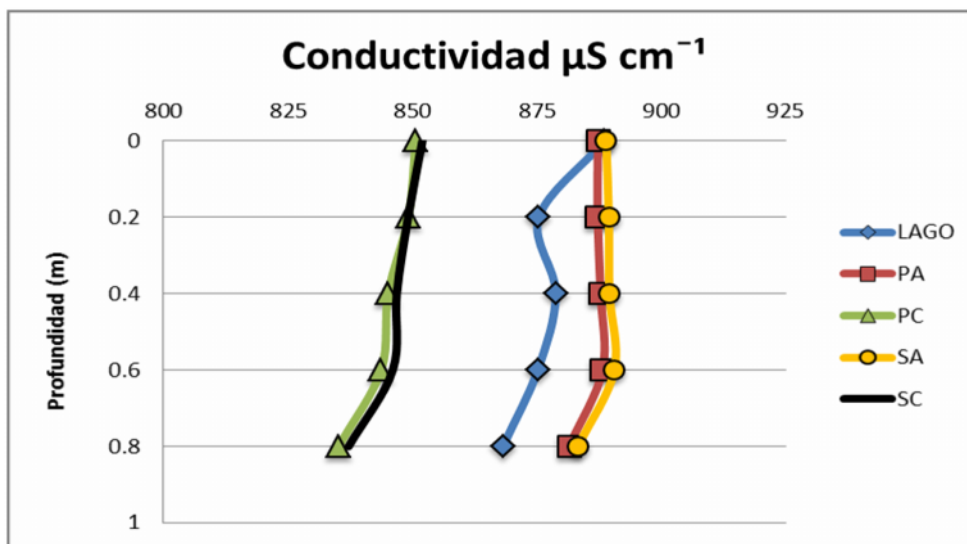


Figura 8. Promedios de conductividad en los mesocosmos a lo largo de la columna de agua.

De igual manera que el oxígeno disuelto los sedimentos juegan un papel importante en la conductividad porque en este sitio se lleva a cabo la descomposición de la materia orgánica, que asu vez permite el ingreso de iones como nitrato, fosfato, sulfatos, magnesio, calcio, etc (Gama *et al.* 2010), hacia la columna de agua.

Los intervalo de conductividad registrados en el lago Tezozomoc (810 a 966  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) durante la temporada de lluvias, coinciden con los registrados por Arzate (2002) en este mismo lago, variando de 831.3-1183  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , otros autores como Oliva-Martínez *et al.* (2008) publicaron un valor máximo de 1106 y uno mínimo de 750  $\mu\text{S cm}^{-1}$  de conductividad en un ciclo anual.

## pH

El pH registrado en la temporada de lluvias, registró valores que oscilaron entre 7.8–9.81 (unidades de pH), los valores más altos se presentaron en la superficie y los más bajos al fondo, patrón que concuerda con las otras variables fisicoquímicas y ubica al agua como básica (Fig.9).

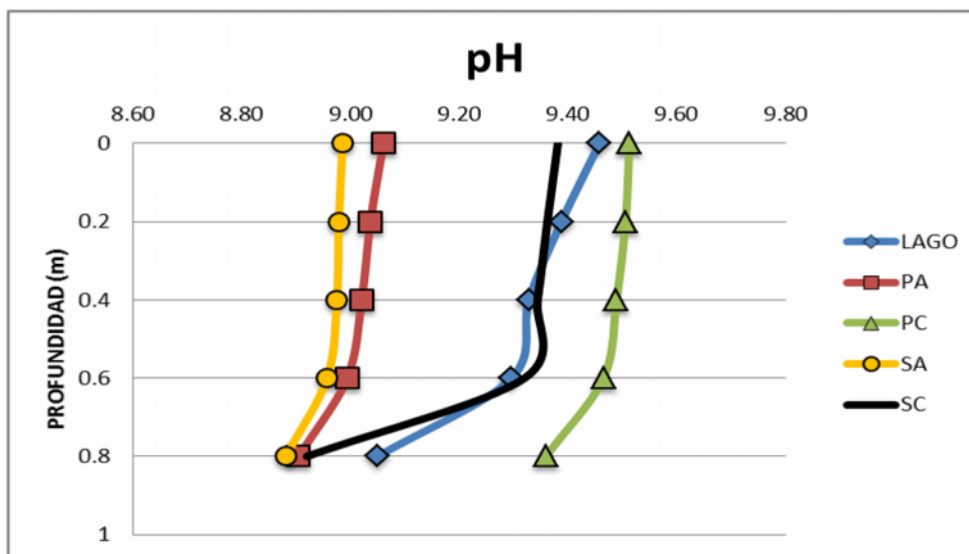


Figura 9. Promedios de pH en los mesocosmos y del lago en la columna de agua.

Esta disminución de pH en el fondo se debe a que en el fondo se encuentra la materia orgánica en descomposición, proceso que demanda una gran cantidad de oxígeno y produce  $\text{CO}_2$  haciendo que disminuya levemente el pH (Gama *et al.* 2010, Roldán y Ramírez, 2008.).

Los valores de pH en el lago Tezozomoc corresponden a los observados por Arzate (2002) y Verver y Vargas (2005) en la temporada de lluvias en este mismo lago, variando de 9 a 10 unidades de pH, mientras que Cruz y Martínez (1999) en el lago de Chapultepec registraron un pH de 9.06 y para el lago de Xochimilco un pH de 8.7.

## Disco de Secchi

La visibilidad del disco de Secchi dentro de los mesocosmos y del lago presentó fluctuaciones de 0.13 a 0.57 m de profundidad. En el lago se obtuvieron los valores más bajos, mientras que en los mesocosmos los valores aumentaron a los 7 días del experimento. PC y SC se comportan de manera similar mostrando una disminución en la visibilidad los días 21 y 28 (Fig.10).

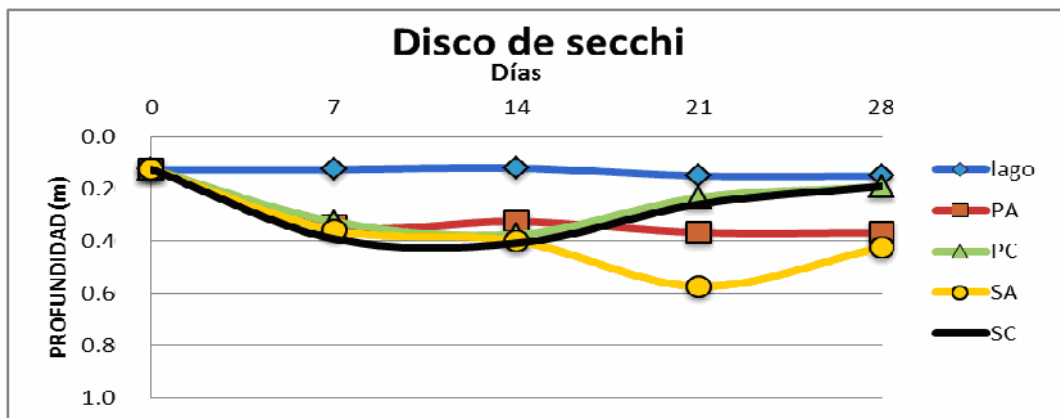


Figura 10. Promedios de visibilidad registrados por el disco de Secchi durante el el experimento en los mesocosmos y en el lago.

La medición de este parámetro es importante porque podemos saber hasta que profundidad penetra la luz en la columna de agua y esto es influenciado por la cantidad de partículas en suspensión, pigmentos disueltos y las propias características del agua (citado por Moyá y Ramón, 1987), siendo que la luz es indispensable para la realización de la fotosíntesis.

El valor promedio de transparencia en el lago durante las semanas de experimentación fue de 0.13 m, valor que concuerda con los registrados por Fernández (2004) en este mismo lago (Tezozomoc) durante el mes de agosto y septiembre del 2000 en el que oscilaron de 0.11-0.28 m. En relación con el aumento de transparencia en los mesocosmos en comparación con el lago, Van Donk *et al.* (1994) ya había observado este comportamiento dentro de la columna de agua de mesocosmos instalados en un lago eutrófico de Holanda a causa de la reducción en la resuspensión.

## Nutrientes

### Fósforo total

Las concentraciones de fósforo total (P-PO<sub>4</sub>) en los mesocosmos y en el lago durante la temporada de lluvias oscilaron entre 0.95 y 3.175 mg L<sup>-1</sup>. Los mesocosmos abiertos (PA y SA) registraron las concentraciones más altas. En PA el fósforo total aumentó conforme avanzó el experimento, en comparación con el lago en donde las concentraciones se mantuvieron (Fig.11 y Anexo 1).

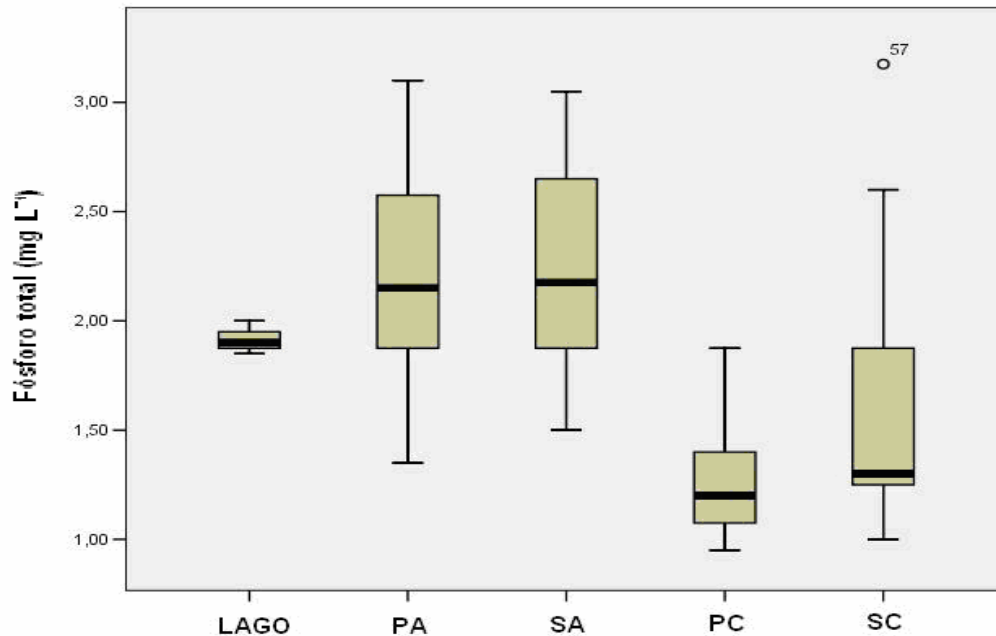


Figura 11. Diagrama de caja y bigote con las concentraciones de fósforo total de los mesocosmos y del lago (datos extremos<sup>o</sup>).

El análisis estadístico de ANOVA, aplicado a las concentraciones de PT, arrojó diferencias significativas entre las concentraciones de fósforo del lago y las de los mesocosmos (F=9.127 P=0.000), de igual manera entre sistemas cerrados y abiertos (F=29.752 P=0.000) y no se encontraron diferencias entre los tratamientos con peces y sin peces (F=1.163 y P=0.285).

Las diferencias significativas en las concentraciones de PT del lago y de los mesocosmos puede deberse a que en el lago las corrientes acuáticas provocadas por el viento ayudan a renovar y distribuir este nutriente en la columna de agua, mientras que las diferencias entre los sistemas abiertos (PA y SA) con los cerrados (PC y SC), puede estar influenciada por el contacto directo con el sedimento, ya que se liberan compuestos conformados por fósforo, (De Vicente y Cruz-Pizarro, 2003, Horne y Goldman, 1994).

Al comparar las concentraciones del fósforo total durante la temporada de lluvias en lago Tezozomoc con las del Lago viejo de Chapultepec donde se registraron valores de 0.68-2.30 mg L<sup>-1</sup> (Alcocer *et al.* 1998), concentraciones parecidas a las de Tezozomoc. En otro estudio realizado de 1977 a 1981 en el lago Valencia de Venezuela (lago hipertrófico) se obtuvo un valor mínimo de 2.89 mg L<sup>-1</sup> y un máximo de 5.31 mg L<sup>-1</sup> (Lewis y Webezahn, 1983).

## Nitrógeno total

Las concentraciones de nitrógeno total (N-NO<sub>3</sub>), presentaron fluctuaciones de 3.06 a 10.71 mg L<sup>-1</sup>. Los valores más altos se registraron en el lago, pero la prueba estadística de ANOVA reveló que no existen diferencias significativas entre las concentraciones de nitrógeno total de los mesocosmos y el lago (F=2.0516), de igual manera entre sistemas abiertos y cerrados (F=0.887) y entre tratamientos con peces y sin peces (F=0.644), resultando valores de P>0.05 para todos los casos (Fig.12 y Anexo 1).

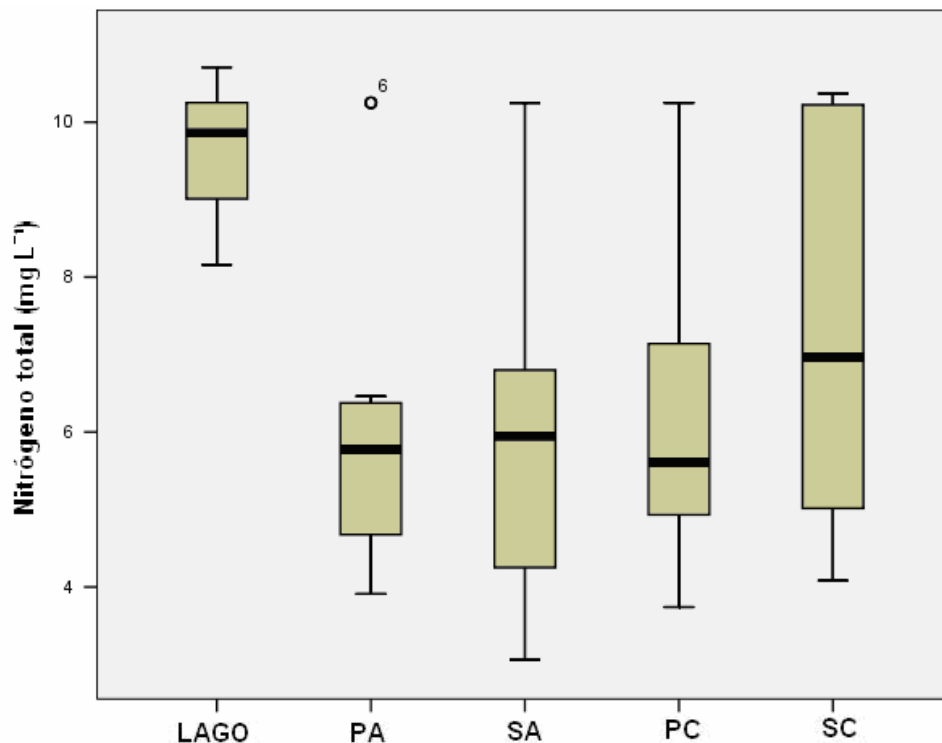


Figura 12. Diagrama de caja y bigote con las concentraciones de nitrógeno total de los mesocosmos y del lago (datos extremos<sup>o</sup>).

En el caso de los valores más altos de nitrógeno total en el lago puede deberse a que hay una mayor recirculación de los nutrientes, es decir, debido a la acción de los vientos e ingreso de agua proveniente de la planta de tratamiento del Rosario, así como la de lluvias, provoca que se formen corrientes que

ayudan a la distribución y liberación de compuestos nitrogenados que se generan por la descomposición de la materia orgánica que se da en los sedimentos (Gama *et al.* 2010).

Por otra parte Lewis y Webezahn (1983) en el lago Valencia de Venezuela registraron concentraciones de nitrógeno total que oscilaron de 6.42 a 27.36 mg L<sup>-1</sup>. Por otra parte Xu *et al.* (2010) en un lago polimítico de China, registraron concentraciones máximas de hasta 9.48 mg L<sup>-1</sup> de NT, pudiéndose deber a que el lago Taihu en China es de origen natural con una amplia superficie, aunque poco profundo (2 m) que a su vez sirve como depósito de residuos urbanos y de los sectores agrícolas e industriales, en estos estudios se puede observar que los lagos hipertróficos presentan concentraciones elevadas de nitrógeno total, coincidiendo con las de registradas en el Tezozomoc durante la temporada de lluvias.

## Clorofila a

Los valores en las concentraciones de la clorofila a variaron de 5.184 a 155.133  $\mu\text{g L}^{-1}$  tanto en los mesocosmos como en el lago (Fig.13 y Anexo 1), en este último, la clorofila a se mantuvo constante durante el experimento, caso contrario, se presentó en los mesocosmos, en donde las concentraciones disminuyeron, sin embargo, la clorofila a en SC alcanzó el pico más alto a los 14 días, aunque en los días posteriores vuelve a disminuir, mientras que el análisis estadístico de ANOVA, solamente encontró diferencias significativas entre el lago y los mesocosmos con valores de  $F=3.351$  y  $P=0.015$ .

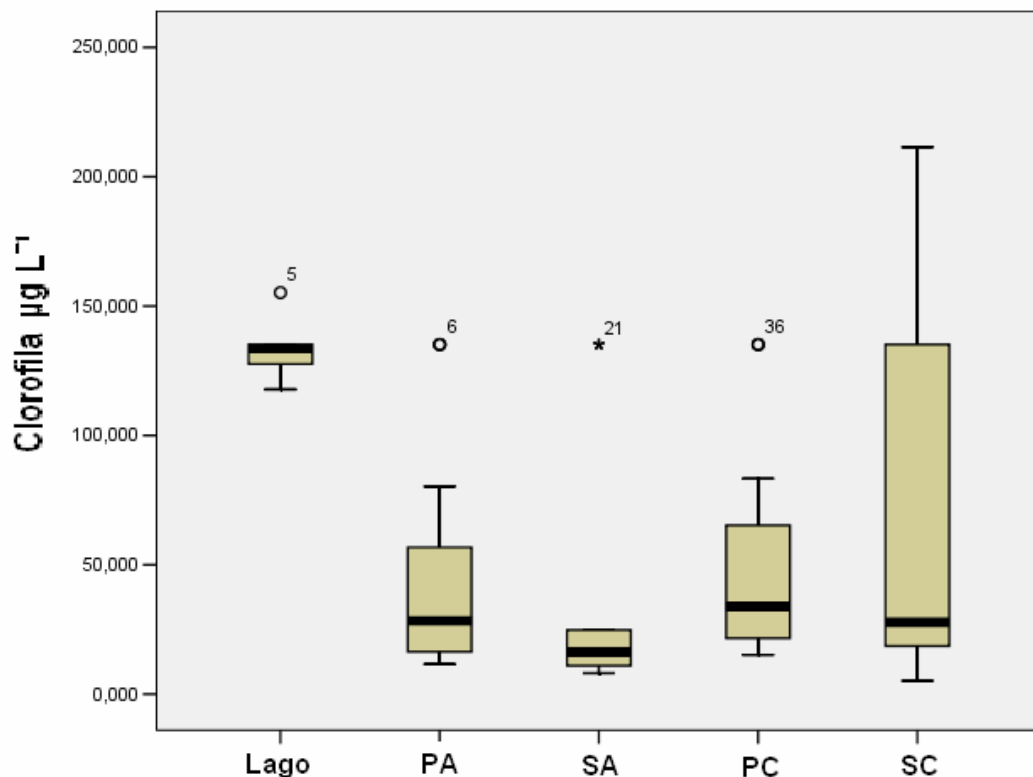


Figura 13. Diagrama de caja y bigote de clorofila a en los mesocosmos y en el lago (datos extremos  $\circ$  \*).



La medición de la clorofila *a* en estudios limnológicos es importante porque facilita la información sobre la actividad fotosintética y estado trófico del lago, teniendo una estrecha relación con el oxígeno disuelto, pH y disco de Secchi.

Con respecto a las concentraciones de clorofila *a* registradas en el lago Tezozomoc durante la temporada de lluvias, se muestran inferiores a las reportadas por Oliva-Martínez *et al.* (2008) en este mismo lago, variando de 200-295  $\mu\text{g L}^{-1}$ , esta disminución puede explicarse por la dilución del fitoplancton a causa de las lluvias y esto puede ser confirmado con el estudio de Morlan (2010) en el que registro un valor de hasta 364.8  $\mu\text{g L}^{-1}$  en la época de sequía de este lago.

En el lago viejo de Chapultepec tambien se observó este comportamiento, ya que la temporada de sequía registro los valores más altos en comparación con la de lluvias, obteniendo un promedio de 542 y 403  $\text{mg m}^{-3}$  ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) respectivamente, aunque los valores de clorofila *a* son mayores a los del Tezozomoc y esto puede deberse a que el lago viejo de Chapultepec tiene una superficie más grande y porque la alimentación de este lago proviene de tres fuentes, el río Hondo, la planta de tratamiento de Chapultepec y pequeñas descargas de agua cruda (aguas negras sin tratar) de locales comerciales asentados en la periferia (Alcocer *et al.* 1988) afectando la carga de nutrientes y por tanto ayudo al desarrollo de las especies fitoplanctónicas, mientras que en el lago Tezozomoc su principal fuente es la planta de tratamiento del Rosario.

Por otra parte, Van Donk *et al.* (1994) en su estudio realizado en un lago eutrófico de Holanda, de nueva cuenta demuestra que hay una disminución en las concentraciones de clorofila *a* dentro de los mesocosmos en comparación a las del lago, a causa de la reducción en la resuspensión, patrón que concuerda con los resultados observados en las concentraciones de clorofila *a* de este trabajo (Anexo 1).

## **Fitoplancton**

En los mesocosmos y en el lago se encontraron un total de 43 especies durante la temporada de lluvias del 2010 (Tabla 1), que al compararlas con las 50 registradas por Oliva-Martínez *et al.* (2008) durante un ciclo anual en el mismo lago, se observan diferencias en el número de especies y puede deberse al periodo de tiempo y época que maneja cada trabajo.

Otro factor importante es la sucesión estacional que puede presentarse en las poblaciones de fitoplancton, incrementando o disminuyendo la biomasa y el número de especies por influencia de los factores ambientales (Montes *et al.* 2006), lo que provocaría que algunas especies de fitoplancton desaparezcan o estén presentes en periodos específicos de tiempo. De igual manera el proceso de eutrofización con el paso del tiempo tiene por consecuencia la reducción de la diversidad (Fontúrbel, 2008), así como el aumento en la abundancia de las especies mejor adaptadas.

Las especies encontradas en el lago urbano Tezozomoc han sido registradas en otros estudios realizados en lagos considerados eutróficos a hipertroficos como el de Ortega-Mayagoitia y Rojo (2000), Tavera *et al.* (2000); Komárek y Komárková-Legnerová (2002); Bort *et al.* (2005); Ehrenhaus y Vigna (2006), Moreno-Casasola (2006), Novoa *et al.* (2006); Tas y Gonulol (2007) y su presencia puede estar favorecida por la reproducción asexual que presentan, ayudando a que sus poblaciones crezcan y sobrevivan en estas condiciones, algunas son consideradas como cosmopolitas (Comas, 1996, Komárek, 1999).

El grupo algal que predominó fue el de Chlorophyta con 27 especies, seguido de Cyanobacteria con 7 especies, 4 Bacillariophyta, 2 de Euglenophyta y 1 especie en los grupos de Pyrrophyta, Cryptophyta y el picofitoplancton (Fig.14). Las clorofitas fueron el grupo con más especies fitoplanctónicas, lo cual, concuerda con otros estudios como el de Vila *et al.* (1987), Bort (*op cit.*) y Oliva-Martínez (*op cit.*), en el que también más de la mitad de los taxa registrados pertenecen a este grupo.

## Porcentaje de los grupos algales

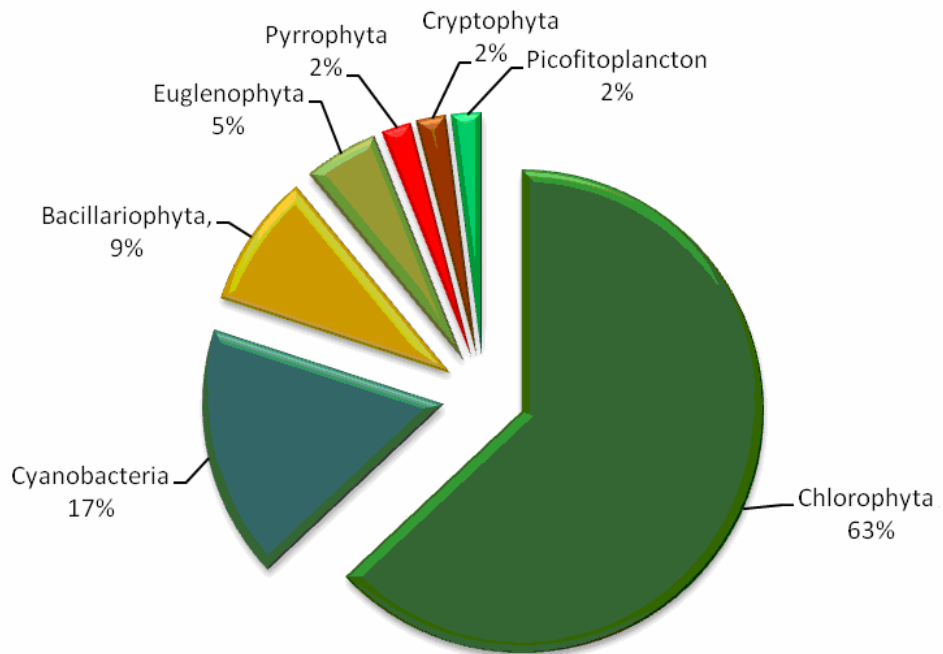


Figura 14. Porcentajes que representan a cada uno de los grupos algales que se encontraron en el lago Tezozomoc durante la temporada de lluvias.

Tabla 1. Lista de las especies fitoplanctónicas presentes en el lago del parque Tezozomoc durante la temporada de lluvias.

<b>Especies de fitoplancton</b>
<b>División Chlorophyta</b>
1. <i>Schroederia setigera</i> (Schröed) Lemmermann
2. <i>Golenkinia radiata</i> Chodat
3. <i>Pediastrum boryanum</i> (Turpin) Meneghini
4. <i>Micractinium pusillum</i> Fresenius
5. <i>Oocystis</i> sp. Nägeli ex Braun
6. <i>Kirchneriella lunaris</i> (Kichner) Möbius
7. <i>Kirchneriella obesa</i> (West) Schmidle
8. <i>Monoraphidium caribeum</i> Hindàk
9. <i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Kormàrková-Legnerová
10. <i>Monoraphidium irregulare</i> (Smith) Kormàrková-Legnerová
11. <i>Tetraedron minimum</i> (Braun) Hansgirg
12. <i>Tetraedron triangulare</i> Korshikov
13. <i>Coelastrum pseudomicroporum</i> Korshikov
14. <i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Chodat
15. <i>Scenedesmus acuminatus</i> var. <i>alternans</i> Svirenko
16. <i>Scenedesmus opoliensis</i> Richter
17. <i>Scenedesmus protuberans</i> Fritsch et Richter
18. <i>Scenedesmus dimorphus</i> (Turpin) Kützing
19. <i>Scenedesmus quadricauda</i> var. <i>longispina</i> (Chodat) Smith
20. <i>Scenedesmus quadricauda</i> var. <i>maximus</i> West & West
21. <i>Scenedesmus quadricauda</i> var. <i>quadricauda</i> (Turpin) Brébisson
22. <i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim
23. <i>Chlamydomonas globosa</i> Snow
24. <i>Chlorogonium minimum</i> Playfair
25. <i>Pteromonas angulosa</i> (Carter) Lemmermann
26. <i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg
27. <i>Pandorina morum</i> (Müller) Bory de Saint-Vincent
<b>División Euglenophyta</b>
28. <i>Euglena</i> sp. Ehrenberg
29. <i>Monomorpha pyrum</i> (Ehrenberg) Mereschkowsky
<b>División Pyrrophyta</b>
30. <i>Glenodinium pulvisculus</i> (Ehrenberg) Stein
<b>División Cryptophyta</b>
31. <i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg
<b>División Cyanobacteria</b>
32. <i>Merismopedia punctata</i> Meyen
33. <i>Microcystis flosaquae</i> (Wittrock) Kirchner
34. <i>Microcystis aeruginosa</i> Kützing
35. <i>Spirulina major</i> Kützing
36. <i>Pseudanabaena limnetica</i> (Lemmermann) Komárek

37. *Anabaena spiroides* Klebahn

38. *Anabaenopsis* sp. Miller

**División Bacillariophyta**

39. *Cyclotella meneghiniana* Kützing

40. *Gomphonema* sp. Ehrenberg

41. *Navicula* sp. Bory de Saint-Vincent

42. *Nitzschia* sp. Hassall

43. Picofitoplancton

## **Especies dominantes del fitoplancton**

Las gráficas de frecuencia *versus* abundancia (Figs.15-19) reflejan que la mayoría de las especies encontradas durante el estudio se distribuyen en las categorías de Dominantes y Raras, mientras que en el trabajo de Oliva-Martínez *et al.* (2008) fueron Constantes y Raras, lo que puede estar relacionado de nueva cuenta a los periodos de duración de cada trabajo y a la influencia de los factores abióticos.

En el lago se determinaron 17 especies dominantes, 14 raras, 7 constantes y 5 temporales; PA presentó 19 dominantes, 17 raras, 4 temporales y 3 constantes; en PC 15 dominantes, 14 raras, 8 temporales y 6 constantes, SA registró 19 dominantes, 20 raras y 4 temporales, por último en SC 18 especies tanto dominantes como raras, 2 temporales y 5 constantes (Anexo 2).

Las especies dominantes que coincidieron en los tratamientos bajo condiciones de mesocosmos y en el lago fueron: *Golenkinia radiata*, *Kirchneriella obesa*, *Scenedemus dimorphus*, *S. quadrispina* var. *longispina*, *Chlamydomonas globosa*, *Pteromonas angulosa*, *Cryptomonas ovata*, *Merismopedia punctata*, *Microcystis flosaquae*, *Spirulina major* y *Anabaena spiroides* (Fig.20, Tabla 2 y Anexo 2).

La dominancia de *Microcystis flosaquae* concuerda con algunos trabajos donde se muestra que este género predomina en condiciones hipertróficas con la presencia de sus grupos codominantes como *Anabaena* y *Cryptomonas* (Reynolds, 1980 y 1998), confirmando de nueva cuenta este patrón en lago Tezozomoc. Para *C. globosa* y *M. punctata* se corrobora su dominancia en el trabajo de Oliva-Martínez *et al.* (*op cit.*), en este mismo trabajo se señala que *G. radiata* y *C. ovata* presentaron densidades importantes. *K. obesa* ha sido considerada como una especie con alta densidad en los lagos Tatlı, Gıç y Liman en Turquía (Maraşlıoğlu *et al.* 2011), además en estudios anteriores de este mismo país se observó que las especies del género *Scenedesmus* fueron reportadas como dominantes en el lago Cernek (Tas y Gonulol, 2007).para *Pteromonas*, está el trabajo de Ortega-Mayagoitia y Rojo (2000).

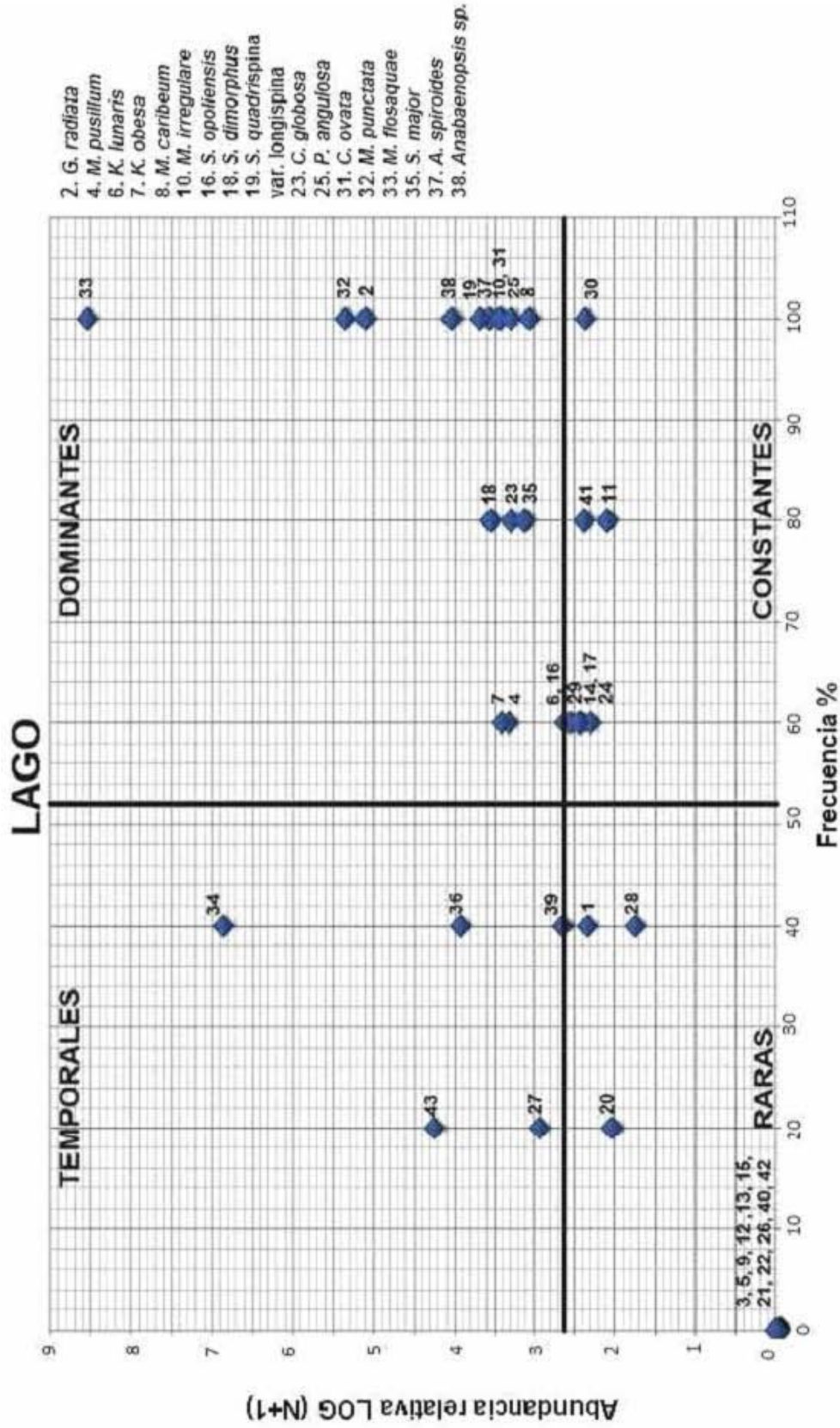


Figura 15. Categorización (conforme a García, 1988) de las especies fitoplanctónicas presentes en el lago durante la temporada de lluvias.



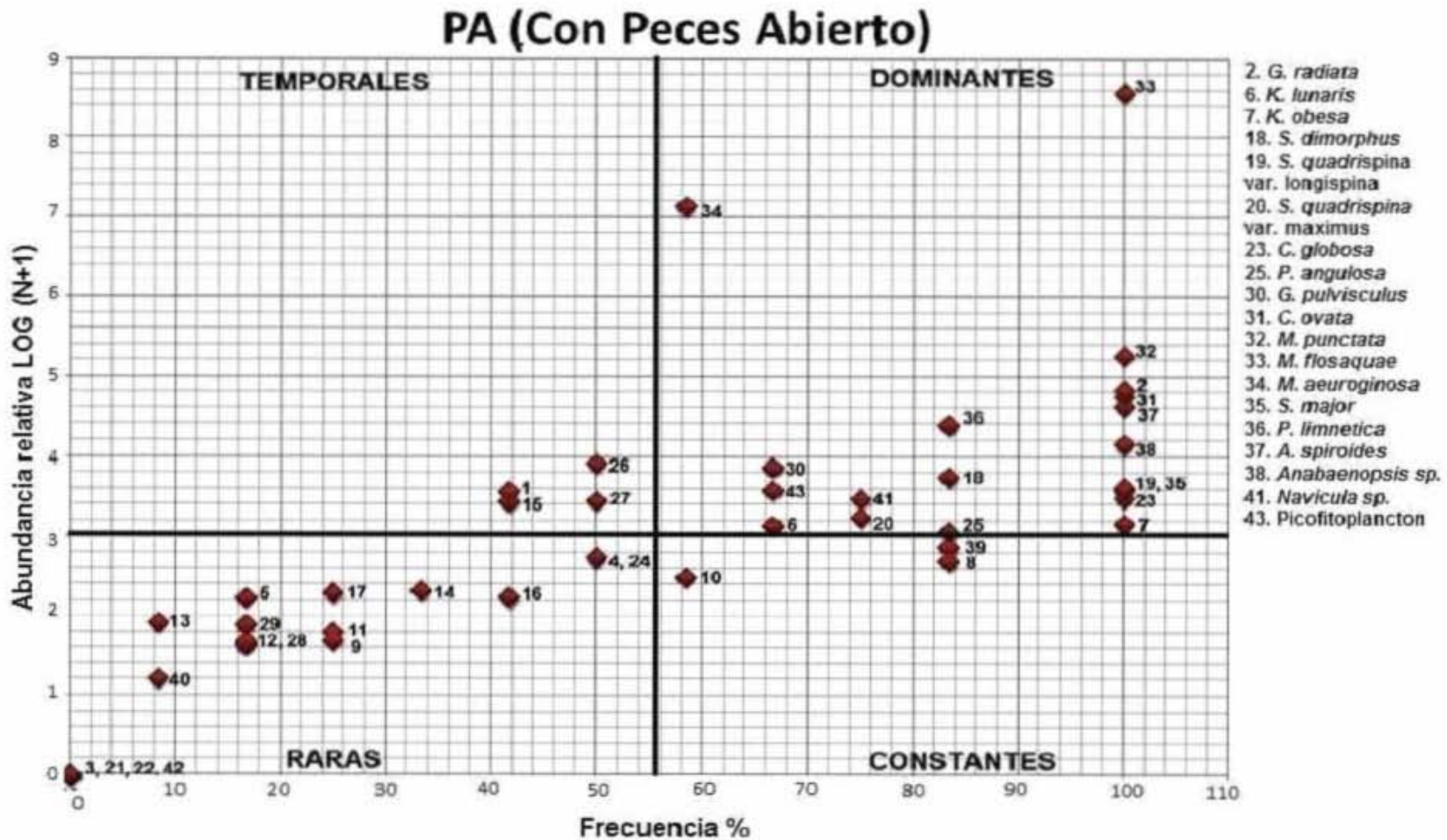


Figura 16. Categorización (conforme a García, 1988) de las especies fitoplanctónicas presentes en PA durante la temporada de lluvias.



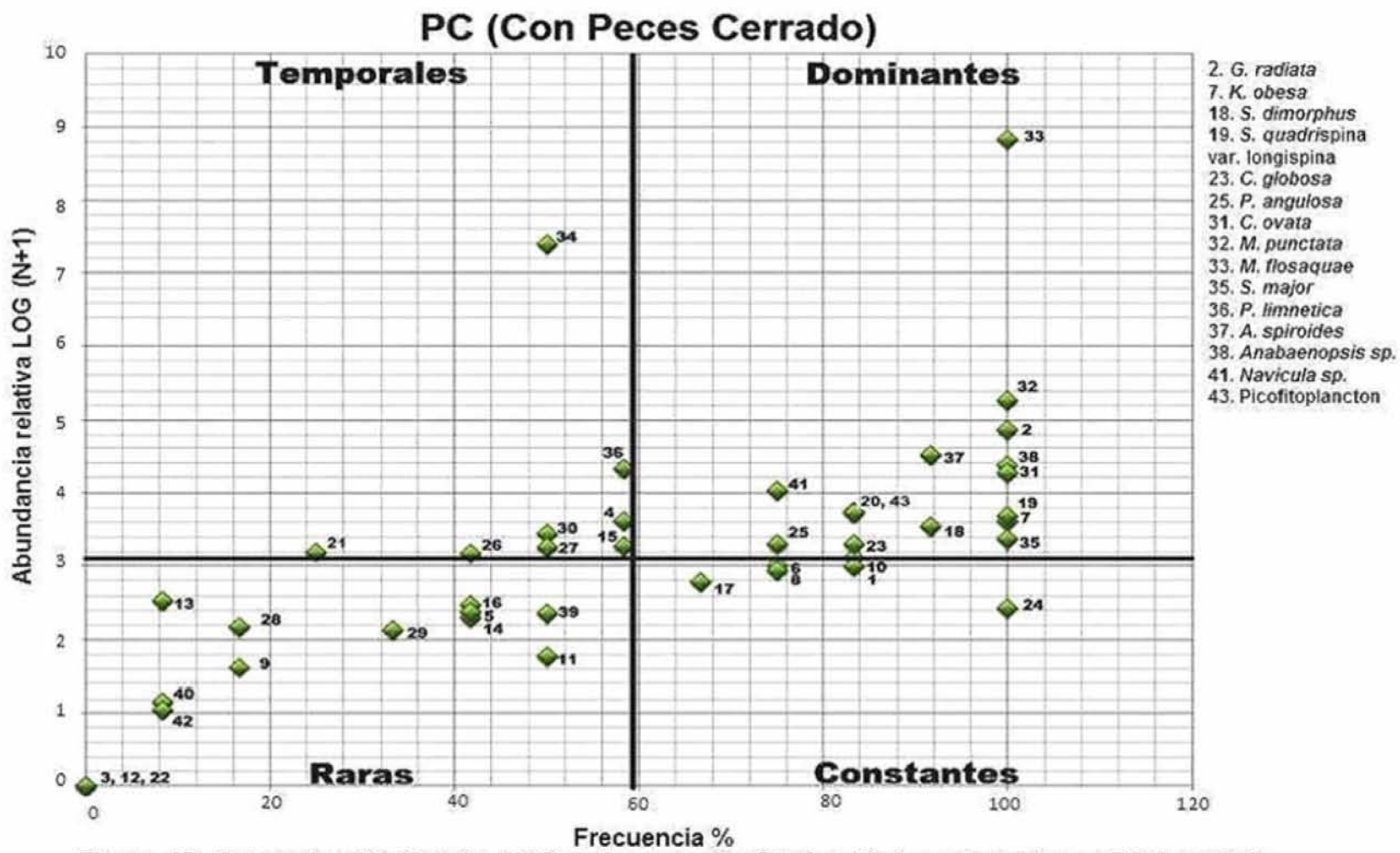


Figura 17. Categorización (García, 1988) de las especies fitoplanctónicas presentes en PC durante la temporada de lluvias.

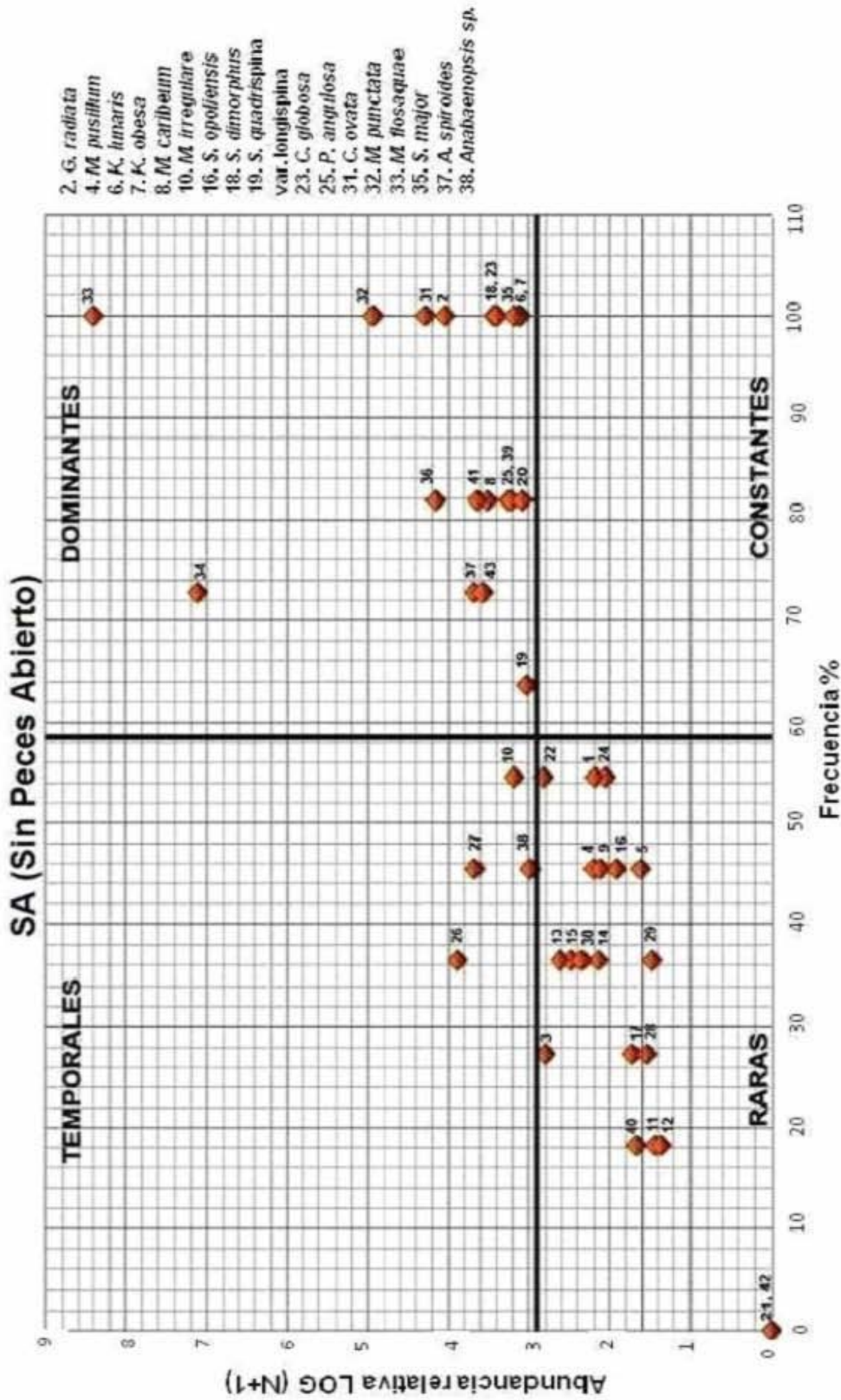


Figura 18. Categorización (García, 1988) de las especies fitoplanctónicas presentes en SA durante la temporada de lluvias.

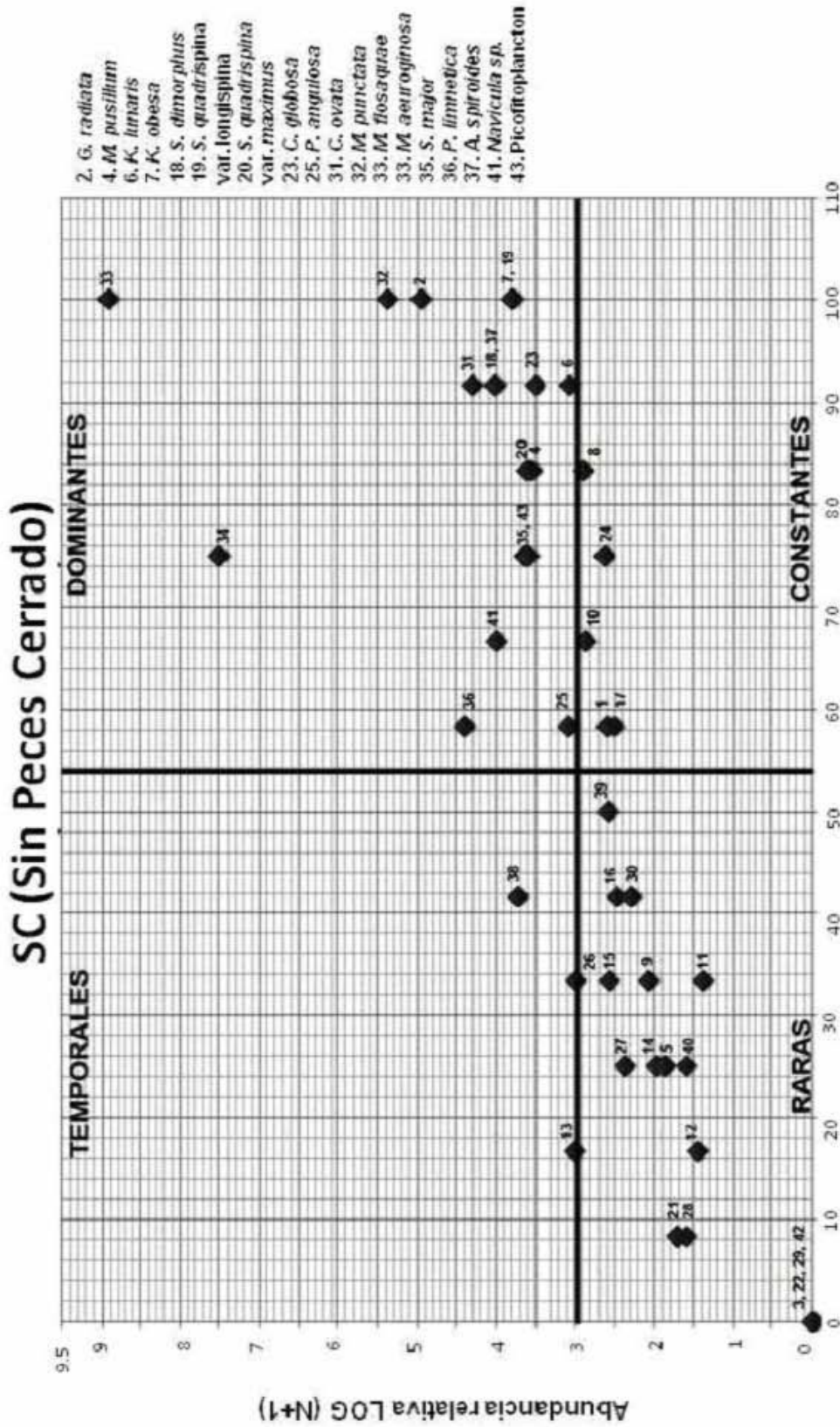


Figura 19. Categorización (García, 1988) de las especies fitoplanctónicas presentes en SC durante la temporada de lluvias.



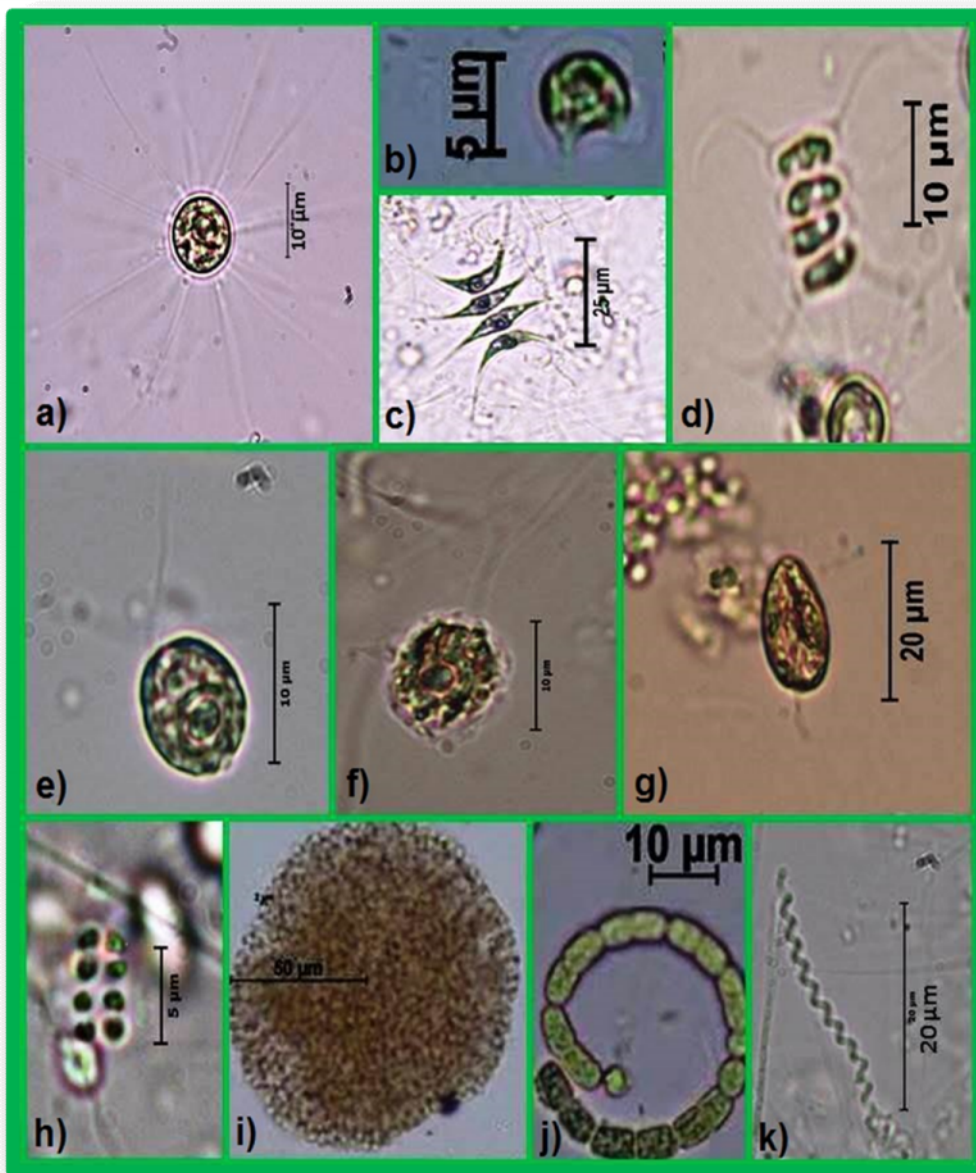


Figura 20. Especies dominantes en la temporada de lluvias a) *Golenkinia radiata*, b) *Kirchneriella obesa*, c) *Scenedemus dimorphus*, d) *S. quadrispina* var. *longispina*, e) *Chlamydomonas golobosa*, f) *Pteromonas angulata*, g) *Cryptomonas ovata*, h) *Merismopedia punctata*, i) *M. flosaquae*, j) *Anabaena spiroides*, y k) *Spirulina major*.

Tabla 2. Densidad promedio de las especies dominantes en el lago y en los tratamientos bajo condiciones de mesocosmos en la temporada de lluvias.

Especies dominantes Tratamientos	LAGO	PA	PC	SA	SC
<i>Golenkinia radiata</i> (cels ml <sup>-1</sup> )	126,364	64,769	74,549	11,147	91,309
<i>Kirchneriella obesa</i> (cels ml <sup>-1</sup> )	2,537	1,442	4,062	1,369	6,250
<i>Scenedemus dimorphus</i> (cels ml <sup>-1</sup> )	3,532	5,480	3,452	2,544	10,312
<i>S. quadrispina</i> var. <i>longispina</i> (cels ml <sup>-1</sup> )	4,748	3,704	4,812	1,060	6,384
<i>Clamydomonas globosa</i> (cels ml <sup>-1</sup> )	1,953	3,028	1,970	2,788	3,215
<i>Pteromonas angulata</i> (cels ml <sup>-1</sup> )	1,912	1,123	2,030	1,678	1,214
<i>Cryptomonas ovata</i> (cels ml <sup>-1</sup> )	2,811	54,980	18,220	19,253	19,630
<i>Merismopedia punctata</i> (cels ml <sup>-1</sup> )	221,628	180,372	183,024	88,036	242,208
<i>Microcystis flosaquae</i> (cels ml <sup>-1</sup> )	346,762,559	358,954,859	667,373,090	250,153,142	841,051,036
<i>Anabaena spiroides</i> (cels ml <sup>-1</sup> )	3,672	40,680	32,232	4,704	10,536
<i>Spirulina major</i> (filamentos ml <sup>-1</sup> )	1,296	4,058	2,382	1,545	4,372

La dominancia de estas 11 especies puede estar influenciada por las estrategias adaptativas que presentan cada una de ellas, tal es el caso de *G. radiata* y *S. quadrispina* var. *longispina* que poseen espinas que reducen las tasas de hundimiento (Reynolds, 2006) y pueden servir como defensa en contra de los depredadores, además, esta última especie junto con *S. dimorphus* forman cenobios (por lo general de 4 células) con un alto grado de polimorfismo, estos cambios fenotípicos pueden ser una respuesta a señales asociadas con la presencia de un depredador y a las condiciones ambientales adversas (Henssen y Van Donk, 1993, Van der Stap *et al.* 2007).

La dos especies de *Scenedesmus* así como *K. obesa* y *M. punctata* comparten la característica de ser de tamaño pequeño, de igual manera los filamentos de *Spirulina major* (ya que no se logró observar la división entre las células vegetativas), esta cualidad es un factor importante porque el rango en el tamaño de las presas, con las cuales un depredador puede potencialmente alimentarse, esta limitada por la capacidad del depredador para capturar y manejar la presa, así como su capacidad para detectarla (Lundvall *et al.* 1999).

*C. globosa*, *P. angulosa* y *C. ovata*, tienen la capacidad de desplazarse por toda la columna de agua para poder realizar la fotosíntesis y poder huir de sus depredadores ya que poseen flagelo, para *C. ovata* también se ha reportado la formación de quistes en condiciones ambientales desfavorables.

En el caso de las Cianobacterias, su dominancia puede estar relacionada porque presentan vesículas de gas o aerotopos que ayudan a regular la flotabilidad (Komárek, 1999), en conjunto con los ficobilisomas que son complejas estructuras extratilacodales que captan más eficientemente la energía luminosa que otras microalgas, ya que cuentan con distintos pigmentos como la ficocianina, ficoeritrina y aloficocianina, acaparando un intervalo más amplio de absorción del espectro de luz visible (Lanzarot, 2007), además se sabe que aunque las cianobacterias sean consumidas por peces, son poco digeridas y pobremente asimiladas (Moreno-Casasola, 2006), aunado a su potencialidad para producir toxinas.

Morfológicamente *A. spiroides* puede formar estructuras especializadas como heterocitos que permiten la fijación de nitrógeno en condiciones anaerobias y los acinetos que son estructuras de resistencia, que aparecen cuando las condiciones ambientales son desfavorables (Wayne, 1995). *M. flosoquae*, la especie con mayor número de organismos, tanto en los mesocosmos como en el lago, puede deber su alta densidad y su presencia a su rápida reproducción (fragmentación de colonias) que puede ser beneficiada por la mezcla provocada por las lluvias, aireadores y por la naturaleza del lago (polimíctico), de igual manera, su organización en colonias o filamentos (como *A. spiroides*) rodeados de mucílago tiende a reducir la presión del pastoreo por depredadores, aunado a que los protege de patógenos (Scheffer, 1998)

Por otra parte, se observó que *Kirchneriella lunaris*, *Monoraphidium caribeum*, *Scenedesmus quadrispina* var. *maximus*, *Microcystis aeuroides*, *Pseudanabaena limnetica*, *Navicula* sp. y el picofitoplancton presentaron densidades importantes (sin llegar a ser dominantes), lo que puede ser explicado por sus características y estrategias similares a las especies dominantes para permanecer en la columna de agua (Kruk *et al.* 2010).

Algunas especies también mostraron comportamientos particulares como la disminución de su abundancia, tal es el caso de *Scenedesmus protuberans* y *Chlorogonium minimum* que ocurrió en los sistemas abiertos (PA y SA), una explicación, puede ser por que en estos mesocosmos se registraron los valores más bajos de temperatura (en la superficie), oxígeno disuelto y pH junto con las concentraciones más altas de fósforo total, esto puede ser confirmado con el trabajo de Oliva-Martínez *et al.* (2008) en el que menciona que la presencia de *C. minimum* está asociada principalmente con los valores más bajos de temperatura y nutrientes, mientras que *S. protuberans* al ser una especie de tamaño relativamente grande, necesita más cantidad tanto de nutrientes como de luz para sobrevivir por lo que su densidad disminuyó en los sistemas abiertos.

Para *Cyclotella meneghiniana* se observó la disminución de su abundancia en los sistemas cerrados (PC y SC) lo que puede estar asociado con las concentraciones más bajas de fósforo total que se registraron en estos sistemas, concordando con el trabajo de Wunsam *et al.* 1995 que correlaciona positivamente el fósforo total con *Cyclotella*.

*Scenedesmus acuminatus* var. *alternans* (*Acutodemus acuminatus* var. *alternans*), *Anabaenopsis* sp. y *Glenodinium* cf. *pulvisculus* su disminución ocurrió en los sistemas sin peces (SA y SC) y puede ser causado por la presencia de algún otro depredador que sirva como estímulo para que estas se desarrollen de mejor manera, lo cual es ejemplificado en el estudio de Henssen y Van Donk (1993) donde observaron la formación de cenobios en cultivos de *Scenedesmus*, al someterlos a depredación por *Daphnia*, permitiendo a estos organismo mantener su población.

La selectividad de presas por los depredadores también puede influir en que algunas especies de fitoplancton sean favorecidas o afectadas explicando el aumento de *G. cf. pulvisculus* en los tratamientos con peces (PA y PC), ya que es una especie móvil, formadora de quistes y presenta testa, lo que dificulta tanto la captura como su consumo al depredador y resiste las condiciones ambientales desfavorables (Ortegón *et al.* 2011), mientras que *Anabaenopsis* sp. al ser un filamento de tamaño relativamente grande pero sin una gran calidad nutritiva que forma acinetos y por su potencialidad de producir toxinas puede provocar que los depredadores las eviten y resistir condiciones adversas.

En el caso de *Scenedesmus quadrispinus* var. *maximus*, *Navicula* sp y el picofitoplancton sus poblaciones incrementaron solamente en los mesocosmos, y puede estar ligado a que en estos sistemas aumentó la visibilidad en el disco de Secchi por la disminución de la resuspensión y en el caso de *Navicula* sp pudo haber servido como sustrato.



Caso contrario ocurrió con *Scenedesmus acuminatus*, *S. opoliensis*, *Tetraedrum minimum* y *Monomorphina pyrum*, en el que su densidad disminuyó considerablemente en los mesocosmos probablemente por la disminución en la resuspensión, proceso que en el lago es favorecido por la acción de los vientos provocando una mejor distribución de los nutrientes, además que se sabe que estos organismos prefieren sistemas altamente enriquecidos (Reynolds *et al.* 2002, Soylyu y Gönülol, 2010).

### **Análisis estadístico de ANOVA del fitoplancton**

En el lago se registró un promedio de  $7.1 \times 10^7$  organismos  $\text{mL}^{-1}$ , PA y SA  $1 \times 10^7$  y  $2.4 \times 10^7$  org  $\text{mL}^{-1}$  respectivamente, el tratamiento PC  $5.8 \times 10^7$  org  $\text{mL}^{-1}$  y SC presentó  $7.3 \times 10^7$  organismos  $\text{mL}^{-1}$ . Estas abundancias fitoplanctónicas revelaron que los sistemas cerrados presentaron una mayor cantidad de org  $\text{mL}^{-1}$  en comparación con los sistemas abiertos y más específicamente el tratamiento SC, que tuvo una mayor densidad de organismos.

Aplicando la prueba estadística de ANOVA a las abundancias fitoplanctónicas del lago y de los tratamientos, se obtuvo un valor de  $F=10.294$  ( $P=0.000$ ), mientras que al comparar sistemas abiertos (PA y SA) y cerrados (PC y SC) resultó un valor de  $F=10.701$  ( $P=0.000$ ), por lo tanto, en ambos casos existen diferencias significativas (Fig.21) y no se encontraron diferencias significativas entre sistemas con peces y sin peces ( $P>0.05$ ).

Estos resultados demuestran que el control ascendente, es decir, la liberación de nutrientes que se da de los sedimentos, así como la carga de agua tratada hacia la columna de agua en conjunto con los elementos abióticos, son los principales factores que influyen sobre los cambios de la comunidad fitoplanctónica, ya que cuando estos organismos están expuestos a la presencia de *P. reticulata*, no mostraron estadísticamente que este pez consuma al fitoplancton.

Lo anterior se confirma en un estudio similar a este trabajo pero realizado en Europa donde se obtuvo que la biomasa de fitoplancton responde principalmente a la carga de nutrientes y no a la depredación de peces (Van de Bund *et al.* 2004). Estos cambios en las densidades del fitoplancton utilizando mesocosmos, han sido reportados por Van Donk *et al.* (1994) al probar medidas de restauración en un lago eutrófico de Holanda, observó que tanto la reducción de peces como de la resuspensión del sedimento (para disminuir la cantidad de nitrógeno y fósforo que se liberan de estos dos factores) provocó que la cantidad de clorofila *a* disminuyera coincidiendo también con el estudio de Crossetti y Bicudo (2005) usando estas unidades experimentales

(mesocosmos) reportan que el empobrecimiento de nutrientes causa la reducción de la densidad algal.

Por su parte Feresin *et al.* (2010), encontró que la productividad primaria del fitoplancton no estuvo influenciada por la depredación de zooplancton y que la excreción de peces planctívoros la aumentó, por lo que los factores bióticos tuvieron un rol secundario en la productividad primaria.

En cuanto a la alimentación de *P. reticulata*, se sabe que es omnívoro, lo que significa que es capaz de alimentarse de los diferentes recursos que provee el sistema acuático, explicando estadísticamente la nula influencia del pez sobre la comunidad fitoplanctónica, siendo comprobado en el trabajo de Arzate (2002) en el que demostró que el pez consume hasta 40 tipos de organismos.

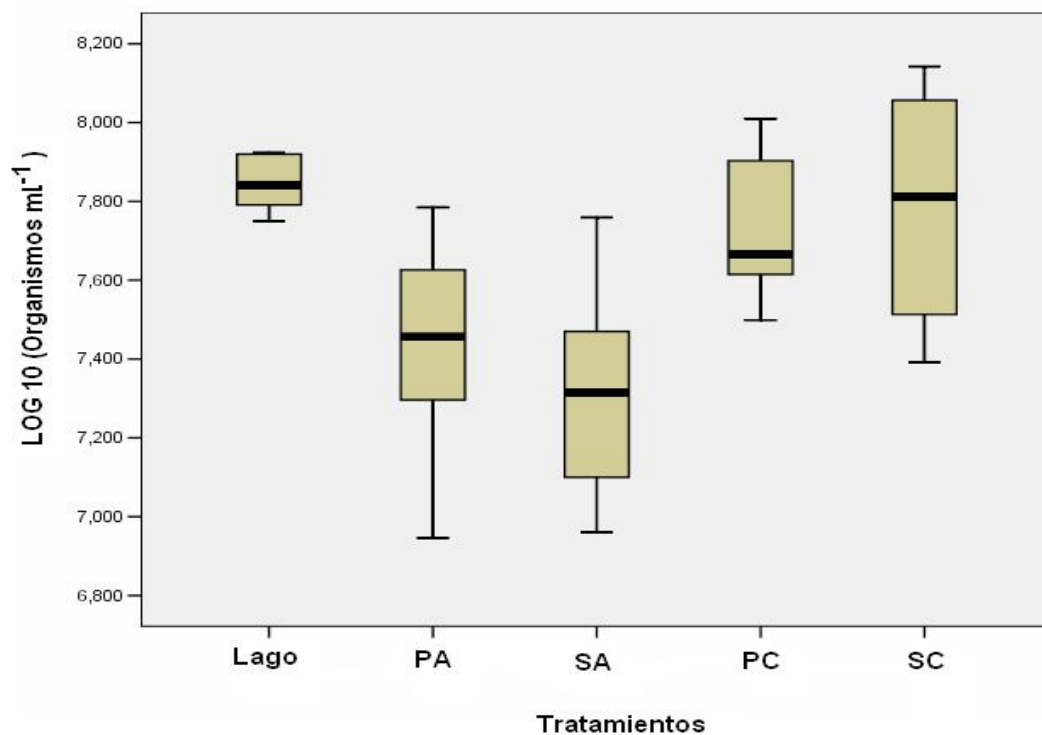



Figura 21. Diagrama de caja y bigote de las densidades fitoplanctónicas de los tratamientos bajo condiciones de mesocosmos y del lago durante la temporada de lluvias.

## **Peces**

Como se mencionó en la metodología se utilizaron 5 machos y 5 hembras de *P. reticulata* para los tratamientos con peces (PA y PC), sin embargo se observó un aumento de estos organismos en los mesocosmos (Tabla 3), lo que puede estar relacionado a la biología del pez, ya que una sola hembra puede presentar diferentes grados de desarrollo en una condición conocida como superfetación, esto es posible debido a que son capaces de almacenar esperma hasta por 8 meses con un periodo de gestación de entre 20 y 30 días (Botello, 2002).

Tabla 3. Densidades de *P. reticulata* al final del experimento en los mesocosmos con peces durante la temporada de lluvias.



PA	Machos	Hembras	Alevines
Repetición 1	5	5	26
Repetición 2	3	5	14
Repetición 3	21	5	30
PC			
Repetición 1	4	5	22
Repetición 2	5	2	22
Repetición 3	2	4	11

## **Correlación de Pearson**

Para las correlaciones entre las especies dominantes de fitoplancton, parámetros ambientales, nutrientes, clorofila *a* y zooplancton se tomó en cuenta principalmente los valores de  $P < 0.05$ , con el fin de observar de manera indirecta las tendencias que persisten en el lago urbano Tezozomoc durante la temporada de lluvias (Tabla 4 y 5).

La tendencia negativa entre *M. flosaquae* y el disco de Secchi (DS) se explica porque es la especie más abundante del fitoplancton actuando como partículas en suspensión que a su vez influyen en la penetración de luz en la columna de agua disminuyendo la visibilidad del DS (Moyá y Ramón, 1987). Lo anterior también puede explicar la correlación negativa entre DS y clorofila *a*, ya que conforme aumenta la cantidad de este pigmento presente en todos los organismos que componen la comunidad fitoplanctónica, disminuye la visibilidad del DS debido a que la luz no puede penetrar a través de la columna de agua por estas partículas en suspensión.

Respecto a *M. flosaquae* en tendencia negativa con la conductividad puede ser una respuesta a los valores bajos de este parámetro que corresponden a la temporada de lluvias debido a la dilución, lo que puede corroborarse en el trabajo de Oliva- Martínez *et al.* (2008) donde se menciona que la densidad de *M. flosaquae* aumento en el mes de septiembre hasta diciembre, recordando que la parte experimental de este trabajo se realizaron en septiembre.

La relación negativa entre el pH, con la conductividad y con el fósforo total (PT P-PO<sub>4</sub>) se puede explicar porque el fitoplancton al realizar la fotosíntesis consume el CO<sub>2</sub> y libera el O<sub>2</sub>, lo que aumenta el pH (Gama *et al.* 2010 y Ramírez, 2008), aunado a que estos organismos fotosintéticos necesitan consumir nutrientes (como el fósforo) para la sobrevivencia y permanencia en la columna de agua afectado así a la conductividad, ya que en ella están incluidos los nutrientes (Morlan, 2010).

Las correlaciones negativas muestran que si hay un consumo del fitoplancton por parte del zooplancton (especialmente de rotíferos). Para las tendencias

negativas de  $P < 0.05$  entre *A. spiroides* y *B. quadridentatus* puede deberse algunos acontecimientos como la producción de toxinas por parte de *A. spiroides* impidiendo su consumo o por otro lado que *B. quadridentatus* este consumiéndola, pues se sabe que su mástax está especializado para triturar (Burgos, 2010) lo que facilitaría la ingesta de *A. spiroides*. Por otra parte la relación entre *P. angulata* y los Copépodos puede reflejar la preferencia alimenticia de este último grupo debido a que cuenta con la capacidad de captar señales químicas en el agua (Koehl y Strickler, 1981), facilitando la captura de *P. angulata*.

Tabla 4 . Correlaciones negativas entre fitoplancton, parámetros ambientales, nutrientes, clorofila *a* y zooplancton P<0.05 (\*\*) y P=0.05 (\*).

	<i>P. angulosa</i>	<i>S. major</i>	T	COND	DS	PT P-PO4	Copépodos larvas nauplio	Copépodos juveniles	<i>B. quadridentatus</i>	<i>L. ovalis</i>	<i>F. cornuta</i>
Negativas											
<i>M. flosaquae</i>				0.378**	0.375**	0.357*					
<i>A. spiroides</i>			0.306*						0.382**		
<i>C. ovata</i>	0.329*										
<i>G. radiata</i>					0.277*		0.315*	0.311*			
<i>M. punctata</i>	0.285*				0.307*						
<i>K. obesa</i>		0.305*				0.330*					0.279*
<i>C. globosa</i>			0.300*								
<i>P. angulata</i>							0.365**	0.328*		0.313*	
<i>S. dimorphus</i>	0.281*										
<i>S. quadrispina</i> var. <i>longispina</i>					0.313*						
OD	0.326*										
COND			0.351*								
PH				0.736**	0.331*	0.794**					
DS											
NT=N-NO3				0.338*	0.346*						
PT P-PO4											
Clorofila <i>a</i>					0.418**						

Las correlaciones positivas de *G. radiata* y *M. flosaquae* con el pH muestran la influencia de estas dos especies que registraron un gran cantidad de org mL<sup>-1</sup> aportando así una mayor cantidad de oxígeno disuelto en la columna de agua lo que explicaría a su vez la relación de OD con *M. flosaquae*, en consecuencia de lo anterior el pH aumenta (Gama *et al.* 2010 y Roldán y Ramírez, 2008).

En el caso de *K. obesa* donde se observó una relación favorable con el Disco de Secchi (DS) puede estar ligado a que esta especie de fitoplancton es de tamaño pequeño, ocupado un menor espacio por lo que no afecta de manera importante la visibilidad del DS.

La tendencia positiva entre nitrógeno total (N-NO<sub>3</sub>) con la temperatura y con la clorofila *a*, se puede explicar porque al aumentar la temperatura, aumenta la actividad fotosintética por la absorción de luz por el fitoplancton, que en conjunto con los nutrientes (nitrógeno total), ayudo a incrementar la cantidad de estos organismos y por tanto de la clorofila *a*, pigmento importante para la realización de la fotosíntesis (Alcocer *et al.* 1988, Gama *op cit.* y Oliva-Martínez *et al.* 2008). Con lo anterior también se puede confirma la relación positiva entre clorofila *a* con las 4 especies fitoplanctónicas (*M. flosaquae*, *G. radiata*, *S. quadrispina* var. *longispina* y *C. ovata*), pudiendo corresponder a que estos organismos aportaron la mayor cantidad de clorofila *a*, ya que fueron muy abundantes.

Por otra parte, la correlación positiva entre fósforo total (P-PO<sub>4</sub>) y conductividad, se puede deber a que en el sedimento se liberan iones de fósforo que sirven como nutrientes, recordando que estos últimos forman parte de los valores de conductividad (De Vicente y Cruz-Pizarro, 2003, Horne y Goldman, 1994 y Morlan, 2010).



Tabla 5. Correlaciones positivas entre fitoplancton, parámetros ambientales, clorofila *a* y zooplancton  
 $P < 0.05$  (\*\*) y  $P = 0.05$  (\*).

Positivas	<i>M. flosaquae</i>	<i>G. radiata</i>	<i>C. globosa</i>	<i>P. angulata</i>	<i>S. dimorphus</i>	T	Cond	PH	DS	Clorofila <i>a</i>
<i>M. flosaquae</i>		0.343*						0.598**		
<i>A. spiroides</i>		0.334*		0.337*						
<i>C. ovata</i>			0.427**			0.279*				0.387**
<i>M. punctata</i>		0.560**			0.338*					0.299*
<i>K. obesa</i>		0.322*						0.295*	0.417**	
<i>S. quadrispina</i> var. <i>longispina</i>		0.397**						0.327*		0.445**
OD	0.452**							0.341*		0.299*
COND								0.304*		
PH		0.359**								0.274*
NT=N-NO3	0.285*					0.467**				0.503**
PT P-PO4							0.781**			
Clorofila <i>a</i>	0.463**	0.387**								
	Cladóceros	Copépodos larvas nauplio	<i>B. angularis</i>	<i>B. caudatus</i>	<i>P. vulgaris</i>	<i>L. ovalis</i>	<i>T. pusilla</i>	<i>F. longiseta</i>	<i>C. catellina</i>	<i>F. comuta</i>
<i>M. flosaquae</i>						0.322*			0.289*	
<i>C. ovata</i>		0.392**				0.278*				
<i>G. radiata</i>			0.374**	0.600**	0.404**		0.386**		0.517**	
<i>M. punctata</i>									0.310*	0.281*
<i>K. obesa</i>				0.321*						
<i>C. globosa</i>		0.321*								
<i>P. angulata</i>							0.440**	0.418**		
Clorofila <i>a</i>									0.366**	

Las correlaciones resultantes entre fitoplancton, clorofila a y zooplancton, muestran que hay poca presión de depredación del zooplancton hacia el fitoplancton, este mismo comportamiento fue observado en el trabajo de Feresin *et al.* (2010) en el que además menciona que los factores bióticos juegan un rol secundario. Lo anterior puede deberse a que cada especie presenta estrategias particulares y en conjunto con la reproducción asexual son un factor primordial para su permanencia en la columna de agua.

En el caso de las relaciones entre los parámetros ambientales y fitoplancton de manera general se observó que el fitoplancton establece la mayoría de las condiciones físicas y químicas del propio lago con excepción de la temperatura, fósforo y nitrógeno total.

## CONCLUSIONES

- ❖ Durante la temporada de lluvias los parámetros ambientales de temperatura, oxígeno disuelto, conductividad y pH en los mesocosmos y el lago no presentaron grandes fluctuaciones registrando los valores más altos en la superficie y los más bajos en el fondo.
- ❖ Los mesocosmos sirvieron para aumentar la visibilidad del disco de Secchi en comparación con el lago.
- ❖ Durante la temporada de lluvias el lago se comportó diferente a los mesocosmos, de igual manera, los sistemas abiertos fueron diferentes a los cerrados para las concentraciones fósforo total, mientras que el nitrógeno total no se observaron diferencias.
- ❖ Las concentraciones de clorofila *a* revelaron que el lago fue diferente a los mesocosmos.
- ❖ Durante la temporada de lluvias se determinaron un total de 43 especies de fitoplancton y la mayoría estuvo representada por las Clorofitas.
- ❖ 11 especies de fitoplancton resultaron dominantes, siendo *Microcystis flosaquae* la especie con la densidad más alta durante la temporada de lluvias.
- ❖ Las densidades fitoplanctónicas fueron significativamente diferentes en el lago y los tratamientos, así como entre los sistemas abiertos (PA y SA) y cerrados (PC y SC) y no se encontraron diferencias significativas entre los sistemas con peces (PA y PC) y sin peces (SA y SC).
- ❖ La comunidad fitoplanctónica estableció la mayoría de las condiciones físicas y químicas del lago a excepción de la temperatura y los nutrientes (fósforo y nitrógeno).
- ❖ Estadísticamente se observó poca presión de depredación del zooplancton hacia el fitoplancton.

- ❖ La presencia de *P. reticulata* no tiene un impacto negativo sobre la comunidad fitoplanctónica.
- ❖ La carga y liberación de nutrientes del sedimento, así como los parámetros ambientales de la temporada de lluvias, son los principales factores que influyen sobre el fitoplancton.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, V. 2003. Aguas continentales y diversidad biológica de México un recuento actual. *Biodiversitas*. No. 48. p. 1
- Alcocer, D. J., Kato, E., Robles, E. y Vilaclara, G. 1998. Estudio del efecto del dragado sobre el estado trófico del lago viejo de Chapultepec. *Contaminación ambiental*. 4:43-56.
- Arriaga, F. A., De la Cruz, G. G. H. y Ortiz, M. J. G. 1999. *Relaciones hídricas en las plantas*. Teoría y ejercicios. Plaza y Vades Editores, México. 113 p.
- Arzate, G. 2002. Contribución al estudio de la alimentación de *Poecilia reticulata* y su relación con algunos parámetros ambientales en el lago del parque Tezozomoc de julio a diciembre del 2000. Tesis de Licenciatura (Biología) Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México. 41 p.
- Barica, J. 1992. Sustainable Management of urban lakes: A new environmental Challenger. *Water Pollution Research Journal of Canada*. 27:211-219.
- Barocio-León, O. A., Millán-Núñez, R., Santamaría del Ángel E. y González-Silvera, A. 2007. Productividad primaria del fitoplancton en la zona eufótica del Sistema de la Corriente de California estimada mediante imágenes del CZCS. *Ciencias Marinas*, 33(1):59–72.
- Birch, S. y McKaskie, J. 1997. Shallow urban lakes: A challenge for lake management. *Hydrobiologia*. 395/396:365-378
- Bort, S., Rojo, C. Rodrigo, M. A. y Maidana, N. 2005. El fitoplancton de lagunas de Ruidera (Parque Natural, Ciudad Real España). *Limnetica*. 24(1-2):33-46
- Botello, A. C. 2002. Estudio de algunos aspectos reproductivos de *Poecilia reticulata* (Pises: Poeciliidae) del lago del parque Tezozomoc, Azcapotzalco. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México. 83 p.
- Burgos, R. M. D. 2010. *Atlas de Microorganismos Planctónicos Presentes en los Humedales Andaluces*. Editorial Junta de Andalucía. p. 156
- Comas, G. M. 1996. *Las Chlorococcales dulceacuícolas de Cuba*. Biblioteca Phicologica. J. Crammer. Berlin. 182 p.
- Cox, E. J. 1996. *Identification of freshwater diatoms from live material*. Chapman & Hall, Londres. 158 p.
- Crossetti, L. O. y Bicudo, C. E. de M. 2005. Effects of nutrient impoverishment on phytoplankton biomass: a mesocosm experimental approach in a shallow eutrophic reservoir (Garças Pond), São Paulo, southeast Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*. 28(1):95-108.

Cruz, M. M. y Martínez A. M. 1999. Respuesta fotosíntesis-irradiación del nanoplancton de dos sistemas acuáticos urbanos. *Revista Biológica Tropical*. 47(Supl.1):37-42

De Vicente, I. y Cruz-Pizarro. 2003. Estudio de la carga externa e interna de fósforo y aplicación de modelos empíricos de eutrofización en las aguas de la Albufera de Adra. *Limnetica*. 22(1-2):165-181

Ehrenhaus, C. y Vigna, M. S. 2006. Changes in the phytoplankton the lake Planetario after a restoration process. *Darwiniana*. 44(2):319-328

Feresin, G. E., Arcifa M. S., Sampaio D. S. y Esguícero H. A. 2010. Primary productivity of the phytoplankton in the tropical Brazilian shallow lake: experiments in the lake and in mesocosms. *Acta Limnologica Brasiliensia*. 22(4):384-396

Fernández, G. J. L. 2004. Variación de la abundancia y biomasa de *Poecilia reticulata* (Pisces: Poeciliidae y su relación con algunos parámetros ambientales en el lago del Parque Tezozomoc. Cd. de México. durante un ciclo anual . Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México. 56 p.

Fernández, G. E., Navarrete-Salgado N. A., Fernández-Guzmán J. L. y Contreras-Rivero, G. 2006. Crecimiento, abundancia y biomasa de *Poecilia reticulata* en el lago urbano del parque Tezozomoc de la Ciudad de México. *Revista Chapingo*. Serie ciencias forestales y del ambiente. 12(002):155-159

Fontúrbel. E. 2008. Contaminación ambiental y cultural en el lago Titikaka: estado actual y perspectivas. Publicaciones integrales. Osorno, Chile p. 46 [http://www.academia.edu/203220/Contaminacion\\_ambiental\\_y\\_cultural\\_en\\_el\\_Lago\\_Titikaka\\_Estado\\_actual\\_y\\_perspectivas](http://www.academia.edu/203220/Contaminacion_ambiental_y_cultural_en_el_Lago_Titikaka_Estado_actual_y_perspectivas)

Gama, F. J., Pavón, M. E., Fernández, A. M., Ramírez. P. T. y Ángeles. L. O. 2010. *Análisis de calidad del agua. Relación entre factores bióticos y abióticos*. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. 119 p.

García, C., Troncoso. W., Sánchez. S. y Perdomo. L. 2008. Contribution to vital statistics of a guppy *Poecilia reticulata* Peters (Pices: Cyprinodontiformes: Poecillidae) pond population in Santa Marta. Colombia. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*. 3(3):335-339

García de León, A. 1988. *Generalidades del análisis de cúmulos y del análisis de componentes principales*. Divulgación geográfica. Instituto de Geografía, UNAM, México. 29 p.

García, E. 2004. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Serie Libros no. 6. 5ª Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México. 90 p.

Gómez-Márquez, J. L., Peña-Mendoza, B., Salgado-Ugarte I. H, Sánchez-Herrera Abby K y Sastre-Báez, L. 2008 La reproducción de los peces

- Poeciliopsis gracilis* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) en Coatetelco, un lago somero tropical en México. *Revista Biológica Tropical*. 56(4):1801-1812.
- Håkansson, H. 2002. A copilation and evaluation of species in the general Stephanodiscus, Cyclostephanos and Cyclotella with a new genus in the family Stephanodiscaceae. *Diatom Research* 17(1):1-139
- Hegewald, E. y Silva, P. C. 1998. *Annotated Catalogue of Scenedesmus and Nomenclaturally Reeled Genera, including original description and figures*. Gebruder Borntraeger, Berlín. 586 p.
- Helmut, H., Claus-Dieter, D., Kirschtel, D., Pollinger, Utsa. y Zohary, T. 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*. 35:403-424
- Henssen, D. O y Van Donk, E. 1993. Morphological changes in *Scenedesmus* induced by substances released from *Daphnia*. *Archiv für Hydrobiologie*. 127(2):129-140
- Horne, A. J. y Goldman, C. 1994. *Limnology*. Segunda Edición. McGraw-Hill. EEUU. p. 231
- Kampichler, C., Bruckner, A. y Kandeler, E. 2001. Use of enclosed model ecosystems in soil ecology: a bias towards laboratory research. *Soil Biology & Biochemistry*. 3. Pp. 269-275
- Koehl, M. A. R. y Strickler, J. R. 1981. Copepod feeding currents: Food capture at low Reynolds number. *Limnology and Oceanography*. 26(6):1062-1073
- Komárek, J. 1999. *Cyanoprocaryota 1. Teli: Chroococcales*. Gustav Fischer, Alemania. 548 p.
- Komárek, J. y Komárcová-Legnerová, J. 2002. Contribution to the knowledge of planktic cyanoprocaryotes from central Mexico. *Preslia, Praha*. 74:207-233
- Kruk, C., Huszar, V. L. M., Petters, E. T. H. M., Bonilla, S., Costa. L., Lüring. M., Reynolds, C. S. y Scheffer, M. 2010. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology*. 55:614-627
- Lanzarot, F. M. 2007. Cianobacterias tóxicas y mortandades en masa de fauna salvaje en las marismas de Doñana. Tesis de Doctorado. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Veterinaria. 156 p.
- Lewis, W. M. Jr. y Webezahn, F. H. 1983. Phosphorus and nitrogen loading of lake Valencia. *Acta Científica Venezolana*. 34:345-349
- López, S. G. S. 2012. Estudio experimental del impacto de *Poecilia reticulata* (Guppy) y de las condiciones ambientales sobre el ensamblado de rotíferos en el lago urbano Tezozómoc. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México. 51 p.

- Lundvall, D., Svanbäck, R., Persson, L. y Byströ, P. 1999. Size-dependent predation in piscivores: interactions between predator foraging and prey avoidance abilities. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 56:1285-1292
- Maraşlıoğlu, F., Soylu, N. E. y Gönülol, A. 2011. Chlorococcal chlorophyte composition, community structure, and seasonal variations in the shallow lakes of the Kızılırmak Delta, Turkey. *Turkish Journal of Biology*. 35:117-124
- Montes. R., Gálvez. M. y Rivera. H. 2006. Fitoplancton de la bahía de Sechura, Piura-2005. *Universalía* 11 (2):57-65
- Mora-Navarro, R., Vásquez-García. J. A., y Vargas-Rodríguez, Y. L. 2004. Ordenación de fitoplancton en el lago de Chapala, Jalisco-Michoacán, México. *Hidrobiológica*, 14(002): 91-103.
- Moreno, F. D., Quintero, M. J. y López, C. A. 2010. Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *Contactos*. No. 78. Pp.25-33
- Moreno, J. L. 2003. Fitoplancton. In: De la Lanza, E. G. y P. Hernández (Eds.). *Manual para la colecta, el manejo y las observaciones de campo para bioindicadores de la calidad del agua*. AGT Editor. pp. 43-107
- Morlán, M. J. 2010. Producción primaria del fitoplancton en un lago hipertrófico durante la época de sequía. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México. 52 p.
- Moyá, G. y Ramón, G. 1987. Disco de Secchi y clorofila <a>> en dos embalses de aguas mineralizadas. *Limnetica*. 3:165-170
- Novoa, D. M., Luque, M. E., Lombardo, D y De Fabricius, M. 2006. Estudio ficológico de los lagos artificiales del sur de la provincia de Córdoba. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. 41(3-4):203-231
- Oliva-Martínez M. G., Rodríguez-Rocha, A., Lugo-Vázquez, A. y Sánchez-Rodríguez M. del R. 2008. Composición y dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico. *Hidrobiológica*.18:1-13
- Ortega-Mayagoitia, E y Rojo, C. 2000. Fitoplancton del Parque Nacional Las Tablas Daimiel. III. Diatomeas y Clorofitas. *Anales Jardín Botánico de Madrid*. 58(1):17-37
- Ortegón, A. I., Rosado, E. A., Arjona, M. A. y Aguilar, P. A. 2011. La marea roja en la costa norte de la Península de Yucatán. *Bioagrocencias*. 4(2):32-38
- Prescott, G. W. 1982. *Algae of the Western Great Lakes Area*. Otto Koeltz Science Publishers, Alemania. 977 p.
- Quirós, R. 2007. Manejo y recuperación de lagos urbanos. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 6:1-16



- Ramírez, B. P. 2000. Aves de humedales en zonas urbanas del noreste de la Ciudad de México. Tesis de Maestría (Biología), Facultad de Ciencias. UNAM. México. 188 p.
- Reynolds, C. S. 1980. Phytoplankton assemblages and their periodicity in stratifying lake systems. *Holarctic Ecology*. 3:141-159
- Reynolds, C. S. 1998. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status?. *Hydrobiologia*. 369/370:11-26
- Reynolds, C. S. 2006. Ecology of Phytoplankton. Cambridge University Press. Estados Unidos de América. p.60
- 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(5):417-428
- Roldán, P. y Ramírez, R. 2008. *Fundamentos de limnología neotropical*. Segunda Edición. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia. p. 133 y 181
- Romo, S. y Bécares, E. 1998. Datos físico-químicos y biológicos del lago de la Casa de Campo y del Estanque Grande del Retiro de Madrid. *Ecología*. 12:167-173
- Scheffer, M. 1998. *Ecology of Shallow Lakes*. Chapman & Hall. London. p.100
- Solano, B. N. 2002. Aspectos reproductivos de *Poecilia reticulata* (Pisces: Poeciliidae) en el lago del Parque Tezozomoc, Atzacapotzalco de enero a junio del 2001. Tesis de Licenciatura (Biología), Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. México. 41 p.
- Soylu, E. N. y Gönülöl, A. 2010. Functional Classification and Composition of Phytoplankton in Liman Lake. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 10:53-60
- Tas, B. y Gonulol, A. 2007. An ecologic and taxonomic study on phytoplankton of a shallow lake, Turkey. *Journal of Environmental Biology*. 28(2):439-445
- Tavera, R., Novelo, E., y Comas, A. 2000. Chlorococcalean algae (s.l.) from the Ecological Park Xochimilco, Mexico. *Algological Studies*. 100:65-94
- Van de Bund, W. J., Romo, S., Villena, M. J., Valentín, M., Van Donk, E., Vicente, E., Vakkilainen, K., Svensson, M., Stephen, D., Ståhl-Delblanco, A., Rueda, J., Moss, B., Miracle, M. R., Kairesalo, T., Hansson, L. A., Hietala, J., Gyllström, M., Goma, J., García, P., Fernmández- Aláez, M., Fernmández- Aláez, C., Ferriol, C., Collings, S. E., Bécares, E., Balayla, D. M. y Alfonso, T. 2004. Responses of phytoplankton to fish predation and nutrient loading in shallow lakes: a pan-European mesocosm experiment. *Freshwater Biology*. 49:1608-1618

Van der Stap, I., Vos, M., Verschoor, A. M., Helmsing, N. R. y Mooij, W. M. 2007. Induced defenses in herbivores and plants differentially modulate a trophic cascade. *Ecology*. 88:2474–2481

Van Donk, E., Grimm, P. G., Heuts., Blom, G., Everards, K. y Van Tongeren, O. F. 1994. Use the mesocosms in a shallow eutrophic lake to study the effects of different restoration measures. *Archiv für Hydrobiologie Beiheft Ergebnisse der Limnologie*.40:283-294

Verver y Vargas, G. J. 2005. Dinámica espacio-temporal de los parámetros fisicoquímicos y su relación con la clorofila a en un lago urbano hipertrófico. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México. 55 p

Vila, I., Barends. I. y Montecino. V. 1987. Abundance and temporal distribution of the phytoplankton at the Rapel Reservoir, Central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 60:37-55

Wayne, W. C. 1995. *Cyanobacterial (Blue-Green Algal) Toxin: A resource guide*. American Water Works Association Research Foundation. U.S.A. p.14

Wetzel, R. G y Likens, G. R. 2000. *Limnological Analyses*. Springer-Verlag, Nueva York. 429 p.

Wunsam, S., Schmidt, R. y Klee, R. 1995. *Cyclotella*-taxa (Bacillariophyceae) in lakes of the Alpine region and their relationship to environmental variables. *Aquatic Sciences*. 57(4):360-386

Xu, H., Paerl, W., Qin, B., Zhu, G. y Gao. G. 2010. Nitrogen and phosphorus inputs control phytoplankton growth in eutrophic Lake Taihu, China. *Limnology and Oceanography*. 55(1):420-432

## ANEXO 1

Tabla 6. Parámetros ambientales y nutrimentales de los mesocosmos y del lago, representando el valor máximo, valor mínimo, promedio y la desviación estándar (d.e.).

		Temperatura (° C)	Oxígeno disuelto (mg L <sup>-1</sup> )	Conductividad específica (k <sub>25</sub> ) (µs cm <sup>-1</sup> )	pH	Nitrógeno total (mg L <sup>-1</sup> )	Fósforo total (mg L <sup>-1</sup> )	Clorofila <i>a</i> (µg L <sup>-1</sup> )
Lago	Máximo	22.6	20.7	911	9.7	10.7	2	155.2
	Mínimo	18.6	0.5	819	8.9	8.2	1.8	117.7
	Promedio	19.9	12.2	877.2	9.3	9.6	1.9	133.8
	d. e.	1.1	4.5	25.85	0.2	1.02	0.06	13.7
PA	Máximo	21.5	966	966	9.6	10.2	3.1	135.1
	Mínimo	18.6	819	819	8.5	4.1	1.5	15.4
	Promedio	19.7	892.5	892.5	8.9	6.3	2.2	49.3
	d. e.	0.6	44.6	44.6	0.2	2.2	0.5	47.2
PC	Máximo	22.6	868	868	9.8	10.2	3.05	135.1
	Mínimo	18.6	814	814	8.9	3.1	1.5	8.1
	Promedio	20.1	844.5	844.5	9.5	6.3	2.2	40.4
	d. e.	0.98	156	960	0.2	2.4	0.5	51.5
SA	Máximo	21.2	960	11.9	9.3	10.2	1.9	135.1
	Mínimo	18.6	819	0.5	8.6	3.7	0.9	15.2
	Promedio	19.8	896.6	7.4	8.9	6.4	1.3	53.4
	d. e.	0.5	42.9	2.9	0.2	2.2	0.3	45.6
SC	Máximo	22.9	870	17.4	9.8	10.4	3.2	135.1
	Mínimo	18.7	810	0.5	7.8	4.1	1	5.2
	Promedio	20.2	846.2	10.7	9.3	7.3	1.6	73.6
	d. e.	1.1	16.1	3.03	0.3	2.6	0.6	7.1

## ANEXO 2

Tabla 7. Presencia ( ) y categorización de las especies fitoplanctónicas. Especies dominantes (**D**), raras (**R**), temporales (**T**) y constantes (**C**) en el lago y los mesocosmos durante la temporada de lluvias.

ESPECIES DE FITOPLANCTON	LAGO	PA	PC	SA	SC
1. <i>Schroederia setigera</i> (Schröd) Lemmermann	√ R	√ T	√ R	√ C	√ C
2. <i>Golenkinia radiata</i> Chodat	√ D	√ D	√ D	√ D	√ D
3. <i>Pediastrum boryanum</i> (Turpin) Meneghini			√ R		
4. <i>Micractinium pusillum</i> Fresenius	√ D	√ R	√ R	√ T	√ D
5. <i>Oocystis</i> sp. Nägeli ex Braun		√ R	√ R	√ R	√ R
6. <i>Kirchneriella lunaris</i> (Kichner) Möbius	√ D	√ D	√ D	√ C	√ D
7. <i>Kirchneriella obesa</i> (West) Schmidle	√ D	√ D	√ D	√ D	√ D
8. <i>Monoraphidium caribeum</i> Hindàk	√ D	√ C	√ D	√ C	√ C
9. <i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Kormàrkovà- Legnerovà		√ R	√ R	√ R	√ R
10. <i>Monoraphidium irregulare</i> (Smith) Kormàrkovà-Legnerovà	√ D	√ C	√ T	√ C	√ C
11. <i>Tetraedron minimum</i> (Braun) Hansgig	√ C	√ R	√ R	√ R	√ R
12. <i>Tetraedron triangulare</i> Korshikov		√ R	√ R		√ R
13. <i>Coelastrum pseudomicroporum</i> Korshikov		√ R	√ R	√ R	√ T
14. <i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Chodat	√ C	√ R	√ R	√ R	√ R
15. <i>Scenedesmus acuminatus</i> var. <i>alternans</i> Svirenko		√ T	√ R	√ T	√ R
16. <i>Scenedesmus opoliensis</i> Richter	√ D	√ R	√ R	√ R	√ R
17. <i>Scenedesmus protuberans</i> Fritsch et Richter	√ C	√ R	√ R	√ C	√ C
18. <i>Scenedesmus dimorphus</i> (Turpin) Kützing	√ D	√ D	√ D	√ D	√ D
19. <i>Scenedesmus quadricauda</i> var. <i>longispina</i> (Chodat) Smith	√ D	√ D	√ D	√ D	√ D
20. <i>Scenedesmus quadricauda</i> var. <i>maximus</i> West & West	√ R	√ D	√ D	√ D	√ D
21. <i>Scenedesmus quadricauda</i> var. <i>quadricauda</i> (Turpin) Brébisson				√ T	√ R
22. <i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim			√ R		
23. <i>Chlamydomonas globosa</i> Snow	√ D	√ D	√ D	√ D	√ D
24. <i>Chlorogonium minimum</i> Playfair	√ C	√ R	√ R	√ C	√ C
25. <i>Pteromonas angulosa</i> (Carter) Lemmermann	√ D	√ D	√ D	√ D	√ D
26. <i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg		√ T	√ T	√ T	√ R
27. <i>Pandorina morum</i> (Müller) Bory de Saint-Vincent	√ T	√ T	√ T	√ T	√ R
28. <i>Euglena</i> sp. Ehrenberg	√ R	√ R	√ R	√ R	√ R
29. <i>Monomorphina pyrum</i> (Ehrenberg) Mereschkowsky	√ C	√ R	√ R	√ R	
30. <i>Glenodinium pulvisculus</i> (Ehrenberg) Stein	√ C	√ D	√ R	√ T	√ R
31. <i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	√ D	√ D	√ D	√ D	√ D
32. <i>Merismopedia punctata</i> Meyen	√ D	√ D	√ D	√ D	√ D
33. <i>Microcystis flosaquae</i> (Wittrock) Kirchner	√ D	√ D	√ D	√ D	√ D
34. <i>Microcystis aeruginosa</i> Kützing	√ T	√ D	√ D	√ T	√ D
35. <i>Spirulina major</i> Kützing	√ D	√ D	√ D	√ D	√ D

<b>36. <i>Pseudanabaena limnetica</i></b> (Lemmermann) Komárek	√T	√D	√D	√T	√D
<b>37. <i>Anabaena spiroides</i></b> Klebahn	√D	√D	√D	√D	√D
<b>38. <i>Anabaenopsis sp.</i></b> Miller	√D	√D	√T	√D	√T
<b>39. <i>Cyclotella meneghiniana</i></b> Kützing	√T	√C	√D	√R	√R
<b>40. <i>Gomphonema sp.</i></b> Ehrenberg		√R	√R	√R	√R
<b>41. <i>Navicula sp.</i></b> Bory de Saint-Vincent	√C	√D	√D	√D	√D
<b>42. <i>Nitzschia sp.</i></b> Hassall				√R	
<b>43. Picofitoplancton</b>	√T	√D	√D	√D	√D